



**MODELO GERENCIAL PARA LA INCLUSIÓN DE RESIDUOS DE  
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS  
DE LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS PREMEZCLADOS.**

Trabajo de grado presentado por  
**ANA LIZETTE GOMEZ MORA**

como requisito parcial para optar al título de  
**MAGISTER EN GERENCIA DE PROYECTOS**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN GERENCIA DE PROYECTOS**

Bogotá D.C., Colombia

Año 2021

**MODELO GERENCIAL PARA LA INCLUSIÓN DE RESIDUOS DE  
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS  
DE LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS PREMEZCLADOS.**

**ANA LIZETTE GOMEZ MORA**

APROBADO:

---

**Miguel Angel Ospina**

Tutor

---

Nombres del primer jurado

Firma

---

Nombres del segundo jurado

Firma

## Agradecimientos

Doy gracias a Dios por darme la fortaleza, dedicación y el tiempo de poder estudiar esta maestría y culminar mi proyecto de grado, a mi esposo e hijo, por su comprensión y apoyo emocional para lograr este objetivo, ellos son el motor de mi vida y los que me motivan a seguir luchando continuamente por cumplir las metas y objetivos propuestos.

Gracias a mi familia, aunque estén lejos, siempre los llevo en mi corazón y son los que iniciaron mi proyecto de vida, me dieron la fortaleza y motivación para ser una mujer profesional.

Gracias a los docentes, que siempre están ahí para enseñarnos y aportarnos de su amplio conocimiento, gracias por su paciencia y esa dedicación tan grande para formar excelentes personas y profesionales.

Gracias en particular a mi tutor de proyecto, el Ing Miguel Ángel, que me ha guiado y educado desde mi formación como Ingeniera Civil, y ahora, me brindó su conocimiento, apoyo, asesoría y experiencia para garantizar la elaboración de este proyecto de grado, a él muchas gracias y bendiciones.

A la gran Universidad Militar, que me ha dado la posibilidad de crecer personal y profesionalmente, enriqueciéndome en conocimiento y formándome primero como ingeniera civil y ahora como Magister en gerencia de proyectos.

A todos mis amigos y familiares mil y mil gracias por la buena energía, la motivación y el acompañamiento en el desarrollo de este proyecto.

# **Dedicatoria**

Dedico este trabajo y esfuerzo a mi hijo amado, a mi esposo y mi familia, ellos son quienes me motivan a crecer y ser mejor.

# Tabla de Contenido

<b>RESUMEN.....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.1 Planteamiento del problema	19
1.2 Justificación	26
1.3 Objetivos	29
<b>CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>32</b>
2.1 Estado del arte.	32
<b>CAPÍTULO 3: MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>42</b>
3.1 Marco teórico	42
3.2 Marco legal	74
<b>CAPÍTULO 4: (METODOLOGÍA Y DESARROLLO DE OBJETIVOS).....</b>	<b>81</b>
4.1 Metodología	81
4.2 Desarrollo de objetivos	83
<b>CAPÍTULO 5: RESULTADOS.....</b>	<b>104</b>
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>158</b>

## Lista de Tablas

<i>Tabla 1 . Densidades de los materiales por grupos.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 2 Residuos principales de obra .....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 3 Cuadro control de identificación de gestores de RCD.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 4 Dosificación de materiales para la preparación de 1 metro cúbico de concreto. ....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 5 Símbolos de los Mapas de Flujo de Valor – VSM .....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 6 Sitios aprobados de adecuación de suelos con fines agrícolas.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 7 Sitios de disposición final de RCD. ....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 8 Sitios disposición final de rcd en el marco de la resolución 0472 de 2017 ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. ....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 9 Gestores plantas tratamiento RCD en el marco de la resolución 0472 de 2017 ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 10 Gestores puntos limpios RCD en el marco de la resolución 0472 de 2017 ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. ....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 11 Puntos críticos por localidad - Bogotá.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 12 Toneladas de RCD aprovechadas para el de 2016 a 2019. ....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 13 Listado de gestores de residuos de construcción y demolición inscritos en el área metropolitana el valle de aburrá. ....</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 14 Listado de gestores de residuos de construcción y demolición - RCD inscritos en la corporación autónoma regional del Valle del Cauca, 2018.....</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 15 Tendencia de recolección y aprovechamiento de cemento y concreto.....</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 16 Comparación de productos prefabricados por unidad. Empresas colombianas. ....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 17 Impuestos adoptados a nivel empresarial determinantes en los costos. ....</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 18 Tabla de valor de un concreto convencional según Lasso y Misle (2012).....</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 19 Tabla de valor de un concreto reciclado según Lasso y Misle (2012).....</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 20 Valor de concreto con material nuevo por metro cúbico. ....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 21 Valor de concreto con material reciclado por metro cúbico .....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 22: Kanban de producción Elaboración propia.....</i>	<i>155</i>
<i>Tabla 23: Kanban de retiro. Elaboración propia.....</i>	<i>156</i>

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> Casa construida con materiales reciclados. ....	13
<b>Figura 2</b> Distribución de las empresas de construcción en Colombia (%), 2017. Fuente: confecamaras.org.co.....	20
<b>Figura 3</b> Subsectores con mayor creación de empresas empleadoras (Ene - Mar 2021). Fuente: Confecámaras. ....	22
<b>Figura 4</b> Residuos de construcción y demolición. Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente. ....	23
<b>Figura 5</b> Ecomuros con concreto reciclado. ....	39
<b>Figura 6</b> Tipos de residuos. Fuente: (CAR, 2021).....	45
<b>Figura 8</b> Tipos de RCD. Fuente: (CAR, 2021).....	46
<b>Figura 9.</b> Clasificación de los RCD para las etapas constructivas - RCD Aprovechables. Fuente: Decreto 838 de 2005 y Decreto 4741 de 2005 de la Secretaría Distrital de Ambiente. ....	47
<b>Figura 10.</b> Clasificación de los RCD para las etapas constructivas - RCD Aprovechables. Fuente: Decreto 838 de 2005 y Decreto 4741 de 2005 de la Secretaría Distrital de Ambiente .....	48
<b>Figura 11</b> Composición de los residuos de construcción. Fuente: <a href="http://reciclaieverde.wordpress.com/">http://reciclaieverde.wordpress.com/</a> .....	52
<b>Figura 12.</b> Etapas constructivas de obra civil. Fuente: Secretaria de Ambiente.....	53
<b>Figura 13.</b> Principio Rector de la gestión ambiental. Fuente: Propia, adaptado de Secretaria de Ambiente. ....	55
<b>Figura 14.</b> Proyección de generación de Residuos 2015 - 2030. Fuente: <a href="http://www.maat.com.co/generacion-de-residuos-en-colombia-conpes-3874/">http://www.maat.com.co/generacion-de-residuos-en-colombia-conpes-3874/</a> .....	56
<b>Figura 15.</b> Entidades relacionadas con la gestión integral de residuos sólidos en Colombia. Fuente: Documento Conpes 3874 pág. 33.....	57
<b>Figura 16</b> Gestión de RCD. Fuente: <a href="https://www.greenglobe.es/project/autorizacion-gestor-rcd/">https://www.greenglobe.es/project/autorizacion-gestor-rcd/</a> .....	59
<b>Figura 17</b> Implementación de metodología Lean en los procesos. Fuente: Propia.....	65
<b>Figura 18</b> Conceptos clave de la filosofía Lean Manufacturing. Fuente: Propia, adaptada de <a href="https://www.apd.es/lean-manufacturing-que-es/">https://www.apd.es/lean-manufacturing-que-es/</a> .....	69
<b>Figura 19</b> Ejemplo mapa de flujo de valor. Fuente: <a href="https://www.atlasconsultora.com/vsm/">https://www.atlasconsultora.com/vsm/</a> .....	71
<b>Figura 20</b> Ejemplo muestreo no probabilístico. Fuente: Propia, adaptada de <a href="https://www.questionpro.com/blog/es/muestreo-no-probabilistico/">https://www.questionpro.com/blog/es/muestreo-no-probabilistico/</a> .....	83
<b>Figura 21</b> Sistema económico circular 6R. Fuente: Propia, adaptada de <a href="https://logifruit.es/de-las-3r-a-las-6r/">https://logifruit.es/de-las-3r-a-las-6r/</a> .....	86
<b>Figura 22</b> Proyección de RCD en m <sup>3</sup> (2012-2021) Tomado de Villalba et al (2018, p.34).....	88
<b>Figura 23</b> Componentes del concreto. Fuente: (Sánchez de Guzmán, 1996) .....	93
<b>Figura 24</b> Aumento promedio de la resistencia a la compresión del concreto, con el tiempo, para varios cementos colombianos tipo 1. Fuente: (Sánchez de Guzmán, 1996).....	96
<b>Figura 25</b> Ejemplo mapa flujo de valor. Fuente: (Lucidchart, s.f.) .....	101
<b>Figura 26</b> Centro de tratamiento, aprovechamiento y disposición final de RCD. Fuente: CEMEX <a href="https://www.cemexcolombia.com/soluciones/constructores/servicios/centro-de-tratamiento-aprovechamiento-y-disposicion-final-de-rcd">https://www.cemexcolombia.com/soluciones/constructores/servicios/centro-de-tratamiento-aprovechamiento-y-disposicion-final-de-rcd</a> .....	118

<i>Figura 27 Proceso de disposición RCD. Fuente: CEMEX</i> <i><a href="https://www.cemexcolombia.com/soluciones/constructores/servicios/centro-de-tratamiento-aprovechamiento-y-disposicion-final-de-rcd">https://www.cemexcolombia.com/soluciones/constructores/servicios/centro-de-tratamiento-aprovechamiento-y-disposicion-final-de-rcd</a>.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 28 Diagrama de proceso planta Greco S.A.S. tratamiento RCD. Fuente:</i> <i><a href="https://www.recicladosgreco.com/plan-gestion-de-rcd-en-la-obra-2">https://www.recicladosgreco.com/plan-gestion-de-rcd-en-la-obra-2</a>.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 29 Demolición de predios para construcción del metro en Bogotá. ....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 30 Toneladas de RCD recolectadas en Bogotá por los operadores de aseo en el 2019.</i> <i>Fuente: UAESP.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 31 Transporte informal de escombros en los diferentes puntos de acopio de residuos en Medellín. ....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 32 Situación de la escombrera de la carrera 50 en Cali.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 33 RCD en la ciudad de Cartagena. Fuente: El Universal.</i> <i><a href="https://www.eluniversal.com.co/cartagena/plan-de-manejo-de-escombros-para-generadores-transportadores-y-receptores-198903-ICEU299625">https://www.eluniversal.com.co/cartagena/plan-de-manejo-de-escombros-para-generadores-transportadores-y-receptores-198903-ICEU299625</a>.....</i>	<i>131</i>
<i>Figura 34. Toneladas de residuos de demoliciones y construcciones por año. Fuente:</i> <i><a href="https://www.catorce6.com/actualidad-ambiental/habitat/12015-ciudades-llenas-de-escombros">https://www.catorce6.com/actualidad-ambiental/habitat/12015-ciudades-llenas-de-escombros</a>. ....</i>	<i>134</i>
<i>Figura 35 Mapa flujo de valor actual. Elaboración propia. ....</i>	<i>147</i>
<i>Figura 36 Mapa flujo de valor futuro. Elaboración propia. ....</i>	<i>149</i>



## Resumen

Este trabajo de investigación se desarrolló con el objetivo de generar un modelo gerencial que permitiera la inclusión de residuos de construcción y demolición en los procesos de elaboración de nuevos concretos pre mezclados. El diseño del modelo gerencial se realizó con base en estrategias y metodologías gerenciales, y estaba enfocado a empresas encargadas en la recolección, disposición y tratamiento de residuos de construcción y demolición. Su análisis particular estuvo enfocado y dirigido al proceso de re utilización de este tipo de residuos como agregado grueso en la fabricación de nuevos concretos pre mezclados.

Los proyectos de construcción generan crecimiento, desarrollo urbano y un avance industrial en las diferentes ciudades. Además, genera una alta cifra de empleos formales, contribuyendo así en el desarrollo económico y mejoramiento de la calidad de vida de la población. Sin embargo, la construcción de edificaciones y nuevas obras de ingeniería, generan un alto volumen de residuos sólidos que no son controlados ni aprovechados en su totalidad, ocasionando un impacto negativo al medio ambiente y afectando principalmente los recursos naturales como el agua, el suelo y el aire, y en especial, afectando la salud de la población.

Este trabajo de grado se realizó por medio de una metodología mixta: cualitativa y cuantitativa. Esta última, se centra en los aspectos observables susceptibles de cuantificación, utilizando la estadística para el análisis de los datos. Para lograr la obtención de datos, se realizó una amplia investigación del sector y las empresas que estaban involucradas con la generación, recolección, clasificación y tratamiento de residuos de construcción y demolición para así realizar estudios estadísticos y analizar el comportamiento de sus variables.

Como tipo cualitativo, se realizó una investigación conceptual y legal con una exhaustiva búsqueda sobre el tema de residuos de construcción y demolición (RCD) y su impacto en el medio ambiente. Se tuvo en cuenta también, las investigaciones anteriormente realizadas sobre mezclas de concreto utilizando este tipo de residuos.

En este sentido, se logró identificar la existencia y operación de empresas que se encuentran dedicadas a la recolección, almacenamiento y en especial, al aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición. Teniendo en cuenta esta identificación, se realizó una indagación y búsqueda de información acerca de la generación, re utilización y el uso de los RCD en Colombia y se realizó un análisis económico comparativo entre la fabricación de un concreto convencional y un concreto que utiliza estos residuos como agregado grueso. Finalmente, se desarrolló un modelo gerencial basado en la herramienta Lean “mapa de flujo de valor” cuyo objetivo fue optimizar la inclusión de RCD en la producción de nuevos concretos pre mezclados.

**Palabras clave:** Residuos de construcción y demolición (RCD), modelo gerencial, procesos productivos, inclusión de RCD, concretos pre mezclados, mapa flujo de valor, lean manufacturing.

## Abstract

This research project was developed with the objective of generating a management model that would allow the inclusion of construction and demolition waste in the processes of elaboration of new pre-mixed concretes. The design of the management model was carried out based on management strategies and methodologies, and was focused on companies in charge of the collection, disposal and treatment of construction and demolition waste. Its particular analysis was focused and directed to the process of reuse of this type of waste as coarse aggregate in the manufacture of new pre-mixed concretes.

Construction projects generate growth, urban development and industrial advancement in different cities. In addition, it generates a high number of formal jobs, thus contributing to economic development and improvement of the population's quality of life. However, the construction of buildings and new engineering works generates a high volume of solid waste that is not controlled or used in its entirety, causing a negative impact on the environment and mainly affecting natural resources such as water, soil and the air, and especially, affecting the health of the population.

This degree work was carried out through a mixed methodology: qualitative and quantitative. The latter focuses on the observable aspects that can be quantified, using statistics for data analysis. In order to obtain data, an extensive investigation of the sector and the companies that were involved with the generation, collection, classification and treatment of construction and demolition waste was carried out in order to carry out statistical studies and analyze the behavior of its variables.

As a qualitative type, a conceptual and legal investigation was carried out with an exhaustive search on the topic of construction and demolition waste and its impact on the environment. Previous research carried out on concrete mixtures using this type of waste was also taken into account.

In this sense, it was possible to identify the existence and operation of companies that are dedicated to the collection, storage and especially, the use of construction and demolition waste. Taking into account this identification, an investigation and search for information about the generation, reuse and use of CDW in Colombia was carried out and a comparative economic analysis was carried out between the manufacture of a conventional concrete and a concrete that uses these wastes as coarse aggregate. Finally, a management model was developed based on the Lean tool "value stream map" whose objective was to optimize the inclusion of CDW in the production of new pre-mixed concretes.

**Keywords:** Construction and demolition waste (CDW), management model, production processes, inclusion of CDW, pre-mixed concretes, value flow map, lean manufacturing.

## Capítulo 1: Introducción

El sector de la construcción es uno de los sectores más importantes y en constante crecimiento para el desarrollo de un país. La construcción es considerada como una actividad dinámica que se encuentra en constante desarrollo, ya que es la encargada de la creación de infraestructura como carreteras, puentes, puertos, vías férreas, plantas de energía eléctrica, hidroeléctrica y termoeléctrica, líneas de transmisión y distribución, obras hidráulicas y de irrigación, construcciones comerciales e industriales y obras de edificación residencial y no residencial, entre otras. De igual manera, la construcción se encarga de la satisfacción de necesidades humanas, entre las principales están el suministro de agua potable, electricidad, instalaciones de saneamiento, drenaje, pavimentación, obras de vivienda, hospitales y escuelas entre otras. (Cárcamo, 2008)

Debido al crecimiento económico y el incremento poblacional que se viene presentando anualmente en los diferentes departamentos de Colombia, se crea la necesidad de construir nuevas obras de infraestructura como viviendas, edificios, carreteras, centros comerciales, parques y otras obras de la ingeniería civil para así lograr suplir las necesidades de la comunidad. Este crecimiento poblacional está relacionado o influye directamente con el sector de la infraestructura, ya que, a mayor población, se requieren mayores obras para el desarrollo de la comunidad. Con esto, se logran aspectos positivos como el desarrollo social y económico de una región, y se aporta en la generación de empleo local para llevar a cabo la construcción de nuevas edificaciones. Entre estos beneficios, se puede resumir en que la construcción de nuevas obras civiles contribuye a una mejor calidad de vida para la población.

De acuerdo a lo mencionado, el desarrollo de la construcción se ha venido acelerando en los últimos años, lo cual ocasiona un alto consumo de recursos naturales. De igual manera, se genera una considerable acumulación de residuos, los cuales no cuentan con una gestión adecuada para su tratamiento y control. En Colombia, es muy común encontrar una disposición incontrolada de residuos de construcción y demolición en lugares que no son aptos para su almacenamiento y disposición, los cuales se encuentran cerca al sitio de generación, o en sitios que no están

autorizados para esta actividad. En general, se conoce que los residuos de construcción y demolición - RCD no presentan un alto riesgo para la salud humana y el medio ambiente en comparación a los residuos sólidos municipales. Sin embargo, el problema fundamental de gestión y disposición de los residuos de construcción hace referencia a su alto volumen y, por lo tanto, a los costos de movilización y al espacio de adecuación necesario que esto implica. (Cárcamo, 2008)



**Figura 1** Casa construida con materiales reciclados.

Fuente:[http://www.elcolombiano.com/BancoConocimiento/C/construccion\\_sostenible/construccion\\_sostenible.asp](http://www.elcolombiano.com/BancoConocimiento/C/construccion_sostenible/construccion_sostenible.asp)

Según la Corporación Autónoma Regional – CAR, los residuos de construcción y demolición son aquellos residuos sólidos provenientes de las actividades de excavación, construcción, demolición, reparación o mejoramientos locativos de obras civiles o de otras actividades en donde se encuentran los siguientes tipos: residuos de madera, residuos pétreos, residuos peligrosos y residuos de pvc.

Actualmente, las empresas constructoras concentran su atención en la eficiente realización de los proyectos de construcción buscando la satisfacción del cliente y el cumplimiento de metas y objetivos. Sin embargo, al parecer hay una menor concentración de esfuerzos en establecer estrategias para la minimización de los residuos de la construcción y demolición (RCD).

A nivel mundial, y en especial, en las nuevas construcciones, los conceptos de ecología, reciclaje y medio ambiente están adquiriendo mayor relevancia. Hoy en día, el tema del reciclaje y cuidado del medio ambiente es muy importante y se encuentra en un proceso acelerado de desarrollo y aplicación no solo en los países más industrializados, sino también en otros que se encuentran en proceso de desarrollo.

El sector industrial es uno de los grandes responsables de la explotación de recursos naturales, esto se debe por satisfacer las necesidades de la sociedad quien es la mayor responsable de este problema. Por otra parte, la industria de la construcción se encuentra liderando en temas de innovación, desarrollo, crecimiento y mejoramiento de la calidad de vida, pero así mismo es uno de los mayores explotadores de recursos naturales, debido a que, para la fabricación del cemento, que es uno de los elementos más empleados y hoy en día más indispensables en este sector, es necesario la adquisición de minerales provenientes de canteras y su proceso de fabricación demanda grandes cantidades de energía. Además de esto, día a día se genera gran cantidad de residuos provenientes de nuevas obras y de demoliciones de edificaciones. (Bedoya, 2003)

Desde el punto de vista ambiental, la reutilización de escombros y residuos de construcción tiene un alto atractivo ya que aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios y evita la degradación acelerada de los recursos naturales no renovables; Sin embargo, desde el punto de vista exclusivamente económico, el concreto que utiliza material reciclado resulta atractivo cuando el producto es competitivo con otros materiales en relación a los costos y a la calidad.

Implementando el uso de los materiales reciclados, es posible obtener grandes ahorros en el transporte y disposición de residuos de la construcción y de materias primas. Esto es posible notarlo especialmente en las áreas urbanas o en los proyectos de construcción donde se encuentra la demolición y la construcción de nueva obra. (Bedoya, 2003)

Actualmente, el control exigente respecto a la protección del medio ambiente y la preservación de la naturaleza motiva que, en el sector de la construcción, se logren controlar este

tipo de residuos a través de una gestión adecuada, y en lo posible, minimizando las cantidades de los residuos producto de nuevas construcciones.

Para poder reutilizar ellos residuos de construcción y demolición en nuevos elementos de concreto, es necesario caracterizar los mismos, analizar las muestras obtenidas y comparar datos con parámetros de calidad conocidos para posteriormente elaborar nuevas mezclas de concreto y así conocer sus características físicas y propiedades mecánicas.

Teniendo en cuenta la composición y desarrollo de este proyecto de investigación, es necesario comenzar con una investigación preliminar acerca de la existencia y operación de las empresas que se dedican a la recolección, almacenamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en Colombia.

De acuerdo a un informe realizado por la secretaría de ambiente de Bogotá en el año 2017, la administración de la alcaldía de ese momento, en conjunto con la línea Investigativa de Delitos Contra la Biodiversidad y Salud Pública de la SIJÍN, realizaron el allanamiento de un predio que estaba siendo utilizado para la disposición ilegal de residuos de construcción, demolición (RCD) y otros materiales.

Por lo tanto, era necesario identificar los establecimientos que están destinados para funcionamiento como centros de acopio y tratamiento de residuos de construcción, ya que, de manera informal o no legal, existen sitios destinados para el almacenamiento de este tipo de materiales, ya sea de manera temporal o definitiva y esto es un factor negativo para el medio ambiente y en general, para la gestión del aprovechamiento de residuos sólidos de construcción y demolición.

Por otra parte, es de suma importancia tener en cuenta las cifras, ya sea en toneladas o metros cúbicos, acerca de la generación y re utilización de los residuos de construcción y demolición que se presentan cada año en Colombia. Para esto fue necesario realizar una investigación avanzada con cifras lo más reales posibles que demostraran el verdadero

comportamiento de la gestión con este tipo de residuos. Esta investigación e identificación de valores y cifras numéricas fue de gran utilidad para identificar falencias, re procesos, cuellos de botella y en general, todos los aspectos que tienen lugar durante el proceso de generación, separación, recolección y transporte, almacenamiento y disposición final de los residuos de construcción y demolición.

Para el caso anterior, se lograron recolectar datos de las empresas que legalmente están constituidas y reportan de manera correcta las cifras encontradas. Cabe aclarar, que se puede presentar una brecha en los valores reales respecto a la generación, almacenamiento y tratamiento de RCD ya que, durante el proceso de investigación, no se tuvo en cuenta los datos de las empresas ilegales o que no reportan datos confiables, y esto, presentaría alteración en los resultados.

Para lograr un adecuado proceso de gestión con los residuos de construcción y demolición, es necesario realizar un análisis particular a su viabilidad y efectividad, especialmente a su relación de costos respecto al proceso de fabricación de nuevos materiales o concretos utilizando este tipo de residuos. Por lo tanto, para complementar la investigación de este proyecto, era recomendable elaborar un análisis comparativo de precios de producción entre un concreto convencional y un concreto que utiliza como materia prima los RCD.

De acuerdo a Sánchez de Guzmán, en su libro “Tecnología del concreto y del mortero” el concreto es la única roca fabricada por el hombre, y gracias al cemento portland, el concreto adquiere las características y comportamientos de una roca natural en cuanto a resistencia a la compresión, duración, permeabilidad, dureza, peso unitario e inclusive en apariencia. El autor menciona que el concreto es el material de construcción más ampliamente utilizado en todo el mundo, ya que su comportamiento y extraordinaria versatilidad en forma, función y economía lo hacen altamente competitivo con otros materiales de construcción como la roca, la madera e inclusive el acero.

Por lo tanto, a la hora de realizar una nueva mezcla de concreto utilizando materiales reciclados producto de construcción y demolición, o inclusive en la creación de nuevos elementos

como bloques, bordillos, andenes, entre otros, es estrictamente necesario realizar un proceso de control y seguimiento a estos nuevos materiales, especialmente en su costo de producción, ya que de allí surgen varias oportunidades o restricciones económicas a la hora de reutilizar los RCD.

De acuerdo a lo anterior, se realizó un análisis comparativo de costos en la fabricación de un concreto convencional versus la fabricación de un concreto que utiliza los RCD como agregado grueso en nuevas mezclas de concreto, buscando identificar aspectos relevantes respecto a las ventajas o desventajas económicas de producir nuevos materiales con este tipo de residuos.

Actualmente, las estrategias y herramientas gerenciales han venido presentando gran acogida y un adecuado funcionamiento en diversos proyectos y áreas de trabajo como la industria, el software, las telecomunicaciones, la producción automotriz y últimamente en los procesos de obras civiles y construcción.

Entre las herramientas gerenciales destacadas, se encuentra Lean Manufacturing o Lean Production, la cual trabaja bajo un sistema de organización del trabajo enfocada en la mejora continua del sistema de producción de una empresa o proyecto, donde el objetivo principal es identificar y eliminar todas aquellas actividades que no aportan valor al proceso, al producto final ni al cliente. (Andreu, 2021)

Teniendo como fundamento de investigación la identificación de entidades reglamentadas que participan en el proceso de gestión de residuos de construcción y demolición, las cifras reales y actuales del proceso de producción, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final de estos residuos, y finalmente un análisis económico comparativo de costos de producción de nuevas mezclas de concreto utilizando agregados naturales y los RCD, se realiza el diseño de un modelo gerencial el cual se estructure con base en las estrategias, herramientas y recomendaciones de las metodologías gerenciales, en especial del modelo Mapa de Flujo de Valor y la metodología Lean Manufacturing con el objetivo de lograr una correcta gestión respecto a la incorporación de los RCD en la producción de nuevas mezclas de concreto de baja resistencia para garantizar un segundo uso a este tipo de residuos.



Con la elaboración del proyecto de investigación se logró obtener resultados positivos al poder aplicar herramientas, metodologías, técnicas y estrategias gerenciales a los procesos de identificación, recolección, clasificación y reutilización de residuos de construcción y demolición para la elaboración de nuevos concretos.

## 1.1 Planteamiento del problema

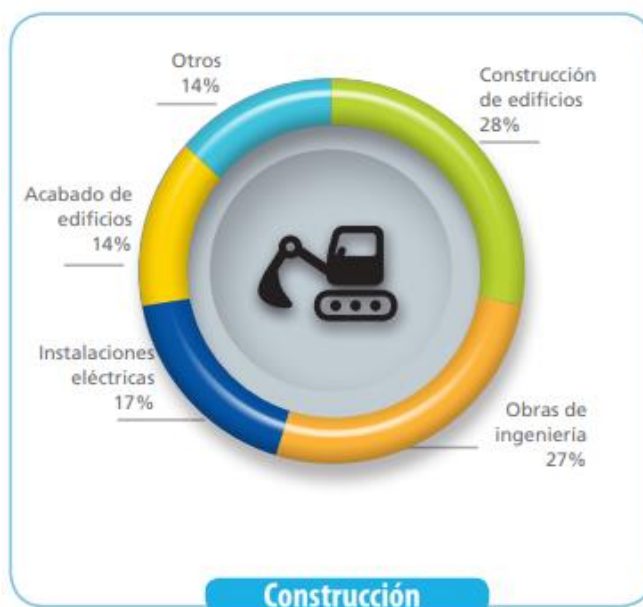
Desde los comienzos de la ingeniería civil, se ha logrado observar el gran avance que ha tenido la construcción de obras civiles. Esto representa un crecimiento socioeconómico y una mejor calidad de vida para la población.

En todos los proyectos de construcción se utiliza gran variedad de materiales para llevar a cabo la ejecución de estos, y así mismo, se generan gran cantidad de elementos y residuos que son desechados luego de haber culminado su función principal, generando así un impacto negativo en el medio ambiente al no realizar una adecuada disposición de este tipo de residuos.

Dentro de las principales consecuencias negativas que se generan en una mala disposición de los escombros y residuos de construcción, está la contaminación del ambiente, principalmente en la atmósfera y en el suelo, ya que es causada por los residuos sólidos que se acumulan y llegan a afectar inclusive, a la salud humana. Algunas fuentes hídricas superficiales se encuentran vulnerables a un proceso de contaminación debido a los escombros o residuos de construcción, ya que estos generan problemas nocivos en el agua, alterando sus propiedades naturales y produciendo efectos negativos como mal sabor y olor, reducción de la cantidad de oxígeno en aguas más profundas, acumulación de sedimentos en el fondo de lagos, y además, algunos cambios químicos ocasionados por contaminantes orgánicos e inorgánicos de aguas superficiales y subterráneas. (Barajas , Portilla, Diaz, & Peña, 2006)

El suelo también se puede ver perjudicado por la constante acumulación de residuos y escombros, los cuales forman una capa gruesa de cemento y otros materiales que van afectando la biodiversidad y la productividad del suelo. De igual manera, una inadecuada disposición de escombros en senderos peatonales y espacios públicos, se pueden convertir en factores de riesgo de accidentes para peatones y vehículos que por allí transitan. (Barajas , Portilla, Diaz, & Peña, 2006)

El sector de la construcción en Colombia se ha considerado como uno de los pilares para la economía del país; ya que se ha evidenciado su crecimiento durante los últimos años aumentando el desarrollo urbano en el territorio nacional. En la actualidad, con el aumento de los depósitos de RCD así como la consciencia ambiental dada por el calentamiento global y la reducción de recursos naturales, se ha fomentado la creación de empresas dedicadas a la recolección, almacenamiento y aprovechamiento de estos residuos, con el fin de darles una segunda vida y reducir, de esta manera, el accionar devastador al medio ambiente. Lo anterior presupone un mecanismo de trabajo de mayor amplitud, donde a partir de los ejes del desarrollo sostenible y las agencias internacionales para el cuidado del medio ambiente y el desarrollo urbano, se gestan ideas de aprovechamiento e integración.



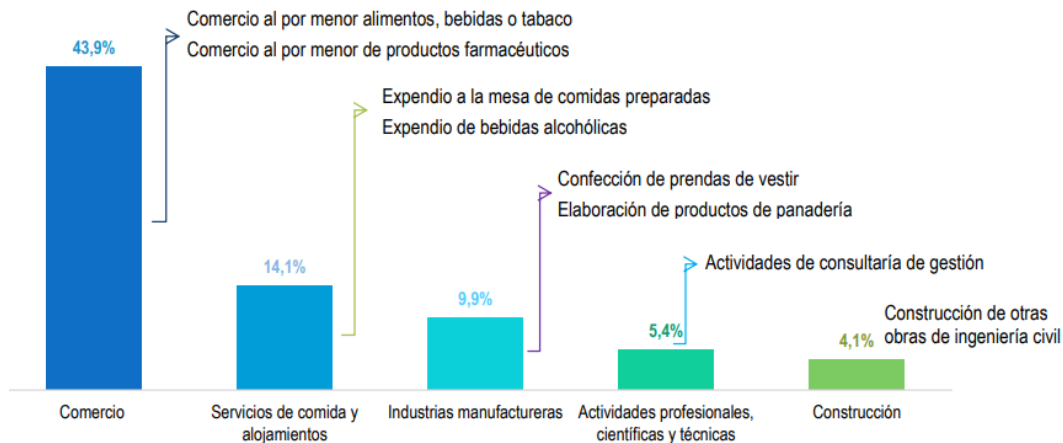
**Figura 2** Distribución de las empresas de construcción en Colombia (%), 2017. Fuente: confecamaras.org.co

Desde la literatura académica y la práctica, en Colombia los RCD han sido considerados como un problema para las comunidades, no solo por el mal manejo que se implementa en pequeña escala (arrojados de manera ilegal en humedales o zonas verdes, afectando el ecosistema por los cambios en la flora y la fauna) y en gran escala, sino también por la indisciplina ciudadana (mezclar residuos ordinarios con RCD), la falta de control de entidades gubernamentales y otros factores que afectan su manejo y conceptualización.

En Bogotá se produce una gran cantidad, toneladas, de desechos asociados con el sector de la construcción; considerando con ello la cercanía a una crisis en corto o mediano plazo. Lo anterior se vuelve aún mayor, al momento de pensar en las diferentes ciudades del país, donde el aumento en torno a la construcción ha aumentado de manera significativa, con la ampliación el turismo y crecimiento de la mancha demográfica. (Cabrera & Palacio, 2020)

El crecimiento anual que ha tenido el sector de la construcción Colombia, de acuerdo a los datos obtenidos en boletines trimestrales que genera el Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, ha generado un incremento en la generación de empleos y contribuido con el desarrollo arquitectónico de ciudades o municipios. Sin embargo, este crecimiento en el sector de la construcción también ha generado un alto impacto negativo al medio ambiente, esto debido al alto volumen en generación de residuos de construcción y demolición RCD, que según datos del ministerio de medio ambiente se producen más de 22 millones de toneladas al año. (Minambiente, 2019)

Según cifras del RUES (Registro Único Empresarial y Social), de las empresas creadas en el primer trimestre de 2021, el 56,7 % se constituyeron creando al menos un empleo. El comercio, la hotelería, alojamiento y servicios de comida, las industrias manufactureras, actividades profesionales, científicas y técnicas, y la construcción, se encuentran entre los sectores más dinámicos en creación de empleo, los cuales explican el 75,0 % de la participación total del número de nuevas empresas empleadoras. (Confecámaras, 2021)



**Figura 3** Subsectores con mayor creación de empresas empleadoras (Ene - Mar 2021). Fuente: Confecámaras.

Este alto crecimiento de la construcción, ocasiona a su vez, un alto contenido en la generación de residuos sólidos. Esto no sería problemático si existiera un modelo de gestión para el adecuado manejo, almacenamiento, disposición y reutilización de estos residuos que día a día se vienen incrementando conforme a la construcción de nuevas edificaciones.

No obstante, al día de hoy, se continua con la producción descontrolada de RCD, que finalmente, en su disposición final quedan expuestos a la intemperie o en lugares no aptos para su almacenamiento, generando alteraciones negativas paisajistas, contaminando suelos y posibles fuentes de agua, es decir, afectando recursos potenciales que proveen y mantienen un equilibrio y bienestar en el ambiente para especies animales, vegetales y principalmente, para la salud del ser humano. (Moran & Valdés, 2011)



**Figura 4** Residuos de construcción y demolición. Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente.

El uso de residuos de construcción y demolición en la elaboración de nuevas mezclas de concreto tiene varias razones positivas si se realiza una adecuada gestión del tratamiento y disposición final de este tipo de residuos:

- El concreto se encuentra en segundo lugar entre los materiales que más son consumidos en el planeta (25 billones de toneladas anuales, es decir, alrededor de 3,6 toneladas de concreto por cada habitante en el mundo)
- Tiene menor densidad (presenta un menor costo en el transporte y un menor peso por  $m^3$  de concreto a igual volumen).
- Ofrece una solución para la reducción de espacios de disposición final.
- Ofrece la posibilidad de sustituir recursos vírgenes.
- Reduce costos e impactos negativos en el ambiente asociados a la explotación de recursos naturales.
- Genera una menor distancia en el transporte. (Bedoya, 2003)

Dentro de las limitaciones que se encuentran sobre los materiales reciclados de la construcción están la falta de conocimiento en el tema y la ausencia de experiencias en el tratamiento de estos residuos, además, existe la duda en las propiedades físicas de los áridos obtenidos para usos específicos, la falta del cumplimiento de normatividad vigente que contemplan su uso, los impactos medioambientales asociados, la dificultad para obtener una cantidad suficiente de material a reciclar para lograr un equilibrio económico y finalmente la dificultad para obtener fuentes de provisión homogéneas. (Bedoya, 2003)

Las causas principales del reciente deterioro ambiental en el país, están relacionadas fundamentalmente con el acelerado incremento de la población y de la actividad productiva, en un contexto donde hay un bajo control estatal y civil, de carencia de políticas de poblamiento y ordenamiento territorial, de escasas normas ambientales y de falta de equidad social.

Durante el último siglo, en Colombia se presentó un incremento significativo en la población, casi multiplicándose por diez veces, y el PIB per cápita incrementó en el orden de ocho veces. El crecimiento de la población en las condiciones anotadas respecto al incremento en el PIB del país, explica lo ocurrido en relación con la ocupación de nuevas áreas para vivienda y la destrucción o generación de un impacto ambiental negativo. (Mariño, 2007)

La mayor fracción de los RCD son clasificados como inertes. Por lo tanto, la disposición de este residuo no es el peligro, sino sus altas tasas de generación, donde es incluso superior a la de los residuos domésticos, y el volumen de ocupación es similar. Esto ha incentivado diversas investigaciones acerca del Aprovechamiento y Manejo de Residuos de Construcción y Demolición, buscando soluciones para lograr una sostenibilidad ambiental. Además, se genera preocupación en la proliferación de puntos de vertimiento descontrolado o escombreras ilegales en las cercanías de los municipios colombianos. (Velasco López, 2010)

El no seleccionar, separar y disponer adecuadamente los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) impacta negativamente al medio ambiente, y es necesario crear un plan estratégico para lograr un adecuado manejo y optimización de este tipo de residuos. Anteriormente

se han realizado diversas investigaciones con el objetivo de analizar el comportamiento de las mezclas de concreto utilizando residuos de construcción y demolición como agregado grueso, concluyendo que una adecuada separación y reutilización de estos residuos cumplen con la mayoría de las características o requerimientos estructurales para la elaboración de nuevos concretos.

Dichos estudios han demostrado el valor positivo de este tipo de material utilizado como agregado grueso en concretos premezclados de baja resistencia, sin embargo, en la práctica actual no se ha implementado una estrategia productiva en el sector de fabricación de concretos, cuyo objetivo sea el aprovechamiento y reutilización de los residuos de construcción y demolición.

Teniendo en cuenta estos aspectos, se crea la necesidad de elaborar un modelo gerencial, el cual este basado en herramientas, técnicas y metodologías gerenciales que garanticen la inclusión de los residuos de demolición y construcción en los procesos de elaboración de nuevos concretos premezclados, utilizando estos residuos como agregado grueso. A partir de allí surge la pregunta:

**¿Cómo implementar un Modelo Gerencial que permita gestionar la inclusión de los residuos de construcción y demolición (RCD) en los procesos productivos de la elaboración de concretos premezclados?**



## 1.2 Justificación

La actividad de generación de residuos de Construcción y Demolición está ligada totalmente a la obra civil, específicamente como producto de la demolición de antiguas edificaciones o estructuras que ya cumplieron su tiempo de uso y ahora son obsoletas, así como también en la construcción de nuevas obras.

Son considerados residuos de construcción y demolición (RCD) todos aquellos residuos que son generados en el entorno urbano y su clasificación no está dentro de los residuos sólidos urbanos o residuos domiciliarios y comerciales, debido a que su composición es distinta en manera cuantitativa y cualitativa. En general, son residuos prácticamente inertes que están conformados principalmente por: tierras y áridos mezclados, piedras, restos de hormigón, residuos de pavimentos asfálticos, bloques de ladrillo, cristal, madera, plástico, yeso y en general, todos los residuos que se generan por la construcción de edificaciones nuevas y otras obras de infraestructura, así como los generados por la demolición o reparación de edificaciones antiguas. (Bedoya, 2003)

Según datos del decreto 908 de 2010, la ciudad de Bogotá produce diariamente más de 450 toneladas de escombros y desechos de materiales de construcción que los pequeños productores depositan en sitios no permitidos y no controlados. De acuerdo a un estudio realizado por la Personería de Bogotá, que fue adelantado recientemente, menciona que algunos lugares como parques, potreros, lotes, separadores, conjuntos residenciales, zonas verdes y humedales, se han convertido en lugares de depósito de escombros en la ciudad. (Decreto 098, 2010)

El problema de la generación de basura en las ciudades, es que, si no hay un adecuado control en la generación y disposición, poco a poco se verán sumergidas de una manera exponencial por la cantidad de desechos generados. En el mundo, se producen alrededor de 10 mil millones de toneladas de residuos anuales, de los cuales no se recoge ni se somete a algún tratamiento ni la mitad de estos. (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), 2019)

Recientemente, en Colombia y en el mundo se ha venido registrando una tendencia hacia el reciclaje y la reutilización de materias primas, la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> y el cuidado de los ecosistemas. Sin embargo, aún se sigue presentando un incremento en la generación de residuos de la construcción, plásticos, eléctricos y electrónicos, entre otros.

Actualmente, con el desarrollo y avance tecnológico en el mundo, se pueden generar alternativas en la utilización de materiales para la elaboración de nuevos productos. El sector de la construcción ha tenido un cambio positivo al implementar el diseño y ejecución de edificaciones autosustentables, partiendo de uso de energías renovables como los paneles solares, utilización de aguas lluvias para actividades de riego de plantas y labores de aseo y finalmente la incorporación de vegetación en la fachada de estos edificios buscando mejorar la calidad visual en las ciudades.

Por cada tonelada de residuos generada en los procesos de uso y consumo, previamente se han producido cinco toneladas de desperdicios en su fabricación y veinte toneladas de desechos en la extracción de las materias primas de acuerdo a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

La generación de los residuos de construcción y demolición (RCD) ha venido aumentando en los últimos años acorde al crecimiento de infraestructura en el país, lo cual ha afectado a las zonas donde se debe realizar la disposición final de estos residuos por el alto volumen que ocupan y porque no se realiza una separación adecuada en la fuente. Un tratamiento no adecuado a los residuos de construcción y demolición implican un incremento en la contaminación del medio ambiente. La mayoría de los espacios destinados para el almacenamiento de este tipo de residuos no cuentan con un plan de manejo gerencial que permita el adecuado correcto tratamiento y reutilización de esta clase de residuos.

No es negable que en todo tipo de obra civil existan residuos de construcción, independientemente del tamaño de la obra, siempre se van a generar cantidades de residuos que por alguna razón no se les puede brindar un tratamiento adecuado para un segundo uso en los proyectos.

Respecto al aspecto económico, el transporte de desechos de construcción genera un incremento en los costos de obra, ya que las operaciones de manejo, transporte y disposición final de estos residuos durante la ejecución de las obras, y particularmente en proyectos de demolición de estructuras, representan un inconveniente en los procesos de almacenamiento y disposición final. (Velasco López, 2010)

De acuerdo a lo mencionado, el propósito de este proyecto de investigación es contribuir con el medio ambiente por medio de un modelo de gestión gerencial que garantice la transformación y re utilización de RCD. Se realiza principalmente para mitigar el impacto ambiental negativo que se genera debido a la explotación de recursos naturales (canteras) para la creación de nuevos concretos, y además, por el alto volumen de residuos generado en los sitios de disposición final o escombreras.

Para el adecuado desarrollo de este proyecto, se analizaron y aplicaron técnicas, herramientas, metodologías y buenas prácticas gerenciales que facilitaron la creación de un modelo gerencial dedicado a la optimización de los residuos de construcción y demolición garantizando un segundo uso en nuevas mezclas de concreto de baja resistencia.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1.Objetivo General**

- Desarrollar una metodología gerencial fundamentada en la filosofía Lean Manufacturing, la cual permita una incorporación efectiva de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en la producción de concretos premezclados de baja resistencia, garantizando un segundo uso a este tipo de residuos.

### **1.3.2.Objetivos Específicos**

1. Investigar acerca de la existencia y operación de empresas legales dedicadas a la recolección, almacenamiento y aprovechamiento de RCD en Colombia.
2. Obtener información y datos estadísticos actualizados de la generación, reutilización y uso de RCD en Colombia.
3. Realizar un análisis comparativo de costos en la fabricación de un concreto convencional versus un concreto que utiliza RCD verificando la viabilidad de producción y funcionamiento.
4. Diseñar un modelo gerencial basado en la herramienta Lean “Mapa de flujo de valor” el cual permita generar una adecuada gestión de los residuos de construcción y demolición – RCD.

### 1.3.3. Alcance

Este proyecto de investigación se desarrolla y tiene lugar en la ciudad de Bogotá y los municipios aledaños de la sabana, en donde se puede trabajar de la mano con los sitios de disposición final legalmente establecidos y autorizados por el ente territorial a cargo. En el proyecto se realiza el análisis de cómo llegan los RCD a los sitios de disposición final para así validar la correcta clasificación y separación de materiales y verificar si se puede lograr realizarlo desde la fuente generadora.

El proyecto se basa en una investigación de tipo explicativa, la cual se llevará a cabo para investigar de forma puntual el caso de estudio relacionado con la generación, transporte, almacenamiento y disposición final de los RCD. La intención de esta investigación es la de proporcionar información y detalles relevantes que permitan identificar factores importantes en el proceso y tratamiento de este tipo de residuos, buscando así la creación de una herramienta gerencial que permita generar una correcta gestión de los RCD.

Inicialmente se realizó un reconocimiento e identificación de las entidades que legalmente están encargadas del almacenamiento y tratamiento de los RCD en Colombia. Seguido a esto, se realizó una evaluación de datos significativos del volumen de residuos que son generados y tratados en el país. Una vez conocidos estos dos aspectos, se realizó un análisis económico comparativo respecto a la fabricación de concretos utilizando materia prima convencional versus el uso de RCD.

Finalmente, y con base en estos tres aspectos, se elaboró un modelo de gestión, el cual consta de un plan de selección, separación, almacenamiento y re utilización de residuos de construcción y demolición RCD en las plantas de aprovechamiento el cual esté basado en técnicas y herramientas gerenciales como Mapa de Flujo de Valor y Lean Manufacturing.

Este modelo gerencial podrá ser aplicado en todos los centros de almacenamiento y disposición final de residuos de construcción en Colombia, ya que cuenta con metodologías y técnicas gerenciales que permiten orientar de la manera correcta acerca del adecuado manejo y correcta gestión de los RCD independientemente de la localización de los centros de acopio.

## Capítulo 2: Antecedentes y Estado del Arte

A continuación, se evidenciará las investigaciones que ha tenido lugar el tema de RCD desde tiempos anteriores.

### 2.1 Estado del arte.

De acuerdo a Marroquín, el uso de concreto reciclado se inició en tiempos posteriores a la segunda guerra mundial, en donde los países europeos se enfrentaban a la problemática por gran acumulación de escombros debido a las estructuras destruidas en varias ciudades, motivo por el cual, se vieron obligados a reciclar todos estos residuos de las estructuras y utilizarlos como nuevo material de construcción, otorgándoles un segundo uso. (Marroquin Muñoz, 2012)

Por otra parte, Velásquez y Cruz refieren que la mayor parte de los textos describen la utilización del producto obtenido de la demolición de tabiques, ya que estos eran del material de construcción predominante. Sin embargo, existen, cuando menos, dos reportes que datan de la posguerra inmediata, en los que se describe el uso de los desechos de concreto.

En 1946, Gluzhge investigó en Rusia la utilización de residuos de concreto como agregado, encontrando que dichos residuos tenían un peso específico menor que el agregado natural, y que, además, el concreto elaborado con agregados de concreto demolido tenía una baja resistencia a la compresión en comparación con un concreto convencional. (Velásquez & Cruz, 2004)

Por otra parte, logrando igualar resistencias a la compresión, la resistencia a la flexión del concreto con agregados de material reciclado era mayor que la de las mezclas comunes. Si se usaban agregados finos de concreto, el contenido de cemento tenía que incrementarse excesivamente. (Velásquez & Cruz, 2004)

De acuerdo a Lauritzen y Haan, las cantidades y categorías de los residuos de la construcción dependen en gran manera de un número de factores, entre los cuales, la política financiera de gestión de las compañías de construcción tiene una influencia decisiva. Al darse cuenta de que una gran cantidad de residuos podían ser reutilizados, algunos países han procurado en los últimos años, producir menos cantidades. De igual manera, se han comenzado un gran número de estudios y proyectos para investigar las actuales posibilidades de reciclaje. (Lauritzen & Haan, 1997)

Desde un punto de vista netamente económico, el reciclaje de residuos de construcción resulta atractivo cuando el producto reciclado es competitivo con las materias primas en relación al costo y calidad. Los materiales reciclados serán altamente competitivos donde exista falta de materias primas y lugares de vertido adecuados. Con el uso de los materiales reciclados, se pueden obtener grandes ahorros en el transporte de residuos de la construcción y materias primas. (Lauritzen & Haan, 1997)

En Colombia, en la ciudad de Medellín en el año 2003 se llevó a cabo un estudio de materiales tales como concreto, materiales cerámicos, ladrillo y mortero que pudieran ser reciclados y reutilizados en nuevas obras. Se analizaron sus características y comportamiento teniendo como referencia un material normalmente usado en mezclas de concreto como agregados finos y gruesos. (Bedoya, 2003)

Cuando se exponen importantes ventajas de la reutilización y el reciclaje de escombros para confeccionar nuevos concretos, es indiscutible que el beneficio ambiental para los ecosistemas urbanos es evidente y cuantificable. Se estima que si se reciclara cuando menos el 40 % de los escombros producidos diariamente en la ciudad de Medellín, se estaría hablando de aproximadamente unas 1600 toneladas que no llegarían a puntos negros ni a rellenos sanitarios, y que además, no se estarían extrayendo de las laderas altamente afectadas del Valle de Aburrá. (Bedoya, 2003)



De acuerdo a las dinámicas de una sociedad en la cual hasta ahora el factor económico predomina por encima del factor ambiental, se hace necesaria la comprobación científica acerca del desempeño de un material que utilizará escombros como agregados. Tal comprobación se basa fundamentalmente en los siguientes aspectos:

- Disponibilidad en el medio de materias primas que puedan ser recicladas y/o reutilizadas en las cantidades que la actividad edilicia de una conurbación requiere.
- Resistencia del concreto confeccionado con escombros al esfuerzo de la compresión a los 28 días de edad;
- Factibilidad de uso en prefabricados de frecuente utilización en la construcción.

Teniendo en cuenta estos aspectos, se realizaron estudios sobre el comportamiento de dicho material reciclado. El objetivo general era demostrar la viabilidad técnica y económica de un concreto no convencional, confeccionado con agregados provenientes del reciclaje de escombros, de tal manera que se pudiera ubicar la actividad de la construcción en un marco de sostenibilidad urbana. (Bedoya, 2003)

En el año 2007, el Ingeniero Juan José Mariño publicó un artículo referente al papel de la ingeniería civil en la evolución del medio ambiente en Colombia. El autor refiere que el estado de deterioro ambiental del planeta y las proyecciones sobre los impactos acumulativos futuros, han hecho del tema ambiental una de las principales preocupaciones actuales de la humanidad.

En Colombia, el deterioro ambiental se aceleró fuertemente durante el último siglo, tanto en términos de la destrucción de bosques y coberturas vegetales naturales, como de la presión excesiva ejercida sobre la fauna, los suelos, las aguas, el aire. Los usos actuales del territorio han implicado destruir del orden de 300000 km<sup>2</sup>, es decir, cerca del 35% de los bosques naturales preexistentes. Posiblemente más de la mitad de esta destrucción se hizo en el último siglo, cuando fue especialmente intensa la actividad colonizadora. A pesar de los mecanismos actuales de

control, la destrucción de bosques naturales sigue avanzando a tasas estimadas entre 500 y 1000 km<sup>2</sup>/año (860 km<sup>2</sup>/año comparando los datos del IDEAM para los años 1986 y 2001).

Entre las causas primarias del deterioro ambiental reciente del país están relacionadas directamente con el acelerado aumento de la población y de la actividad productiva, en un contexto de bajo control estatal y civil, de carencia de políticas de poblamiento y ordenamiento territorial, de escasas normas ambientales y de falta de equidad social.

El papel principal de la ingeniería fue atender las necesidades básicas de la población creciente y posibilitarle el disfrute de una serie de servicios y de comodidades acordes con los avances y paradigmas de la modernidad, y además, crear las condiciones de infraestructura que permitieron el desarrollo de las actividades productivas y el crecimiento económico. (Mariño, 2007)

En el año 2007, en la ciudad de Quintana Roo, México, se realizó un estudio para la reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas. Los autores del artículo, Lepe Domínguez y Emilio Martínez, refieren que la industria de la construcción demanda grandes volúmenes de recursos y es la mayor productora de residuos sólidos; sin embargo, estos no se aprovechan adecuadamente. (Domínguez & Martínez, 2007)

Los residuos de construcción y demolición (RCD), no son totalmente aprovechados, sino que van a ser destinados en sitios de deposición clandestinos como terrenos baldíos o áreas ecológicas, y en el mejor de los casos, se utilizan como relleno, teniendo como resultado una mala imagen urbana y generación de contaminación, además de las pérdidas económicas. Una manera de coadyuvar a preservar el medio ambiente y los recursos es reinsertando estos desechos en el ciclo de vida de la construcción a través del reciclaje, obteniendo así nuevos materiales para la construcción. (Domínguez & Martínez, 2007)

El artículo de investigación realizó pruebas con materiales o residuos de construcción previamente separados y triturados para así poder elaborar adoquines para la construcción de un

módulo de vivienda con dos objetivos: Demostrar que sí es posible reincorporar este tipo de residuos al ciclo de vida de la construcción de obras de infraestructura y segundo, contribuir al conocimiento de este tipo de materiales, con sus principales características buscando fomentar su uso.

El artículo concluye que la reinserción de los residuos al ciclo productivo de la construcción es una alternativa con la calidad necesaria, y el módulo de vivienda representa un ejemplo demostrativo para la transferencia de tecnología a la sociedad, además de los beneficios ecológicos implícitos. (Domínguez & Martínez, 2007)

En 2010, en la ciudad de Pereira, se realizó la formulación de una propuesta de gestión ambiental para la recuperación y reciclaje de materiales de construcción y demolición cuyo objetivo principal era el de proveer de un Plan de Gestión Ambiental para el Manejo y aprovechamiento de los Residuos de Construcción y Demolición, brindando la información necesaria, a partir de la descripción e interpretación de la normatividad, de los principios fundamentales de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, teniendo en cuenta las alternativas tecnológicas para el desarrollo de los procesos de transformación, valorización y disposición de dichos residuos. (Velasco López, 2010)

El autor concluye con esta investigación que el aprovechamiento y manejo adecuado de los escombros puede aumentar la vida útil de las escombreras, evitar el deterioro ambiental y del paisaje, por las actividades asociadas a la extracción y transformación de materias primas vírgenes utilizadas en el sector de la construcción.

Además, debido al aprovechamiento y reciclaje de escombros hay un ahorro substancial en los costos de materia prima y mano de obra, lo cual impactaría principalmente los costos de venta y la posibilidad de mejorar las condiciones de los empleados de la empresa. (Velasco López, 2010)

En el año 2011 se publicó un artículo de investigación realizado en España, donde se analizaba las limitaciones del estado actual de la gestión de residuos de construcción y demolición.

Los autores refieren que el sector de la construcción ha crecido de forma exponencial en las últimas décadas y con él, la producción de residuos generados, estimándose está en 2 kg por habitante y día, lo que representa una magnitud escalofriante. (Moran & Valdés, 2011)

Para solucionar este problema la administración de España promueve comportamientos ecológicos respecto a la gestión de residuos de construcción y demolición (producción y posterior manejo y utilización de estos) a través de la redacción de normas que regulen el tema.

Teniendo en cuenta la legislación española respecto a los residuos de construcción y demolición, los autores refieren que estas normas presentan importantes carencias y limitaciones. Si estas carencias y limitaciones no se resuelven, el proceso encaminado a mejorar la sostenibilidad se interrumpe y las medidas tomadas hasta el momento se vuelven ineficaces.

El trabajo de investigación tiene como objetivo el de poner de manifiesto los problemas o falencias en la ley a fin de evitarlos, de forma que todos los agentes implicados conozcan el importante papel que desempeñan en la correcta gestión. (Moran & Valdés, 2011)

En 2012, se realizó un artículo que presenta un metaanálisis de los contenidos de las publicaciones sobre la gestión de residuos de construcción y demolición, y recopila los avances sobre los temas más tratados en los últimos años. Los autores, concluyen que los temas más mencionados son los materiales de residuo, las cantidades generadas, entre otros. Estos resultados podrían ayudar a orientar futuras investigaciones. Además, guiarían la priorización de los esfuerzos de investigación en países en desarrollo los que podrían concentrarse en analizar la situación de los RCD, las metodologías de integración de los adelantos en el tema y las metodologías para la formulación de planes de gestión en obra, entre otros. (Aldana & Serpell, 2012)

En ese mismo año, 2012, se realizó una investigación acerca del ladrillo reciclado y triturado usado como agregado grueso en la elaboración de mezclas de concreto donde el autor refiere que el reciclado y la reutilización de ladrillos procedentes de defectuosa fabricación podría,

conducir a la industria de la construcción a un escenario de mayor sostenibilidad, reduciendo el uso de recursos no renovables y el impacto negativo que causa al medio ambiente el manejo inadecuado de los residuos sólidos.

La investigación indica que se analizaron las propiedades químicas del ladrillo reciclado, así como las propiedades mecánicas del concreto endurecido (flexión y compresión a los 28 días). Los resultados del ensayo indican la viabilidad de utilizar triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto siempre y cuando este no supere el 30% del agregado natural grueso. (Pérez Rojas, 2012)

En el año 2012, la secretaria distrital de ambiente de Bogotá planteó una herramienta de gestión que permite al sector de la construcción lograr minimizar los impactos negativos ambientales en el desarrollo de las diferentes etapas del proceso constructivo. Así mismo, permite orientar al constructor para desarrollar un adecuado control de los residuos, conduciéndolos a una adecuada disposición final de acuerdo a la normatividad ambiental establecida. La guía plantea estrategias y prácticas de fácil manejo y compresión, para luego ser aplicadas al momento de ejecutar actividades encaminadas a la gestión integral de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD). (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014)

En 2013, se realizó la publicación de un artículo de investigación acerca de los residuos de construcción y demolición, particularmente sobre la revisión sobre su composición, impactos y gestión. El artículo describe que la construcción de obras públicas y privadas es una de las actividades económicas más rentables y generadoras del desarrollo. La actividad también incluye la demolición.

Como consecuencia de ambas actividades, se genera inevitablemente la presencia de residuos o escombros. Debido al acelerado crecimiento que ha tenido la industria de la construcción, los residuos generados por esta actividad son considerados un problema ambiental y social para las ciudades, pues hay deficiencia de gestión y control.

La investigación realiza un análisis bibliográfico sobre el tema de los Residuos de la Construcción y la Demolición (RCD), abarcando temas como los efectos sobre la salud y el medio ambiente, gestión de residuos, tendencias mundiales para la disposición de los mismos, recomendaciones para una buena gestión, específicamente en Colombia, centrándose especialmente en el área metropolitana del Valle de Aburrá. (Mejía, Giraldo, & Martínez, 2013)

En este mismo año, se publica un artículo sobre la gestión de los RCD en Bogotá, donde se trata su perspectivas y limitantes. Los autores refieren que el reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) como agregados es una práctica, relativamente difundida en los países desarrollados, para prevenir la contaminación ambiental y disminuir el impacto de la extracción de agregados vírgenes. En Colombia, es un objetivo novedoso que se han venido trazando las entidades públicas encargadas de gestionar la construcción y el medio ambiente.

En el artículo de investigación se discute el tema de la generación y gestión de los residuos generados por la construcción en Bogotá, además de las políticas públicas y condiciones necesarias para que la actividad del reciclaje de agregados se convierta en una posibilidad viable y se generen acciones alrededor de las oportunidades y retos necesarios para alcanzar una gestión total de los RCD. (Castaño, Rodríguez, Lasso, Cabrera, & Ocampo, 2013)



**Figura 5** Ecomuros con concreto reciclado.

Fuente: Boletín Sostenibilidad y Concreto No. 2 - 2013 - Asocreto

En el año 2015, se realizó un estudio donde se realiza un aprovechamiento de residuos de la construcción usados como opción para recuperación de suelos. Los autores refieren que la disposición final de residuos de la construcción y demolición (RCD) puede generar impactos ambientales negativos como la degradación y erosión de suelos, destrucción de la vegetación y pérdida de servicios ambientales.

El objetivo del trabajo de investigación fue caracterizar química y mineralógicamente los RCD generados en la ciudad de Medellín y determinar su uso potencial en la biorremediación de suelos degradados por la minería. A través de las técnicas de difracción de rayos X y microscopia óptica de luz plana polarizada se ha encontrado en los RCD minerales tales como cuarzo, calcita, wallstonita, albita, anatasa, actinolita.

Estos minerales al aplicarse a suelos degradados pueden mejorar las propiedades físicas de estos (aireación, infiltración), así como aportar nutrientes esenciales (Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni) o benéficos para las plantas (Na, Si, Cu). Los resultados obtenidos sugieren que los RCD tienen un alto potencial para ser usados en la bioremediación de terrenos degradados por minería. (Mejía, Osorno, & Osorio, 2015)

En 2016, se elabora un artículo de investigación donde se presenta una metodología para la elaboración de proyectos en el área de gestión de residuos de construcción y demolición en el contexto colombiano. El objetivo de la investigación fue servir de base para la formulación de proyectos a ejecutarse en Colombia u otros países con necesidades similares en torno a la gestión adecuada.

El documento siguió los lineamientos de la metodología del marco lógico y los principales resultados metodológicos y teóricos involucran: el análisis de la situación problema de estudio; la selección de los actores involucrados (i.e., stakeholders); el rol de los stakeholders en torno al proyecto; la posición, potencia y frecuencia de los stakeholders frente al proyecto; el análisis de las necesidades y el análisis de los objetivos. (Carvajal & Carmona, 2016)

Finalmente, en el año 2017, el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible aprueba la resolución 0472, la cual reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición – RCD y se dictan otras disposiciones. Dicha resolución declara que se han incrementado la generación de residuos de construcción y demolición, conforme al diagnóstico integral del modelo actual de la gestión de residuos en Colombia, en el año 2011, se produjeron en las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali, Manizales, Cartagena, Pereira, Ibagué, Pasto, Barranquilla, Neiva, Valledupar y San Andrés, 22.270.338 toneladas de RCD. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2017)



## Capítulo 3: Marco de Referencia

### 3.1 Marco teórico

#### 3.1.1. CICLO DE VIDA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

##### **Extracción**

Es el proceso mediante el cual se realiza la explotación y extracción de recursos y/o materias primas, las cuales generan impactos ambientales en el lugar donde se realiza la actividad. (Bedoya, 2003)

##### **Manufactura**

Es la etapa en donde la materia prima pasa por un proceso de transformación y se convierte en productos con características especiales. Con el objetivo de lograr el cumplimiento en los parámetros de calidad, las industrias realizan procesos técnicos desarrollados y debidamente reglamentados, que reducen la emisión de gases y la contaminación de la atmósfera. (Bedoya, 2003)

##### **Transporte**

En esta etapa se realiza la movilización de los materiales y el proceso se ejecuta durante todo el ciclo de vida de estos. Los costos ambientales relacionados con el transporte, tienen que ver con la relación entre el peso total de la carga, la distancia del recorrido desde el punto inicial al punto final, el medio de transporte utilizado y el tipo de combustible empleado. (Bedoya, 2003)

##### **Construcción**

Durante el proceso constructivo de las nuevas estructuras y edificaciones, se generan impactos de diversa índole; Durante el montaje y construcción, existe la posibilidad de generar contaminación debido a las sustancias químicas utilizadas, por lo que se debe evitar su vertimiento a los cuerpos de agua. Los residuos de la construcción se pueden reciclar, y

con una adecuada disposición final, se podrá generar una reducción en el impacto ambiental. (Bedoya, 2003)

### **Uso y Mantenimiento**

Para obtener una adecuada respuesta en el uso de materiales reciclados ligados al sistema constructivo, y a la elección acertada de los materiales a emplear, es importante tener en cuenta que el uso y mantenimiento de una nueva edificación u obra de construcción cumplan con los criterios de la vivienda sostenible, lo cual implica que los materiales que componen la estructura cumplan con ciertas características: resistencia, durabilidad, fácil mantenimiento, sustancias libres de tóxicos que puedan afectar la salud y el medio ambiente y, en lo posible hacer uso de materiales que puedan ser reutilizados al final de su vida útil. (Bedoya, 2003)

## **3.1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.**

### **3.1.2.1. Según su naturaleza:**

- **Residuos inertes:** Son los residuos que no presentan algún riesgo de contaminación para el agua, el suelo o el aire, y en general se asimilan a materiales pétreos. Este tipo de residuos no experimentan alguna transformación física, química o biológica significativa. Los residuos inertes no son combustibles ni solubles, tampoco reaccionan de manera física o química ni de ninguna otra manera, además, no son biodegradables y tampoco afectan a otros materiales o recursos que entren en contacto con estos. Estos residuos no son perjudiciales para el ambiente ni para la salud humana. (Bedoya, 2003)
- **Residuos no peligrosos o no especiales:** Este tipo de residuos pueden ser dispuestos, tratados o almacenados en el mismo lugar donde se encuentran o se tratan los residuos domésticos. La denominación de no- peligrosos define sus

posibilidades de reciclaje y pueden ser clasificados y reciclados en instalaciones o espacios industriales en conjunto con otros residuos. (Bedoya, 2003)

- **Residuos especiales:** Son aquellos residuos conformados por materiales o sustancias que tienen características particulares que pueden ser perjudiciales para la salud o el medio ambiente. (Bedoya, 2003)

### 3.1.2.2. Según su fuente de generación y origen:

- **Materiales de limpieza de terrenos:** Grupo conformado por arbustos, ramas, árboles y capa vegetal en general.
- **Materiales de excavación:** Este tipo de residuos es considerado como un material inerte, natural o artificial. En algunos, cuando el suelo no es virgen, se presenta con contaminantes.
- **Residuos de obras de infraestructura vial:** Compuestos por restos de losas de concreto producto de la construcción de vías, residuos y triturados de asfalto y pavimento, concreto de puentes, renovación y cambio de materiales, entre otros. (Bedoya, 2003)
- **Residuos de construcción nueva, ampliación o reparación (obra menor) y demolición:** Son aquellos residuos que se originan por producto de la demolición, operaciones de desmontaje, desmantelamiento y derribo de edificios y de instalaciones. En la demolición, se originan gran cantidad de residuos o inertes pétreos, sin embargo, durante el período de construcción las cantidades son mucho menores ya que en este caso corresponden solo a sobrantes.

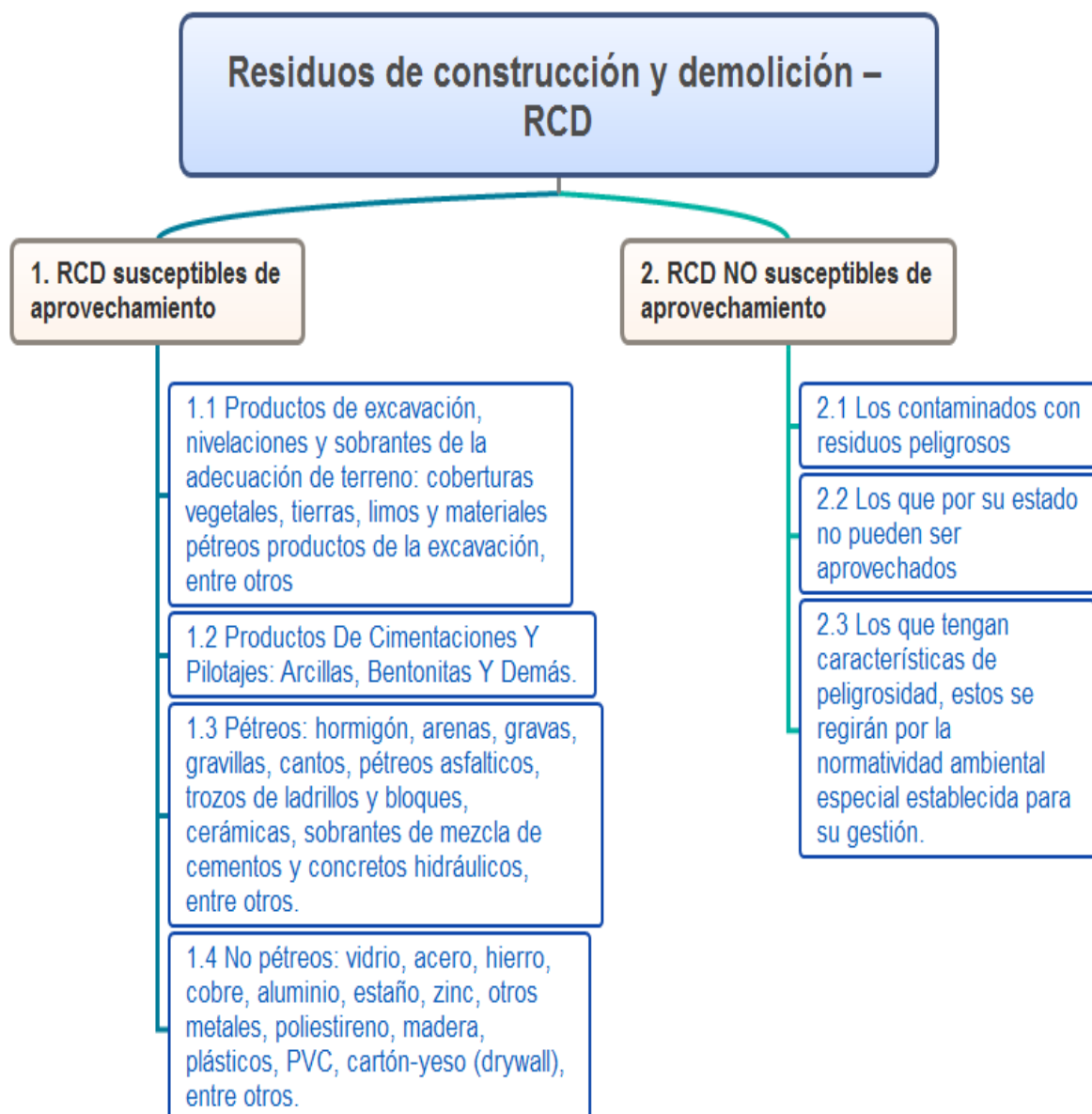
### 3.1.3. RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN, DEMOLICIÓN Y EXCAVACIONES.

Los residuos de construcción y demolición son aquellos que se originan durante el proceso de ejecución de los trabajos de nueva construcción, o en la demolición y desmantelamiento de algunas estructuras. El origen de estos residuos es diverso, ya que están los que provienen de la propia acción de construir y están los que provienen de los envases y empaques de los diferentes productos e insumos que llegan a las obras. (Bedoya, 2003).

Los residuos de construcción y demolición, conocidos anteriormente como escombros, son aquellos residuos sólidos que se originaron de las actividades de excavación, construcción, demolición, reparaciones y/o mejoras locativas de obras civiles, entre los cuales se pueden encontrar los siguientes tipos:



*Figura 6* Tipos de residuos. Fuente: (CAR, 2021)



**Figura 7** Tipos de RCD. Fuente: (CAR, 2021)

Los residuos producidos en el desarrollo y ejecución de un proyecto de construcción son los que se listan en la siguiente figura:

CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) PARA LAS ETAPAS CONSTRUCTIVAS			
CATEGORÍA	GRUPO	CLASE	COMPONENTES
A. <b>RCD APROVECHABLES</b>	I-Residuos comunes inertes mezclados	1. Residuos pétreos	Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosín, mortero y materiales inertes que no sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría <sup>(1)</sup> .
	II-Residuos comunes inertes de material fino	1. Residuos finos no expansivos	Arcillas (caolín), limos y residuos inertes, poco o no plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría <sup>(1)</sup> .
		2. Residuos finos expansivos	Arcillas (montmorillonitas) y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> .
	III-Residuos comunes no inertes	1. Residuos no pétreos	Plásticos, PVC, maderas, cartones, papel, siliconas, vidrios, cauchos.
	IV-Residuos metálicos	1. Residuos de carácter metálico	Acero, hierro, cobre, aluminio, estaño y zinc.
	V-Residuos orgánicos	1. Residuos de pedones	Residuos de tierra negra.
		2. Residuos de cespedones	Residuos vegetales y otras especies bióticas.

**Figura 8.** Clasificación de los RCD para las etapas constructivas - RCD Aprovechables. Fuente: Decreto 838 de 2005 y Decreto 4741 de 2005 de la Secretaría Distrital de Ambiente.

CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) PARA LAS ETAPAS CONSTRUCTIVAS			
B. RCD NO APROVECHABLES	VI-Residuos contaminantes	1. Residuos peligrosos	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, asfaltos, resinas, plastificantes, tintas, betunes, barnices, tejas de asbesto, escorias, plomo, cenizas volantes, luminarias convencionales y fluorescentes, desechos explosivos, y otros elementos peligrosos.
		2. Residuos especiales	Poliestireno - Icopor, cartón-yeso (drywall), lodos residuales de compuestos.
		3. Residuos contaminados	Materiales pertenecientes a los grupos anteriores que se encuentren contaminados con residuos peligrosos y especiales.

**Figura 9.** Clasificación de los RCD para las etapas constructivas - RCD Aprovechables.  
Fuente: Decreto 838 de 2005 y Decreto 4741 de 2005 de la Secretaría Distrital de Ambiente

De acuerdo con la clasificación de la tabla anterior, a continuación, se relacionan las densidades promedio de cada uno de los grupos de residuos de construcción y demolición existentes, que sirven como base para calcular de manera adecuada los pesos y volúmenes de los mismos.

**Tabla 1.** Densidades de los materiales por grupos

GRUPO	DENSIDAD PROMEDIO (Ton/m <sup>3</sup> )
1. Residuos comunes mezclados	1,65
2. Residuos de material fino	1,70
3. Residuos comunes no inertes	0,69
4. Residuos metálicos	7,31
5. Residuos orgánicos	1,28
6. Residuos contaminantes	1,89

Basado en: <http://www.aconstructoras.com>; <http://editorial.dca.ulpgc.es>

**Tabla 2** Residuos principales de obra

ACTIVIDAD	TIPO DE OBRA	COMPONENTES PRINCIPALES
<b>Demolición</b>	Vivienda, edificios, obras publicas	Antiguas: mampostería, ladrillo, madera, yesos, tejas, etc.
		Recientes: Ladrillo, hormigón, hierro, acero, metales, escombros y plásticos.
		Industriales: Hormigón, acero, mampostería, etc.
<b>Construcción</b>	Excavación	Tierra
	Edificación y obras publicas	Hierro, acero, ladrillos, bloques, tejas y materiales no férricos.
	Reconstrucción	Suelo, roca, hormigón, cal, yeso, pavimento, ladrillo y escombros
	Otros	Madera, plástico

Fuente: (Bedoya, 2003)

La generación de residuos de Construcción y Demolición está íntimamente ligada a la actividad del sector de la construcción, como consecuencia de la demolición de edificaciones e infraestructuras que han quedado obsoletas, así como de la construcción de otras nuevas.

Los residuos de construcción y demolición, conocidos anteriormente como escombros, conforman un alto porcentaje del total de residuos sólidos generados y han sido considerados de menor importancia frente a otros residuos como los domiciliarios, quizás por ser teóricamente inertes y, por lo tanto, fácilmente eliminables. Los RCD se generan en cualquier tipo de obra, ya sea en trabajos de demolición, rehabilitación, reforma o nuevas construcciones.

La composición de los escombros es muy variada. En principio, no deben contener ninguna fracción de plásticos, materia orgánica, papeles, etc. Sin embargo, la permanencia de estos residuos en el espacio público distrital, los hace bastante heterogéneos y difíciles de manejar dada la mezcla con otros residuos en las propias obras.



Los escombros están compuestos aproximadamente en un 20% de hormigón, un 50% de material de albañilería, un 10% de asfalto y un 20% de otros elementos como maderas, metales, plásticos, entre otros.

De acuerdo al informe de la personería delegada para el hábitat y los servicios públicos, se encontró que la ausencia de resultados en los procesos de gestión y control de RCD adelantados por la Secretaría Distrital de Ambiente, se logró evidenciar la necesidad de que la ciudad de Bogotá proponga las acciones necesarias que den efectividad en el control y sanción a las infracciones ambientales relacionadas con el inapropiado manejo de los escombros y residuos de construcción en la ciudad.

Se evidencia en el informe que la ciudad de Bogotá produce diariamente alrededor de 450 toneladas de escombros y desechos de materiales de construcción, los cuales son depositados clandestinamente e incontroladamente en zonas comunes, parques, potreros, separadores, zonas verdes, conjuntos residenciales y humedales. (Decreto 098 de 2010)

Por otra parte, a través del Plan para el Manejo Integral de Residuos Sólidos (PMIRS), se genera la obligación de aprovechar por lo menos un 25% de los residuos provenientes del Servicio Público de Aseo, entre los cuales aparecen los escombros como parte del servicio de aseo de la ciudad, así como la construcción y operación de dos instalaciones de escombros. (Decreto 098, 2010)

Así entonces, con el aprovechamiento de un 25% de los residuos por escombros, el Distrito reduciría la disposición en un lapso de 12 años de 214.259.542 m<sup>3</sup>.

En lo referente a compromisos adquiridos por la UAESP en Bogotá, el PMIRS en su artículo 120 "Metas, Indicadores de Seguimiento y Evaluación de la cobertura y calidad del Servicio Público de Aseo en la zona urbana del Distrito Capital", contempló las siguientes metas en el tema de escombros:

- a) Contar con planes de contingencia y atención de riesgos para el 100% del Servicio de aseo a partir del 2008;
- b) Aprovechamiento en 2 instalaciones de escombros, funcionando a partir del 2007;
- c) Lograr una cobertura en la recolección de escombros del 100% entre el 2006 y 2010
- d) Reciclar y aprovechar los residuos del Servicio Público de Aseo en un 25% desde el 2006 hasta el 2016. (Decreto 098, 2010)

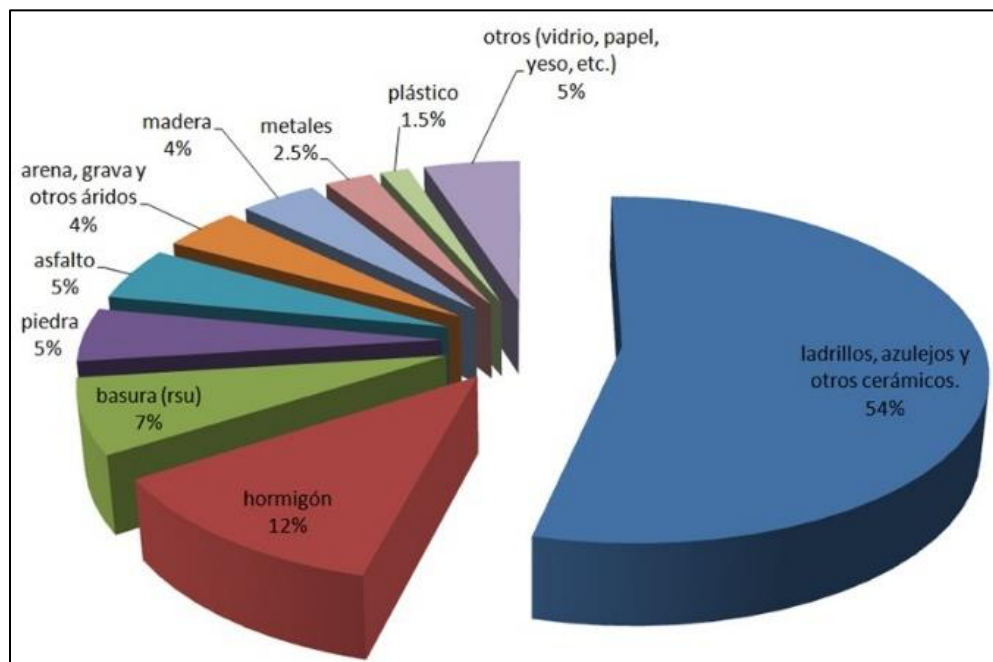
El componente hídrico se encuentra dentro de los factores más afectados por la mala disposición de los escombros, ya que se alteran las propiedades fisicoquímicas del agua (subterránea) y así mismo, cuando la disposición de los escombros se hace en rondas y orillas de los ríos, quebradas o humedales. Allí también se genera alteración en la calidad del agua.

Por otra parte, el componente social también se ve afectado por la mala gestión de RCD ya que la mayoría de los sitios de disposición para estos residuos se localizan en zonas residenciales, dentro y perimetrales al distrito, convirtiéndose así en vectores de enfermedades respiratorias, generando contaminación visual (impacto paisajístico) y afectando el ambiente en general ya que se modifican las condiciones normales del suelo en el área de influencia. (Decreto 098, 2010)

La necesidad de reciclaje de los residuos de construcción no solamente concierne a las comunidades más industrializadas, sino también a una demanda global con diferentes prioridades. Esta demanda de reciclaje de materiales es común en todos los lugares donde los edificios y las instalaciones han sido dañados a causa de guerras, terremotos u otros desastres naturales.

La acción de construir y derribar genera un volumen importante de residuos. Así, en los trabajos previos al comienzo de una obra nueva es habitual que se haya de derribar una construcción existente y/o que se hayan de efectuar ciertos movimientos de tierra. Durante la realización de la obra, también se origina una cantidad importante de residuos en forma de sobrantes y de restos diversos. También en obras de reforma, de reparación, de rehabilitación, se generan residuos. (Decreto 098, 2010)

Las unidades básicas para las cantidades de residuos generados son: ton/m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, ton/día, ton/per cápita/año, ton/año, ton/trabajo. Cada una tendrá una aplicación diferente según el objetivo de la caracterización. Algunos países como lo Estados Unidos y los países pertenecientes a la Comunidad Europea, se han preocupado por cuantificar los residuos de construcción y demolición generados en sus países. (Cárcamo, 2008)



*Figura 10* Composición de los residuos de construcción. Fuente: <http://reciclajeverde.wordpress.com/>

### 3.1.4. ETAPAS CONSTRUCTIVAS DE OBRA

Son períodos en los cuales se realizan diferentes actividades del proceso constructivo, que tienen como fin llevar a término un diseño previamente planificado, con miras a manejar una terminología común. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014)

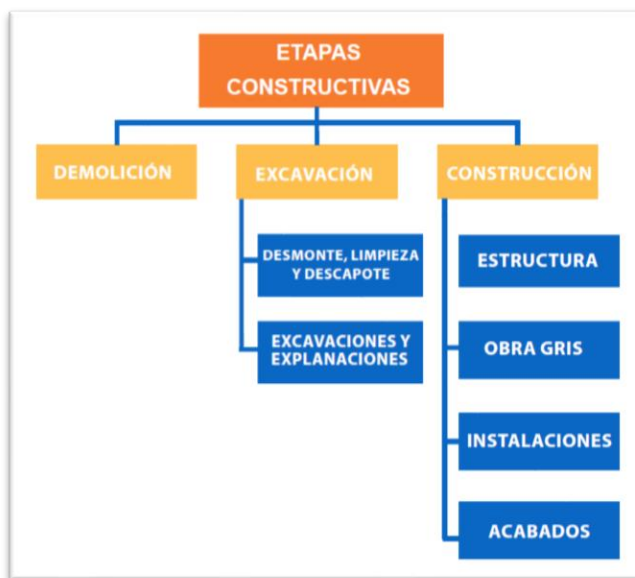


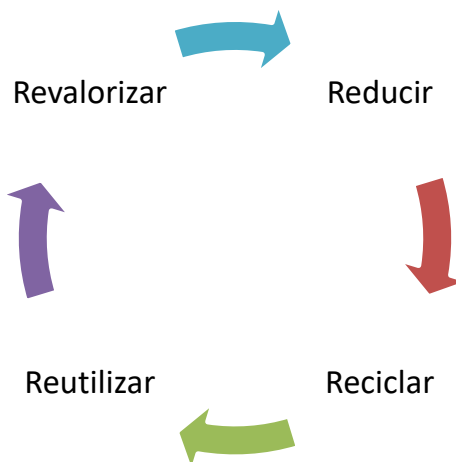
Figura 11. Etapas constructivas de obra civil. Fuente: Secretaria de Ambiente

- **Demolición:** En esta actividad se realiza la remoción y se derriban o deshacen las estructuras existentes como mampostería, acabados, estructuras, andenes, pavimentos e infraestructura de servicios, los cuales serán reemplazadas con la nueva obra.
- **Excavación:** Esta actividad consiste en la remoción del suelo o de las estructuras de vía existente.
- **Descapote y remoción:** Se refiere al desmonte y limpieza del terreno natural de la zona que será intervenida por la obra a construir. Se remueve el rastrojo, maleza, pastos, tocones, raíces y residuos ordinarios, de modo que el terreno quede limpio y su superficie resulte apta para iniciar los trabajos. Esta actividad también incluye la disposición final. Para esto, solamente se deben utilizar predios que cuenten con la respectiva autorización y licencia por parte de la autoridad ambiental o del Departamento Administrativo de Planeación Distrital. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014)
- **Construcción:** Son todas las actividades relacionadas con la construcción y montaje de nuevas estructuras que involucran el manejo de grandes volúmenes de concreto.

- **Estructura:** Se refiere al ensamblaje de elementos y herramientas que mantienen su forma y su unidad. Sus objetivos son resistir cargas resultantes de su uso y de su peso propio y darle forma a un cuerpo, obra civil o máquina.
- **Obra gris:** Es la etapa en la cual se realiza la construcción, colocación de soportes estructurales horizontales y verticales, losas, entrepisos, paredes, escaleras, entre otros.
- **Instalaciones:** Es el conjunto de aparatos y conducciones de los servicios (gas, electricidad, agua) u otros elementos destinados a complementar las condiciones de habitabilidad de un edificio o prestar un servicio.
- **Acabados:** Hace referencia a todos los materiales que se instalan sobre una superficie de obra negra o gris para darle terminación a las obras, quedando ésta con un aspecto habitable. Son los materiales finales que se colocan sobre pisos, muros, plafones, azoteas, huecos o vanos como ventanas y puertas de una construcción. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014)

Los residuos de construcción y demolición son materiales que cuentan con un elevado potencial de poder ser re utilizados, gracias a la estructura de sus materiales. Sin embargo, el no aprovechamiento de dichos residuos causa problemáticas del medio ambiente como la inadecuada disposición, la reducción de la vida eficaz de rellenos sanitarios y sitios de disposición final de RCD e impactos negativos como el cambio paisajístico, la contaminación a fuentes hídricas, la generación de material particulado, la compactación y cambio de uso de los suelos, la colmatación de los sistemas de captación de aguas lluvia, entre otros.

El orden jerárquico para la gestión eficiente de RCD es: reducción, reutilización, reciclado y otras formas de revalorización, para efectos de aumentar la calidad de vida de la población y velar por un ambiente sano. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014)



**Figura 12.** Principio Rector de la gestión ambiental. Fuente: Propia, adaptado de Secretaria de Ambiente.

### 3.1.5. DEFINICIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN DE RCD

Es un documento basado en la elaboración de formatos y un documento explicativo para su correcta implementación. La información recolectada en este documento le presenta al constructor los beneficios ambientales y económicos que obtendrá dentro de sus proyectos, al formular e implementar de manera adecuada el Plan de gestión integral, cumpliendo con las directrices de la Resolución 01115 de 2012 “Por medio de la cual se adoptan los lineamientos técnico-ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital”, que es de obligatorio cumplimiento desde septiembre de 2013. (Ortega Acosta, Casas Camargo, & Figueroa García, 2015)

#### 3.1.5.1. Residuos de Construcción y Demolición (RCD), susceptibles de aprovechamiento:

- Productos de excavación y sobrantes de la adecuación de terreno: coberturas vegetales, tierras, limos y materiales pétreos productos de la excavación, entre otros.
- Productos de cimentaciones y pilotajes: arcillas, bentonitas y demás.

- Pétreos: hormigón, arenas, gravas, gravillas, cantos, pétreos asfálticos, trozos de ladrillos y bloques, cerámicas, sobrantes de mezcla de cementos y concretos hidráulicos, entre otros.
- No pétreos: vidrio, metales como acero, hierro, cobre, aluminio, con o sin recubrimientos de zinc o estaño, plásticos tales como PVC, polietileno, policarbonato, acrílico, espumas de poliestireno y de poliuretano, gomas y cauchos, compuestos de madera o cartón-yeso (drywall), entre otros. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2017)

### 3.1.5.2. Residuos de construcción y demolición NO susceptibles de aprovechamiento.

- Los contaminados con residuos peligrosos
- Los que por su estado no pueden ser aprovechados
- Los que tengan características de peligrosidad de acuerdo con la normativa ambiental.

Dichos sitios deberán cumplir con las siguientes medidas mínimas de manejo, como el establecer barreras para evitar el impacto visual en los alrededores del sitio de almacenamiento, realizar obras de drenaje y control de sedimentos, señalizar en debida forma, realizar acciones para evitar la dispersión de partículas. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2017)

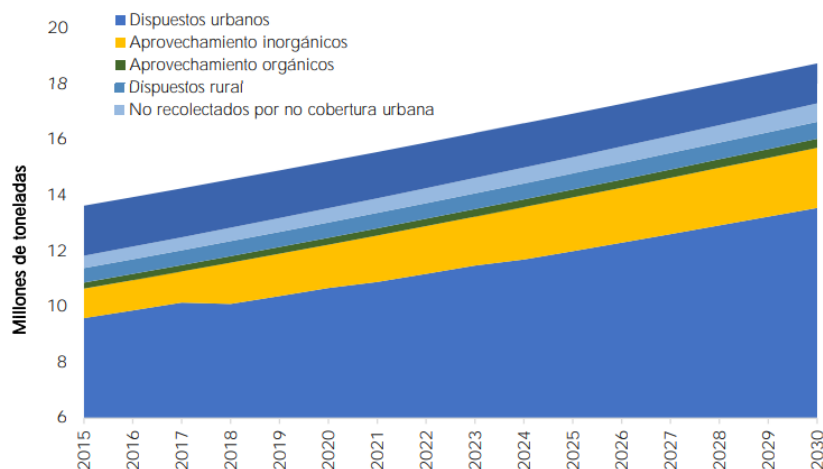


Figura 13. Proyección de generación de Residuos 2015 - 2030. Fuente:

<http://www.maat.com.co/generacion-de-residuos-en-colombia-conpes-3874/>

Corriente/sector	Servicio público de aseo	Aspectos ambientales	Otros sectores
Tratamiento biológico (orgánicos)	  	 	  
Aprovechamiento inclusivo (reciclaje de papel, vidrio, plástico, etc.)	  	 	   
Tratamiento térmico (generación energía de residuos)	  	 	  
Aprovechamiento escombros			  

**Figura 14.** Entidades relacionadas con la gestión integral de residuos sólidos en Colombia. Fuente: Documento Conpes 3874 pág. 33

### 3.1.5.3 GENERADORES

#### Pequeño generador de RCD

Es el generador de RCD que cumple con alguna de las siguientes condiciones:

1. No requiere la expedición de licencia de construcción en cualquiera de sus modalidades y/o licencia de intervención y ocupación del espacio público.



2. Requiere la expedición de licencia de construcción en cualquiera de sus modalidades y/o licencia de intervención y ocupación del espacio público y la obra tenga un área construida inferior a 2.000 m<sup>2</sup>. (CAR, 2021)

### **Obligaciones:**

Los pequeños generadores tienen la obligación de entregar los residuos a un gestor de RCD para que se realicen las actividades de recolección y transporte hasta los puntos limpios, sitios de aprovechamiento o disposición final según sea el caso.

### **Gran generador de RCD**

Es el generador de RCD que cumple con las siguientes condiciones:

1. Requiere la expedición de licencia de construcción en cualquiera de sus modalidades y/o licencia de intervención y ocupación del espacio público y que requieren licencia ambiental. (Decreto 1203 DE 2017 que modifica parcialmente el Decreto 1077 de 2015 Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio y se reglamenta la Ley 1796 de 2016).
2. La obra tenga un área construida igual o superior a 2.000 m<sup>2</sup>. (CAR, 2021)

### **Obligaciones de los grandes generadores de RCD.**

1. Formular, implementar y mantener actualizado el Programa de Manejo Ambiental de RCD.
2. Cumplir con la meta para grandes generadores, establecida en el Artículo 19 de la resolución. Deberán utilizar RCD aprovechables no inferior al 2% en peso del total de los materiales usados en la obra.

En los años posteriores se deberá garantizar un incremento anual de dos puntos porcentuales, hasta alcanzar como mínimo un 30% de RCD aprovechables en peso del total de los materiales usados en la obra. (CAR, 2021)



**Figura 15** Gestión de RCD. Fuente: <https://www.greenglobe.es/project/autorizacion-gestor-rcd/>

### 3.1.6. MODELO GERENCIAL

De acuerdo a un artículo publicado por ESAN, institución académica de posgrado en administración en Perú, los modelos gerenciales son estrategias de gestión que implementan las compañías para dirigir y desarrollar su sistema interno. Las organizaciones pueden emplear diversos modelos de gestión; sin embargo, estos deben estar relacionados estrechamente con la realidad que vive la empresa. Esto es de suma importancia, ya que el modelo gerencial será la base que posibilitará el correcto desarrollo de la compañía.

Según la publicación en el sitio web puromarketing en el año 2018, todo modelo es una representación de una realidad que refleja, por lo que, en Gerencia, como en otras ciencias, los modelos determinarán una pauta, una base de sustento que a la larga permite el desarrollo orientado de la empresa u organización en general que lo utiliza.

No obstante, ningún modelo por sí mismo basta para direccionar la empresa, por lo que su aplicación creativa es el secreto del éxito. (Velásquez G. , 2018)

Los modelos gerenciales se pueden dividir en tres grandes grupos: los relacionados con la competitividad del mercado, con la innovación y con los procesos de gestión. Cada uno de ellos agrupa diversos modelos, los cuales vienen siendo usados en la actualidad por las organizaciones. (ESAN, 2019)

Entre los modelos gerenciales más destacados se encuentran los siguientes:

- **Planificación Estratégica:** Es la táctica por excelencia de cualquier compañía la cual formaliza el proceso administrativo integral y organiza las líneas de acción enfocadas al logro de las metas organizacionales cuyos resultados garanticen su permanencia, aumento y productividad esperada.

La Planeación Estrategia involucra un conveniente estudio del ámbito, un concienzudo análisis del mercado y la formulación y diseño de las tácticas que direccionen a la organización a la consecución de sus fines de comercio. (Velásquez G. , 2018)

- **Calidad Total:** Se origina en la gerencia Japonesa Total Quality Management (T. Q. M.) y consiste en promover un proceso continuo que garantice y asegure el mantenimiento de estándares adecuados (generalmente altos, y según normas establecidas, en nuestro caso las ISO) los cuales se enfocan al logro de la satisfacción del cliente y del mercado.

Sirve para posicionar la imagen de la compañía, mejorar su colaboración en el mercado, mantener el control de sus precios y aceptar una más grande responsabilidad en la producción de bienes y prestación de servicios, como resultado de la cabal observación y cumplimiento de estándares y reglas. (Velásquez G. , 2018)

- **Kaizen (Mejoramiento Continuo):** Modelo perteneciente de la gerencia Japonesa además parecido a la Calidad. Se diferencia de ésta en la forma como se implanta; la Calidad se desarrolla como un “proceso de choque”, en lo que el Kaizen se desarrolla de forma gradual y con un enorme hincapié en la colaboración de la población. Labora especialmente 3 niveles de la calidad: El mantenimiento de procesos, los cuales fueron probados como óptimos, el mejoramiento de esos cuyo diagnóstico de esta forma lo definió, y en tercer sitio la innovación de todo tipo y en todos los puntos de vista del proceso benéfico.

Se caracteriza por una gigantesca colaboración a causa de la población en todos los estamentos de la organización de quienes se reciben todo tipo de recomendaciones y aportes que están afectando de manera positiva la productividad y el decrecimiento de los precios. (Velásquez G. , 2018)

- **Justo a tiempo (Just in Time):** Es un modelo de Calidad en esencia creado para los procesos de producción. Originalmente ha sido implantado por la Toyota en Japón y toma los presupuestos de la Calidad y el Kaizen con hincapié en 2 componentes: La administración de tiempos productivos y el control del desperdicio. Enfatiza una filosofía de “calidad en la fuente”, queriendo significar que tienen que hacerse bien las cosas a partir de la primera ocasión con un control conveniente del proceso de alistamiento. En la industria automotriz es decir imprescindible, debido a que ello posibilita conservar la satisfacción de las expectativas de los consumidores.

Tiene como fin primordial mejorar ostensiblemente los procesos de producción online. Posibilita implantar estándares e indicadores en el funcionamiento del tiempo de producción y minimizar los procesos improductivos en tiempo, mano de obra y materia prima. (Velásquez G. , 2018)

- **Reingeniería:** Es la revisión y replanteamiento importante de la organización enfocada al rediseño extremista y veloz de todo tipo de procesos de costo añadido y de todos esos

sistemas de apoyo para conseguir mejoras sensoriales en el rendimiento de los precios, la calidad, los servicios, la productividad (eficiencia más eficacia), y la mejora de las labores.

Es un volver a comenzar a partir de ceros. Esto quiere decir que la elección estratégica de la compañía conlleva a un nuevo inicio o a un nuevo principio. Sirve para evaluar el estado total de los procesos de la organización y una vez obtenido el diagnóstico está establecido con claridad “los cómo” volver a realizarlo de forma tal, que aquel nuevo principio represente un cambio importante desde el cual se puedan niveles óptimos de efectividad administrativa, comercial y operacional. (Velásquez G. , 2018)

- **Empoderamiento ("EMPOWERMENT"):** Tiene relación con un comportamiento gerencial (habilidad gerencial o de dirección) cuya práctica y ejercicio involucran un estilo de liderazgo que desarrolle en la población una capacidad de soberanía en su funcionamiento y además demuestren su capacidad para aceptar peligros calculados y tomar elecciones sin necesidad de que medie la existencia de una autoridad o la presión de una supervisión. Se conoce que una persona está empoderada una vez que sus ocupaciones y comportamientos se caracterizan por capacidad de elección, automotivación, creatividad, asunción de peligros y orientación al logro.

El Empoderamiento tiene como objetivo el desarrollo integral de las competencias de los humanos de forma tal que se encuentren en capacidad para desenvolverse con soberanía, aceptar peligros de forma calculada y desenvolverse con motivación sin que medie precisamente presencia de autoridad o supervisión. (Velásquez G. , 2018)

- **Tercerización (Outsourcing):** Proceso planificado de transferencia de ocupaciones para que éstas sean llevadas a cabo por subcontratistas o terceros. Opera por medio de la agrupación entre una compañía primordial y un tercero, a quien se le encarga procesos que no producen costo añadido al comercio primordial de la compañía.

Eficiencia y efectividad operativas son varias de los beneficios del “Outsourcing”. Mejora de recursos de todo tipo y control de precios además realizan parte de los resultados positivos en la implementación de esta táctica gerencial. (Velásquez G. , 2018)

- **Prospectiva:** Es un modelo diseñado en Francia, y en particular por Michel Godet quien en su libro “De la Anticipación a la Acción” muestra el marco conceptual de esta ciencia. Se define entonces como la identificación de un futuro posible y de un futuro deseable, distinto de la fatalidad, y que es dependiente sólo del entendimiento que se posee sobre las actividades que el ser humano desea emprender en el presente.

Se fundamenta en que el futuro es el motivo de ser del presente; y que su comprensión debería entenderse como una realidad múltiple susceptible de ser modificada por del ser humano. (Velásquez G. , 2018)

### 3.1.7. METODOLOGÍA LEAN

De acuerdo al artículo referente a la metodología Lean publicado en el sitio web apd en el año 2021, Lean es un método innovador con el cual se busca optimizar los procesos de gestión y producción en las empresas que lo pongan en práctica. De esta manera se utilizan menos recursos, por lo que cualquier proceso se convierte en más eficiente. Su objetivo principal está enfocado en reducir la inversión, el tiempo y el esfuerzo.

Lean se trata de una filosofía de gestión empresarial que nació en los años 80 en Japón, de la mano de Taiichi Ohno, ingeniero de la marca automotriz Toyota. En ese entonces, se centraba en conseguir que la fabricación de vehículos de la marca fuese más eficiente. La idea fue todo un éxito, ya que se consiguió mejorar la productividad a través de dos objetivos claros:

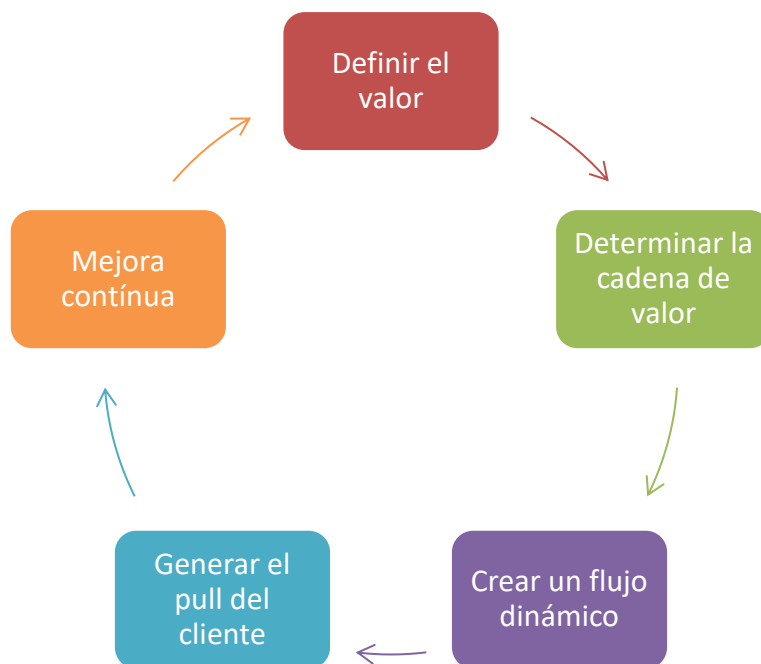
- Eliminar todo lo que se considerase un desperdicio (ya fuese en términos materiales o de tiempo).
- Identificar aquellas sobrecargas que ralentizan el proceso de producción.

A partir de ahí, este método pasó a utilizarse en todas las fábricas automovilísticas niponas, y acabó exportándose al resto del mundo. Con el paso del tiempo, se demostró que es aplicable a cualquier sector, persona o empresa que desee introducir o mejorar un producto o servicio en el mercado. Así surgió en 2011 el Lean Manufacturing. (APD, 2021)

De acuerdo a lo mencionado, la metodología Lean tiene como objetivo principal buscar una mayor satisfacción de los clientes empleando el menor número de recursos posibles y eliminando los desperdicios que no aportan valor. Existen siete tipos de desperdicios específicos que deben tenerse en cuenta en la producción eficiente:

- **Movimiento:** relacionado con el lugar de trabajo, el desplazamiento de máquinas, la ergonomía y el movimiento de las personas.
- **Sobreproducción:** sucede cuando no se detiene el proceso continuo y se genera un stock que el cliente no ha solicitado.
- **Espera:** un período inactivo no aporta valor, pero sí genera un sobrecoste en el precio final de los productos.
- **Transporte:** se produce cuando existe un movimiento innecesario y continuo de materiales.
- **Sobreprocesado:** surge cuando hay un exceso de trabajos o procesos innecesarios.
- **Corrección:** aparece por la necesidad de corregir un producto defectuoso.
- **Inventario:** el almacenaje precisa buena administración y cuidados para que no se quede obsoleto. (APD, 2021)

Para lograr una adecuada implementación de la metodología Lean en un proyecto o en los procesos productivos de una empresa, se deben tener en cuenta cinco puntos clave:



**Figura 16** Implementación de metodología Lean en los procesos. Fuente: Propia

Existen multitud de ventajas al aplicar y poner en marcha la metodología Lean en los procesos constructivos en las empresas. La ventaja principal al usar esta herramienta ágil es que mejora la productividad en los procesos ya que se enfoca en búsqueda de ‘cero defectos’. Además de esta ventaja principal, existen otros beneficios como:

- **Reducción de costos:** Al realizar una optimización en los procesos de producción, se logra obtener más servicios o productos. Y, al haber eliminado los gastos innecesarios, se reducen los costos de producción.
- **Satisfacción del cliente:** Se logra obtener una positiva satisfacción del cliente al disponer de una mayor cantidad de recursos y más tiempo para la mejora de los productos. Además, se logra la producción de un producto mínimo viable que cumple con los requerimientos, necesidades y las expectativas de un público en específico realizando la entrega en el momento adecuado.



- **Menores riesgos:** Existe un menor riesgo para el emprendedor ya que este toma las decisiones con base en datos y no sobre estimaciones. Se compone de decisiones mejor fundamentadas y, por lo tanto, con menor posibilidad de error.
- **Reducción del plazo de ejecución y de las actividades sin valor:** Se genera una mayor carga de trabajo comercial, lo cual implica una disponibilidad inmediata del producto. Además, se reducen los artículos defectuosos o el tiempo de inactividad.

Con este modelo de gestión se reduce la sobreproducción y se eliminan los desperdicios, otorgando un ahorro en la administración del inventario.

- **Trabajo en equipo:** Todos los empleados se sienten parte del proceso completo y se reduce la tasa de fracaso. Esto influye en la motivación del equipo y, por lo tanto, en su productividad. Además, habrá un mejor ambiente laboral, una característica imprescindible para el buen funcionamiento de cualquier empresa. (APD, 2021)

### 3.1.8. LEAN CONSTRUCTION

Según Montilla en el año 2018, el término Lean Construcción es definido por el Lean Construction Institute (ILC), como “una filosofía orientada hacia la administración de la producción en construcción donde el objetivo principal es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor y optimizar las que sí lo hacen”.

El sector de la construcción es una gran parte de la economía de un territorio, además de ser un sector de los que más recursos consume. Optimizar las diversas cambiantes del proceso constructivo es algo importante, estas cambiantes son costos, tiempos y recursos, además de ser capaces de optimizarlos aportando calidad, puede parecer contradictorio, pero es allí donde radica la esencia del Lean. En palabras de Lauri Koskela, quien inició a plantearse los sistemas de administración de la producción aplicada a la obra, la definición de Lean creación dada por Koskela en 1992 es: “La forma de diseño de sistemas de producción que sigue reducir el

desperdicio de materiales, tiempo y esfuerzo con el objeto de crear la máxima porción viable de valor”

En español, la designación de Lean creación puede traducirse como “construcción sin pérdidas”. Esta nueva filosofía fue recibida positivamente en el sector que ya hace décadas ha tratado de integrar al proceso distintas herramientas de organización y control. (Montilla Duque, 2018)

El propósito de Lean Construction es optimizar las transformaciones minimizando o eliminando los flujos que los materiales deben continuar hacia los sitios de ejecución de los trabajos de obra para obtener mayor valor en los productos finales. El error del pensamiento clásico en las obras de construcción es centrarse en las ocupaciones de conversión y no considerar el flujo de los recursos para poder hacer la generación de más valor en los productos logrados; la obra es, en este escenario, tan solo un modelo de transformación.

Lean Construction engloba todo el ciclo de vida del proyecto, y al integrar la etapa de diseño con la de producción, une todos los agentes que intervienen en un proceso constante de participación, cuyo objetivo es producir costo al plan para el cliente.

La filosofía Lean Construction es un sistema bastante distinto al del sistema clásico de ejecución de proyectos diseño-licitación-construcción puesto que lleva a cabo el plan en etapas más enteras y pretende resolver inconvenientes que ocurren en el modelo clásico en la etapa de diseño, lo cual sugiere este sistema es la formación de un exclusivo equipo formado por el comprador, arquitectos, constructores y otros participantes relevantes en el alcance de un objetivo en común, y este podría ser el progreso del plan para culminarlo en un mejor tiempo. (Porrás, Sánchez, & Galvis, 2014)

### 3.1.9. LEAN MANUFACTURING

De acuerdo a la definición de Andreu en el año 2021, la filosofía Lean Manufacturing, la cual es también conocida como Lean Production, es un sistema de organización del trabajo que se enfoca en la mejora del sistema de producción. Para lograr esto, se basa en la eliminación de aquellas actividades que no aportan valor al proceso ni al cliente. Estas actividades se denominan despilfarros o desperdicios, y son aquellas tareas que implican la sobreproducción, altos tiempos de espera o desperfectos en los productos.

El modelo de gestión Lean Manufacturing tiene como objetivo minimizar las pérdidas y maximizar el valor añadido al cliente. Es un sistema que nació en la industria automovilística y se exportó a todo tipo de empresas. Su éxito en la mejora de la competitividad empresarial demostró que es un valor imprescindible para la supervivencia de las organizaciones. (Andreu, 2021)

El término Lean Manufacturing apareció por primera vez en la década de los 70, específicamente en el libro “La máquina que cambió el mundo” de los autores Womack, Jones y Ross. El libro, que se ha convertido en best seller mundial, fue el primero que sacó a la luz el sistema de producción lean de Toyota. Este contrapone dos sistemas de negocio radicalmente diferentes: producción lean versus producción en masa.

Para la metodología Lean Manufacturing, un factor muy importante para el éxito es la dimensión humana, ya que las personas son el capital más importante de las empresas. Una cultura empresarial Lean, implica la participación de la colaboración y comunicación de todos los niveles de la empresa. En esta metodología, los trabajadores están en contacto permanente con el medio de trabajo, por lo que son los primeros en encontrar, observar, analizar y resolver los problemas.

Es indispensable contar con el apoyo en las personas del equipo donde haya un clima adecuado. Esto se realiza, haciéndoles partícipes y comunicando con claridad y exactitud lo que se espera de ellos para el logro de los objetivos. (Andreu, 2021)

Lean Manufacturing se fundamenta en tres conceptos clave que permiten generar una adecuada estrategia empresarial:



**Figura 17** Conceptos clave de la filosofía Lean Manufacturing. Fuente: Propia, adaptada de <https://www.apd.es/lean-manufacturing-que-es/>

La filosofía Lean Manufacturing funciona bajo siete principios, que, al ser aplicados en los procesos de las empresas o proyectos, contribuyen y permiten minimizar las pérdidas y maximizar el valor añadido al cliente:

- **Hacerlo bien a la primera:** Implica encontrar cero defectos. Para ello hay que detectar el problema y solucionarlo desde el origen.

- **Excluir actividades que no añaden valor:** Se excluye todo lo que suponga un desperdicio y que no agregue valor añadido a la experiencia de cliente.
- **Mejora continua:** Se mantiene la calidad del producto o servicio tratando de reducir costos aumentando la productividad.
- **Procesos pull:** Se produce según demanda puesto que la clave es evitar stock de productos.
- **Flexibilidad:** Es necesario ser capaz de producir diferentes tipos de productos y ajustarse con exactitud a las cantidades.
- **Colaborar con los proveedores:** Construir relaciones con los proveedores basándose en el largo plazo, con acuerdos donde compartir riesgo y costos.
- **Cambio de enfoque de venta:** Desde el punto de vista Lean Manufacturing, al cliente se le aporta una solución y no un producto o servicio. Esta filosofía tiene que ser única para toda la organización. (Andreu, 2021)

### 3.1.10. MAPA DE FLUJO DE VALOR

El Mapa de Flujo de Valor, o Value Stream Mapping, es una herramienta del repertorio Lean, la cual es utilizada para entender, gestionar y mejorar el flujo de materiales e información en una organización. Este modelo busca representar a través de ciertos símbolos que ya han sido definidos de manera estándar, los compuestos e interacciones entre elementos de la operación, necesarios para entregar un producto final o un servicio al cliente.

Por lo tanto, con el uso e implementación de esta herramienta, se puede representar el estado actual de las actividades de un proyecto y de igual manera, proponer alternativas de estados futuros con el objetivo de optimizarlas, para luego llevar las mismas a la práctica. (Pensa, 2021)



**Figura 18** Ejemplo mapa de flujo de valor. Fuente: <https://www.atlasconsultora.com/vsm/>

Dentro de los principales beneficios de la aplicación del mapa de flujo de valor se encuentra la posibilidad de identificar los desperdicios y las actividades que no generan valor agregado en el proceso, y así, se busca minimizar y eliminar estos desperdicios.

Adicionalmente, el mapa de flujo de valor funciona como una herramienta de comunicación la cual permite alcanzar un consenso sobre qué aspectos priorizar entre los distintos sectores o áreas involucradas, enfocando los esfuerzos en la perspectiva del valor agregado al cliente. (Pensa, 2021)

Para lograr una correcta implementación de la metodología del mapa de flujo de valor en los procesos de un proyecto, es necesario definir y ejecutar una serie de actividades o pasos que son esenciales para llevar a cabo con éxito el funcionamiento del modelo:

- **Identificación del producto o servicio de interés:** Se debe seleccionar el producto o conjunto de productos de alto impacto en el negocio en el cuál irá enfocado el

análisis. Se debe tener en cuenta que el tamaño del equipo y recursos son directamente proporcionales a la escala del análisis.

- **Obtener aprobación del sponsor - patrocinador, de los líderes y los recursos necesarios:** Una vez se obtenga la aprobación del proyecto, se deberá realizar la conformación del equipo que llevará a cabo el desarrollo del proyecto. Este equipo deberá poseer un correcto dominio de la herramienta mapa de flujo de valor.
- **Identificar el problema desde la perspectiva del cliente:** Se deben identificar y definir los aspectos fundamentales que el cliente requiere como el costo, tiempo de entrega, parámetros de calidad y la prioridad.
- **Definir el alcance:** Es importante dejar definido el alcance del proyecto e identificar las etapas críticas del proceso o los indicios que sugieran que alguna actividad pueda generar inconvenientes o imprevistos. De esta manera se podrá priorizar recursos o enfocar herramientas de acción en los aspectos más relevantes.
- **Elaborar una primera versión del mapa de flujo de valor al estado actual del proceso:** Una vez se haya definido el alcance, se debe elaborar un esquema inicial del mapa de flujo de valor al estado actual del proceso con base en la realidad observada. A partir de este modelo, se identifican posibles inconvenientes presentes o a futuro y se logran establecer oportunidades de mejora.
- **Recolectar información clave:** En esta etapa se reunirán todos los datos relevantes del proceso. Entre los más destacados, se analizarán inventarios entre etapas, tiempos de procesamiento, tiempos inactivos, colaboradores involucrados, transportes, capacidad del equipo y los tiempos de disponibilidad de los recursos entre otros.
- **Análisis del mapa actual:** En este proceso se identifican cuáles son los desperdicios más importantes en el proceso actual desde la perspectiva del cliente, se identifican cuáles son las principales fuentes de espera o demora en la entrega del producto, en

dónde están concentrados los defectos de calidad, transportes innecesarios, cuellos de botella, stock o inventarios en exceso, entre otros.

- **Propuesta e implementación de nuevos mapas:** Se busca la manera de dar una mejor propuesta para la generación de valor al cliente. Permite detectar restricciones o limitaciones en algún proceso futuro de la operación. (Pensa, 2021)

### **Análisis de flujo de valor**

De consenso en la teoría de producción esbelta "lean", el "flujo de valor" tiene relación con cada una de las ocupaciones requeridas para llevar a cabo un producto o servicio desde el criterio o las materias primas hasta un producto culminado. Cada acción añade valor al producto final, idealmente haciendo un trabajo de manera conjunta y eficiente para generar un flujo de valor constante. El primer paso para generar un ámbito de administración esbelta "lean", o sea, que incremente el valor y elimine los desechos, es el estudio del flujo de valor. Esto otorga las bases para la construcción de una estrategia de mejoras. Por medio de la revisión del estado presente de un sistema, las actividades que incrementan la construcción de costo tienen la posibilidad de dividir precisamente de esas que generan desechos, lo cual permite la identificación de oportunidades para la mejora.

Los mapas de flujo de valor permiten el análisis de flujo por medio de la simplificación de un sistema complejo en un mapa. El mapa ilustra los resultados del estudio de flujo de costo, brindando un instrumento visual para facilitar la comprensión y comunicación. La siguiente parte resume los pasos necesarios para realizar un estudio de flujo de valor, producir un mapa de estado presente, crear mapas de estado ideal y futuro y, finalmente, desarrollar una estrategia esbelta "lean". Dichos pasos son las buenas prácticas para los mapas y ayudan a ordenar la exploración de flujo de costo, con suerte, conduciendo al mejor resultado viable: un sistema de flujo de información y materiales incluido y eficiente. (Lucidchart, s.f.)



## 3.2 Marco legal

En Colombia el concreto es el material de construcción más utilizado y aún le quedan buenos años de protagonismo, por lo cual vale la pena encaminar los esfuerzos de la comunidad académica y de la actividad edilicia hacia la consolidación de una cultura de construcción sostenible. Todo esto se puede lograr encontrando la manera de sustituir materiales de construcción que nos permitan disminuir costos y tiempo. Una de estas maneras sería reciclando el material utilizado, estudiando previamente sus características y comportamiento para lograr darle un uso adecuado. Hace aproximadamente 25 años se han venido implementando políticas que controlan la producción de residuos de la construcción, su disposición final y un mejor aprovechamiento.

Desde la reforma constitucional de 1991 cobró importancia el manejo de la política ambiental. Desde entonces, la legislación ambiental busca preservar y proteger los recursos naturales, además de defender los derechos que tienen los colombianos a disfrutar un ambiente sano. La base legal del aprovechamiento de los residuos está consignada en la Constitución Política de Colombia, Ley 99 de 1993, Ley 152 de 1994, Resolución 541 de 1994, Decreto 1713 de 2002, Ley 388 de 1997, Decreto 605 de 1996, Decreto 605 de 1996. A continuación, se presentan algunos artículos relacionados con la temática de residuos sólidos en cada una de estas normativas:

- **Constitución política de Colombia**

Artículo 8: “Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación”.

Capítulo 3 Artículo 79: “Todas las personas tienen derecho a gozar un ambiente sano”. Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Artículo 80: Corresponde al Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro

de estos fines; correspondiéndoles igualmente la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución debiendo así mismo, cooperar con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

Que a fin de desarrollar las obligaciones contenidas en las normas constitucionales en cita, se hace necesario adelantar la evaluación y estudio de los activos biológicos de la Nación y de los factores responsables de su deterioro, con el objeto de conocer la composición, estructura, distribución y funciones de la biodiversidad, así como las interrelaciones existentes entre los ecosistemas naturales y modificados, y utilizar estos conocimientos como base imprescindible para el desarrollo sostenible.

Capítulo 5 Artículo 366: El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Sera objeto fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento básico y de agua potable.

- **Ley 99 del 22 de diciembre de 1993**

Por el cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el sistema nacional ambiental SINA y se dictan otras disposiciones.

Artículo 5 Numeral 2: Regular las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente y el uso, manejo, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales a fin de impedir, reprimir, eliminar o mitigar el impacto en actividades contaminantes, deteriorantes o destructivos del entorno o patrimonio natural.

Artículo 5 Numeral 11: Dictar regulaciones de carácter general tendientes a controlar y reducir las contaminaciones geosférica, hídrica, del paisaje, sonora y atmosférica, en todo el territorio nacional.

- **Ley 152 del 15 de Julio de 1994**

Por el cual se establece la ley orgánica del Plan de Desarrollo. En el capítulo 1 artículo 3 numeral h) Sustentación ambiental. Para posibilitar un desarrollo socio-económico en armonía con el medio natural, los planes de desarrollo deberán considerar en sus estrategias, programas y proyectos, criterios que le permitan estimar los costos y beneficios ambientales para definir las acciones que garanticen a las actuales y futuras generaciones una adecuada oferta ambiental.

- **Resolución 541 del 14 de diciembre de 1994**

Por el cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica y subsuelo de excavación.

Artículo 2. En materia de cargue, descargue y almacenamiento; está prohibido el cargue, descargue y almacenamiento temporal o permanente de los materiales y elementos para la realización de obras públicas sobre, zonas verdes, áreas arborizadas, reservas naturales o forestales y similares, áreas de recreación y parques, ríos, quebradas, canales, caños, humedales y en general cualquier otro cuerpo de agua. En materia de disposición final; está prohibido la disposición final de los materiales y elementos a que se refiere esta resolución, en áreas de espacio público.

Artículo 3. Escombreras. Los municipios deben seleccionar los sitios específicos para la disposición final de los materiales y elementos a que se refiere esta resolución, que se denominarán escombreras municipales. Esta selección se hará teniendo en cuenta los

volúmenes producidos y las características de los materiales y elementos, así como las distancias óptimas de acarreo.

Las escombreras municipales se localizarán prioritariamente en áreas cuyo paisaje se encuentre degradado, tales como minas y canteras abandonadas, entre otros, con la finalidad principal de que con la utilización de estos materiales se contribuya a su restauración paisajística. La definición de acceso a las escombreras municipales tendrá en cuenta la minimización de impactos ambientales sobre la población civil, a causa de la movilización de vehículos transportadores de materiales.

- **Decreto 605 del 27 de marzo de 1996**

Artículo 46. Recolección de escombros. Es responsabilidad de los productores de escombros su recolección, transporte y disposición en las escombreras. Las entidades prestadoras del servicio de aseo en la zona son responsables de coordinar estas actividades.

La entidad prestadora del servicio público de aseo podrá prestar este servicio como especial, de acuerdo con los términos del presente Decreto. En cualquier caso, la recolección, transporte y disposición de escombros deberá efectuarse en forma separada del resto de residuos sólidos.

Parágrafo. Cuando estos residuos se arrojen clandestinamente en vías y áreas públicas, la entidad prestadora del servicio público domiciliario de aseo es responsable de su recolección y disposición final, sin perjuicio de las sanciones a que haya lugar.

Artículo 47. Recolección de tierra. La recolección de tierra será considerada como un servicio especial de acuerdo con los términos del presente Decreto. La tierra deberá en lo posible independizarse de otro tipo de residuos, con el fin de permitir su disposición como relleno en zonas verdes, jardines y similares.

Artículo 79. Disposición de escombros. Los escombros deberán ser dispuestos adecuadamente en escombreras previamente definidas por el municipio, de conformidad a las disposiciones ambientales vigentes.

- **Ley 388 del 18 de Julio de 1997. Plan de Ordenamiento Territorial (POT)**

Capítulo 2 Artículo 8. “Acción urbanística. La función pública del ordenamiento territorial local se ejerce mediante la acción urbanística de las entidades distritales y municipales, referida a las decisiones administrativas y las actuaciones urbanísticas que le son propias, relacionadas en el ordenamiento del territorio y la intervención en los usos del suelo”. Son acciones urbanísticas, entre otras: Localizar y señalar las características de la infraestructura para la disposición final de los escombros.

- **Decreto 357 de 1997**

Por el cual se regula el manejo, transporte y disposición final de escombros y materiales de construcción.

- **Decreto 1713 del 06 de agosto de 2002**

Artículo 1. Definiciones. Escombros. Es todo residuo sólido sobrante de las actividades de construcción, reparación o demolición, de las obras civiles o de otras actividades conexas, complementarias o análogas.

Artículo 44. Recolección de escombros. Es responsabilidad de los productores de escombros su recolección, transporte y disposición en las escombreras autorizadas. El Municipio o Distrito y las personas prestadoras del servicio de aseo son responsables de coordinar estas actividades en el marco de los programas establecidos para el desarrollo del respectivo Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS.

La persona prestadora del servicio público de aseo podrá prestar este servicio, de acuerdo con los términos de la Resolución 541 de 1994 del Ministerio del Medio Ambiente o la que la sustituya o modifique. En cualquier caso, la recolección, transporte y disposición final de escombros deberá efectuarse en forma separada del resto de residuos sólidos.

Artículo 102. Disposición de escombros. Los escombros que no sean objeto de un programa de recuperación y aprovechamiento deberán ser dispuestos adecuadamente en escombreras cuya ubicación haya sido previamente definida por el Municipio o Distrito, teniendo en cuenta lo dispuesto en la Resolución 541 de 1994 del Ministerio del Medio Ambiente o la norma que la sustituya o modifique y demás disposiciones ambientales vigentes.

- **Decreto 312 de 2006**

Por el cual se adopta el Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos para Bogotá Distrito Capital.

- **Ley 1259 de 2008**

Por medio de la cual se instaure en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones.

- **Resolución 1115 de 2012**

Por el cual se adoptan los lineamientos técnicos ambientales para las actividades de tratamiento y aprovechamiento de los residuos de la construcción y demolición en el perímetro urbano del distrito capital.

- **Norma 098 de 2010**

Por medio del cual se dictan normas para el manejo integral de escombros en Bogotá D.C., y se dictan otras disposiciones.

- **Decreto 113 de 2013**

Por medio del cual se complementa el Decreto Distrital 312 de 2006, Plan Maestro de Residuos Sólidos, se modifica el Decreto Distrital 456 de 2010, en relación con la adopción de normas urbanísticas y arquitectónicas para la implantación y regularización de bodegas privadas de reciclaje de residuos sólidos no peligrosos no afectas (Sic) al servicio público de aseo, y se dictan otras disposiciones.

Este proyecto de investigación, cuyo tema principal son los residuos de construcción y demolición, se rige bajo la Resolución 472 de 2017 y según las disposiciones, recomendaciones y legislaciones ambientales adoptadas por la Corporación Autónoma Regional CAR.

- **Resolución 0472 de 28 de febrero de 2017**

**Objetivo:** Establecer las disposiciones para la gestión integral de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD).

**Ámbito de aplicación:** Todas las personas naturales y jurídicas que generen recolecten, transporten, almacenen, aprovechen y dispongan Residuos de Construcción y Demolición (RCD) de las obras civiles o de otras actividades conexas en el territorio nacional. Los residuos peligrosos resultantes se regirán por la normatividad ambiental especial establecida para su gestión. (Decreto 4741 de 2005).

**Vigencia:** Fecha de expedición 28 febrero de 2017. Entra en vigencia apartir del 1° de enero de 2018 y deroga a partir de la misma fecha la Resolución 541 de 1994. (Art.21). Publicada en el Diario Oficial No. 50116 de 15 de marzo de 2017. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2017)

## **Capítulo 4: (Metodología y Desarrollo de Objetivos)**

### **4.1 Metodología**

Para esta propuesta de investigación, se utilizó una metodología mixta. La primera, es una metodología cuantitativa, la cual se centra en los aspectos observables susceptibles de cuantificación, y utiliza la estadística para el análisis de los datos. Con este tipo de metodología, se elaboraron las conclusiones generales del estudio a partir del aporte de valores numéricos de encuestas, experimentos, entrevistas con respuestas concretas para realizar estudios estadísticos y analizar el comportamiento de sus variables.

Como tipo cualitativo, se realizó una investigación conceptual y legal con una exhaustiva búsqueda sobre el tema de residuos de construcción y demolición (RCD) en Colombia y su impacto en el medio ambiente. Además, se tuvieron en cuenta las investigaciones anteriormente realizadas sobre nuevas mezclas de concreto utilizando este tipo de residuos y la elaboración de nuevos productos de obras civiles como bordillos, andenes, obras de paisajismo, entre otros, los cuales estaban elaborados con la inclusión de RCD.

Inicialmente, a través de un proceso cuantitativo, las actividades principales fueron la investigación y reconocimiento de la existencia y operación o funcionamiento de empresas legalmente constituidas cuya actividad principal o de manera complementaria, sea la recolección, almacenamiento y/o aprovechamiento y reutilización de los residuos de construcción y demolición en Colombia, haciendo énfasis en la ciudad de Bogotá y alrededores.

Teniendo en cuenta la investigación realizada, seguidamente se procedió, por medio de un análisis cualitativo y cuantitativo, a obtener la información y datos estadísticos de la generación, almacenamiento y re utilización de los RCD en Colombia, para posteriormente, indagar sobre datos numéricos y realizar un análisis comparativo de costos en la fabricación de un concreto convencional versus un concreto que utiliza RCD como agregado grueso en nuevas mezclas de concreto de baja resistencia.



Finalmente, y con base en la información reunida anteriormente, se procedió a elaborar un modelo de gestión basado en la herramienta gerencial Mapa de Flujo de Valor, donde por medio de diagramas de flujo y esquemas representativos, se logró ilustrar, analizar y mejorar los pasos necesarios para la entrega de un producto final cuya aplicación principal era la de descubrir desperdicios en el proceso constructivo de obras civiles y la generación de RCD, buscando así, un adecuado almacenamiento, transporte, clasificación, disposición final y reutilización de estos residuos.

En resumen, la metodología gerencial de este proyecto se desarrolla a través de la ejecución y puesta en marcha de una investigación y reconocimiento preliminar de la existencia y operación o funcionamiento de empresas legalmente constituidas que realicen la gestión de los RCD; a través de recopilación de información y datos estadísticos de la generación, almacenamiento y reutilización de los RCD en Colombia y posteriormente, con la obtención de datos numéricos y un análisis comparativo de costos en la fabricación de un concreto convencional versus un concreto que utiliza este tipo de residuos como agregado grueso en nuevas mezclas de concreto de baja resistencia.

Finalmente, y teniendo en cuenta estos aspectos, se realizó el desarrollo de un modelo de Mapa de Flujo de Valor, utilizando las herramientas y estrategias de la filosofía Lean Manufacturing para generar una adecuada gestión en la incorporación efectiva de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en la producción de concretos premezclados de baja resistencia, garantizando un segundo uso a este tipo de residuos.

Esta metodología se diseñó para ser aplicada en una entidad o empresa encargada de la gestión de los residuos de construcción y permite que sean incluidos todos los procesos que conlleva esta gestión desde la generación hasta la disposición final o reutilización de los RCD.

## 4.2 Desarrollo de objetivos

### 4.2.1 EXISTENCIA Y OPERACIÓN DE EMPRESAS LEGALES DEDICADAS A LA RECOLECCIÓN, ALMACENAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE RCD EN COLOMBIA.

Para desarrollar adecuadamente la identificación y operación de las empresas que se dedican o participan en el proceso de transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final de residuos de construcción y demolición, se realizó la obtención de datos por medio de una búsqueda y selección general de las empresas encargadas de la gestión de residuos en Bogotá y los municipios aledaños.

El tipo de muestreo utilizado para esta investigación fue a través de una muestra no probabilística, en la cual no todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de formar parte del estudio, es decir, los elementos o individuos (empresas) se seleccionaron a través de procedimientos que no brindan, a todos los individuos de la población, la misma posibilidad de ser seleccionados para la muestra.



Figura 19 Ejemplo muestreo no probabilístico. Fuente: Propia, adaptada de <https://www.questionpro.com/blog/es/muestreo-no-probabilistico/>

De acuerdo a lo anterior, en el muestreo no probabilístico todos los individuos de la población pueden ser las empresas que tengan relación con la recolección, almacenamiento y gestión de residuos en general, pero para el estudio en específico y por medio de un primer filtro, se selecciona el grupo de individuos o empresas que tengan relación directa con residuos de construcción y demolición. Esta selección fue definida por el investigador.

La selección de la muestra fue de tipo discrecional o muestreo por juicio o criterio, donde la selección de los individuos o empresas de la muestra fue desarrollada por el investigador de este proyecto con base en un determinado conocimiento de la población y teniendo en cuenta qué individuos de la población son los que más pueden contribuir al proceso de investigación.

De manera complementaria, y medida que se iba desarrollando la obtención de datos por medio de la muestra discrecional, se complementó el estudio por medio de un muestreo por bola de nieve, donde el investigador, a través de sujetos de muestra (empresas ya seleccionadas), requirió ayuda para identificar a otros individuos con las mismas características relacionadas con la gestión de RCD.

En este último caso, algunas empresas seleccionadas en la muestra tipo discrecional, direccionaron al investigador para lograr encontrar otros individuos que podrían hacer parte del estudio. Es decir, al contar con una identificación inicial de empresas encargadas en la gestión de los RCD, estas mismas suministraron información al investigador sobre la posible existencia y operación de otras empresas que tienen que ver con el manejo de este tipo de residuos.

Las empresas dedicadas a la recolección, almacenamiento y aprovechamiento de las RCD permiten que se concentren los esfuerzos, no solo para la reducción de la afectación en las zonas con alto índice de estos, sino que implementan un proceso de gestión de residuos, principalmente sólidos, para elaborar propuestas o formas de integración para el manejo adecuado. Estos modelos de segunda vida, como de cambios físico/químicos de los materiales, permiten que se orienten esfuerzos para mitigar el daño por la implementación de los residuos a través de un

aprovechamiento productivo. Aquellas empresas dedicadas al aprovechamiento de RCD en el país, son limitadas, pero se encuentran en auge gracias a las nuevas normativas sobre la temática.

En la presente investigación, por medio de una exhaustiva consulta de información de manera virtual y presencial, específicamente en la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR y la Secretaría de Ambiente de Bogotá, se identificaron aquellas empresas autorizadas para el aprovechamiento de residuos de RCD en Bogotá y municipios aledaños, haciendo un barrido general en diferentes bases de datos.

A partir de un análisis de las estrategias de distribución, promoción y comunicación, se identificó que son pocas las empresas dedicadas a los fines de aprovechamiento de materiales, principalmente porque dentro del sector de la construcción y demolición existe un gran número de competidores, legales e ilegales. En el primer caso, son pocos aquellos autorizados y con los recursos (tecnológicos y humanos) para el aprovechamiento; en el segundo caso, no se posee registro oficial, lo que deja un sesgo en relación con el número, como localización de estrategias, esperando que estas existan.

Las empresas dedicadas a la recolección son las que más abundan en el campo, dado que la maquinaria y la localización implican menos gastos y estrategias, principalmente con aquellos provenientes de demolición. Estas empresas cuentan con autorización para ello, pero gestar que los rellenos o botaderos aumenten su tamaño, detectando a este como una gran problemática. A lo anterior se le suma la existencia de recolectores ilegales, los cuales no desarrollan una gestión integral y proceden a rellenar los rellenos sanitarios cercanos. En el país, existen un número significativo de estas empresas. Gran parte de ellas se pueden establecer a través de los directorios empresariales vinculados y establecidos por las Secretarías ambientales.

A partir de una revisión de los directorios, se logró establecer un primer filtro, principalmente de aquellas empresas que se dedicaban a la recolección, para luego determinar si existía, dentro de ellos, un proceso de aprovechamiento acorde con un sistema económico circular.

Es importante recordar que el sistema económico circular corresponde a la implementación de acciones acorde con las 6 Rs (Reducir, Reutilizar, Reciclar, Redefinir, Revalorizar y Redistribuir).

De acuerdo con los planteamientos teóricos, las empresas dedicadas a este sistema económico presentan proyectos para la reutilización de materiales, muchos de estos de segundo mano, y están autorizados a través de credencial ambiental para su funcionamiento.



Figura 20 Sistema económico circular 6R. Fuente: Propia, adaptada de <https://logifruit.es/de-las-3r-a-las-6r/>

De la misma forma, existe un número significativo de empresas asociadas con la distribución, cerca de 200 certificadas y otras ilegales con número no establecido a lo largo del territorio colombiano. De esas cerca de 200, se encontraron 34 empresas acreditadas, las cuales no solo disponen de los RCD para evitar el colapso de los centros de acopio, sino que poseen centro de disposición final autorizados donde proceden a entablar un aprovechamiento (Es importante determinar que las empresas seleccionadas tienen algún proceso asociado con el concreto, porque aquellas de segunda mano y/o maderas/vidrios/otros no fueron establecidas dentro de la cuenta).

Este tipo de aprovechamiento está acorde con la reconformación y rehabilitación morfológica, la implementación (producción y comercialización) de eco productos, transformación de áreas y gravas de concreto, desarrollo de bases granulares a partir de los RCD y la transformación en adoquines e infraestructura vial. Cabe mencionar que dentro de estas empresas se registra empresas de segunda mano, donde establecen un proceso de reutilización a elementos sobrantes de las acciones de construcción y demolición. Además, que aquellas dedicadas a la recolección superan un porcentaje de más del 90 %.

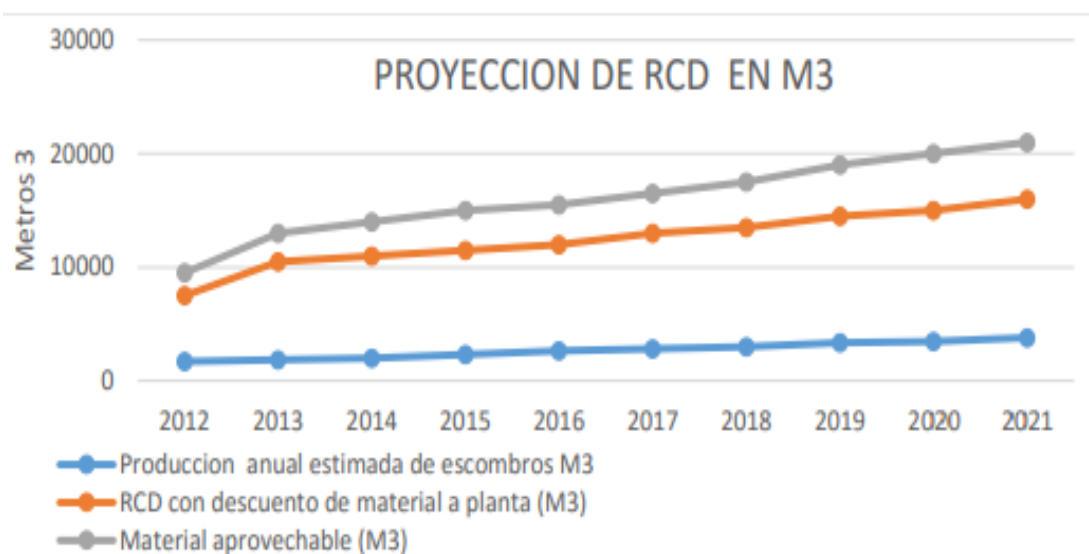
Retomando los planteamientos de Gómez (2020), las empresas dedicadas al aprovechamiento se encuentran principalmente en las grandes ciudades, y cumplen parámetros asociados a un sistema económico lineal establecido o basado en modelos internacionales. De esta manera, no solo piensan en la distribución de los materiales, sino en el desarrollo de productos que respondan a la necesidad del consumidor o del medio ambiente. Dado su implementación incipiente, aún no se encuentran suficientes empresas a nivel nacional que cumplan con todos los requerimientos, inclusive, son pocas aquellas que trabajan con cuestiones granulares, dado que existen algunas dedicadas a darle una segunda vida a otro tipo de materiales, principalmente en el proceso de demolición que se pueda registrar. (Gómez Cortes, 2020)

La comprensión de la baja cantidad de empresas relacionadas con el aprovechamiento se da a partir de los mismos impactos sociales, como de la existencia de una falta de control e inspección de la disposición final de los RCD. Lo anterior no solo presupone un desaprovechamiento de las materias primas, sino un desaprovechamiento económico de la reutilización como una falta de conocimiento de las normas e incentivos por parte del Estado para el desarrollo de estas actividades. Cabe mencionar que, a partir de la construcción legal y teórico del documento, se encuentra que, en Colombia, el Estado no ha generado ni fomentado incentivos significativos para la realización de RCD, como tampoco implementa materiales educativos para el aprovechamiento.

La existencia de pocas empresas permite comprender, desde el punto de vista gerencial, una oportunidad con el fin de no solo obtener un ingreso económico a partir de los RCD, sino que

se brinde una ruta de trabajo sólida, desde el enfoque sostenible, para la disminución de residuos y del uso de materia prima para el sector de la construcción. Además, es importante determinar que el desaprovechamiento de los residuos, como se ha venido trabajando a lo largo del país, tiene afectaciones en el paisaje, como en los rellenos sanitarios, dado que la combinación de residuos afecta el tamaño de estos.

Aunque es importante determinar los gastos y acciones vinculadas. De acuerdo con Villalba et al. (2018), la proyección existente vinculada con la disposición final, tratamiento y aprovechamiento va a aumentado significativamente, esperado que no solo con la reducción de la huella ambiental, sino con la implementación de nuevos esquemas de incorporación. En la siguiente gráfica, se evidencia lo consignado por Villalba et al (2018) a partir de los datos de la Alcaldía Mayor de Bogotá. (Villalba, Rodríguez, Moreno, & Cepeda, 2018)



**Figura 21** Proyección de RCD en m<sup>3</sup> (2012-2021) Tomado de Villalba et al (2018, p.34)

Dicha gráfica permite comprender que el proceso aprovechable de RCD estaría en un aumento, por lo que, fomentar un proceso gerencial acorde con ello no solo responde a las necesidades del mercado, sino a la incidencia de un desarrollo sostenible, principalmente en

Colombia. De manera adicional, dicha proyección no solo presupone un crecimiento empresarial, sino la reducción de costos en la utilización de RCD, dadas las variables de tecnificación y acción.

Teniendo en cuenta lo anterior, para la identificación de las empresas o entidades encargadas de la gestión de RCD se realiza la elaboración de un cuadro de control para llevar el adecuado registro de las entidades halladas y así lograr filtrar la información correspondiente a aquellas empresas que se dediquen a la gestión de residuos de construcción y demolición.

**Tabla 3 Cuadro control de identificación de gestores de RCD.**

<b>No.</b>	<b>RAZÓN SOCIAL</b>	<b>MUNICIPIO</b>	<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>GESTIÓN DEL MATERIAL</b>	<b>CONTACTO</b>
1	Empresa 1	Municipio 1			Teléfono 1
2	Empresa 2	Municipio 2			Teléfono 2
3	Empresa 3	Municipio 3			Teléfono 3

Fuente: Propia



#### **4.2.2 GENERACIÓN, REUTILIZACIÓN Y USO DE RCD EN COLOMBIA.**

La generación, reutilización y uso de RCD en Colombia es un proceso en crecimiento durante los últimos años, dado los procesos de economía circular que se desarrollan. De acuerdo con Gómez (2020), este sistema circular consiste en la utilización de los RCD a partir de los lineamientos de las 6R (Reducir, reutilizar, reciclar, redefinir, revalorizar y redistribuir). Lo anterior no solo ha fomentado que se implementen nuevos productos, sino que se distribuyan los RCD de una mejor manera, pensando en una satisfacción del consumidor. Aquellos RCD que se utilizan para la construcción deben cumplir con una serie de requisitos y/o garantías, con el fin de simular materiales creados y puedan ser de fácil aceptación o inserción en el mercado. (Gómez Cortes, 2020)

Para llevar a cabo el desarrollo de este objetivo, se realizó una búsqueda de información y datos estadísticos que reflejaran los valores reales respecto a la generación, reutilización y el uso de los residuos de construcción y demolición en Colombia. Esta labor se realizó por medio de una búsqueda exhaustiva de información relacionada con los datos de producción y reutilización de los residuos de construcción y demolición en las principales ciudades del país.

La búsqueda de información se realizó específicamente en los sitios web de las entidades estatales encargadas para la gestión de los RCD, así como las que se encontraban autorizadas legalmente para esta labor.

Inicialmente, para la obtención de datos para la ciudad de Bogotá, se realizó la consulta en entidades como la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos – UAESP. Esta entidad es la encargada de garantizar la prestación, coordinación, supervisión y control de los servicios de recolección, transporte, disposición final, reciclaje y aprovechamiento de los residuos sólidos en la ciudad de Bogotá.

Su misión es “garantizar en el Distrito Capital la prestación, coordinación, supervisión, gestión, monitoreo y control de los servicios públicos de aseo en sus componentes (recolección,

barrido y limpieza, disposición final y aprovechamiento de residuos sólidos), los residuos de construcción y demolición, los servicios funerarios y el servicio de alumbrado público; defendiendo el carácter público de la infraestructura propiedad del Distrito, promoviendo la participación ciudadana en la gestión pública, mejorando la calidad de vida de sus ciudadanos y el cuidado del medio ambiente a través de la planeación y modelación de los servicios a cargo”. (UAESP, 2020)

La UAESP cuenta con programas como el “Modelo de Aprovechamiento” y Punto limpio: estrategia de aprovechamiento de residuos arrojados clandestinamente en Bogotá, los cuales están desarrollados para realizar una adecuada gestión a los residuos de construcción y demolición.

Por otra parte, se realizó la investigación y obtención de datos en el Instituto de Desarrollo Urbano y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

Para la ciudad de Medellín, de acuerdo con los datos del Plan de Gestión Integral de Medellín, y el Plan de Desarrollo 2012-2016, enfocado, principalmente a la Gestión Integral de Residuos Sólidos, se logró obtener datos respecto a la generación de RCD en la ciudad y municipios aledaños. Además, por medio de el sitio web del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se encontraron datos correspondientes a la gestión de este tipo de residuos en el departamento de Antioquia.

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá es una entidad administrativa de derecho público que asocia a los 10 municipios que conforman el Valle de Aburrá: donde Medellín es la ciudad núcleo y alrededor de esta 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. (Área Metropolitana del Valle de Aburrá., 2019)

Respecto a la ciudad de Cali, se realizó la investigación y búsqueda de información en el DAGMA (Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente) y en el sitio web de la alcaldía de Santiago de Cali.

Según el decreto 516 de 2016, el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) “es el organismo encargado de la gestión ambiental en el Municipio de Santiago de Cali y la máxima autoridad ambiental dentro de su perímetro urbano. Es el organismo técnico director de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales, responsable de la política y la acción ambiental, y de brindar asistencia técnica agropecuaria enfocada a su desarrollo sostenible, conforme a las normas vigentes”. (Alcaldía de Santiago de Cali, 2016)

Para la ciudad de Cartagena se realizó investigación en el sitio web del Establecimiento Público Ambiental de Cartagena – EPA, el cual está catalogado como máxima autoridad ambiental en el área de su jurisdicción, de acuerdo con las normas de carácter superior y conforme a los criterios y directrices trazados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (Establecimiento Público Ambiental, 2021)

En el caso de Santa Marta, se realizó la obtención de datos por medio del Departamento Administrativo Distrital Para La Sostenibilidad Ambiental DADSA, autoridad encargada de los RCD, la cual ha gestado proyectos para mitigar el impacto ambiental, acorde con la normatividad vigente. Además, se tuvo en cuenta los datos obtenidos en el sitio web de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena; esta última, tiene como misión prestar los servicios de educación ambiental; de planificación, administración, control y manejo sostenible de los recursos naturales; y, de gestión de proyectos para la sostenibilidad ambiental y prevención del riesgo, aplicando las disposiciones legales vigentes, como máxima autoridad ambiental en el Departamento del Magdalena. (Corpamag, 2013)

### 4.2.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE FABRICACIÓN DE CONCRETO CONVENCIONAL Y CONCRETO CON APROVECHAMIENTO DE RCD.

Según Sánchez de Guzmán en su libro, Tecnología del concreto y del mortero, el concreto se puede definir como la mezcla de un material aglutinante como el cemento portland, un material de relleno como los agregados (grava y arena), agua y ocasionalmente algún tipo de aditivos, que, al endurecerse, forma una roca artificial que después de cierto tiempo determinado adquiere propiedades para soportar grandes esfuerzos de compresión.

El cemento es un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión que permiten unir fragmentos minerales entre sí, para finalmente formar un todo compacto con propiedades como durabilidad y resistencia. En la construcción, el cemento es una de las materias primas más importantes y más utilizadas.

El cemento portland se fabrica con base en materiales minerales calcáreos como la caliza, alúmina y sílice los cuales se encuentran como arcilla en la naturaleza. (Sánchez de Guzmán, 1996)

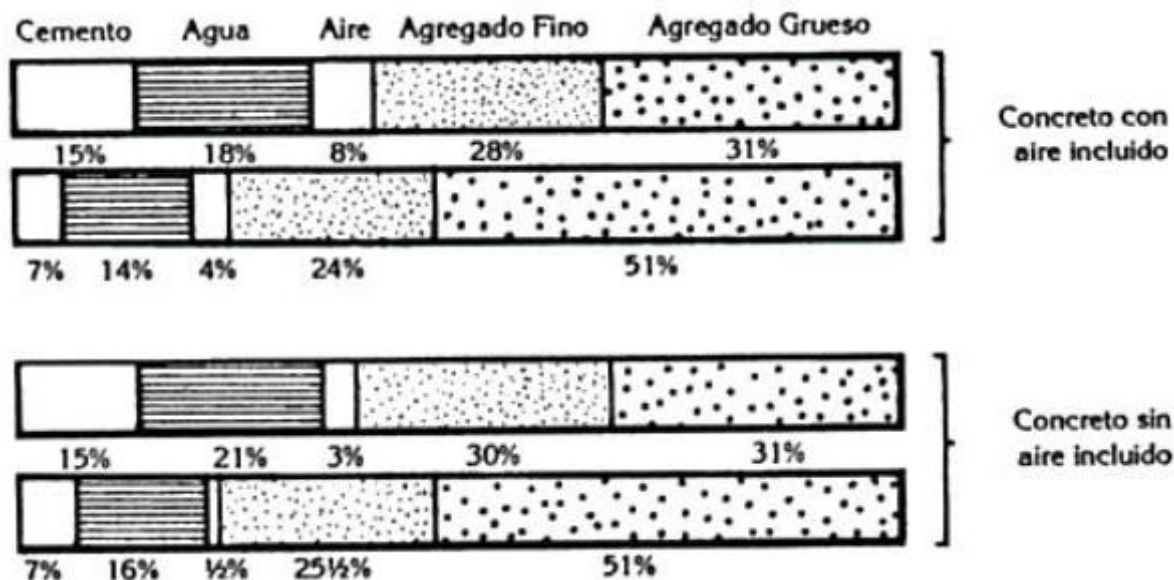


Figura 22 Componentes del concreto. Fuente: (Sánchez de Guzmán, 1996)

El componente principal en una mezcla de concreto es el cemento portland, el cual ocupa entre el 7% y el 15% del volumen de la mezcla y tiene propiedades de adherencia y cohesión que brindan una buena resistencia a la compresión. Otro componente son los agregados, y ocupan entre el 59% y el 76% del volumen de la mezcla. Son materiales inertes de forma granular, que pueden ser de fuentes naturales o artificiales y han sido separados en fracciones finas como las arenas y en fracciones gruesas como la gravas. Estos agregados en general, provienen de la explotación de canteras con rocas naturales. El tercer componente es el agua, y ocupa entre un 14% y un 18% del volumen de la mezcla y se encarga de hidratar el cemento portland a través de complejas reacciones químicas. (Sánchez de Guzmán, 1996)

Adicionalmente, el concreto cuenta con una pequeña cantidad de aire atrapado en la mezcla, correspondiente entre el 1% y 3% del volumen total. (Sánchez de Guzmán, 1996)

Para la elaboración de un diseño de mezcla de concreto se debe tener en cuenta los materiales disponibles (cemento, agregados, agua y aditivos) y la determinación de las cantidades necesarias de cada material dependiendo el tipo de concreto a elaborar. Lo ideal es elaborar una mezcla de concreto al menor costo posible.

Para la elaboración del concreto, se deben tener en cuenta varios aspectos y propiedades físicas y químicas de los materiales que conforman la mezcla como el cemento, los agregados y el agua. Según Sánchez de Guzmán, los factores básicos que se deben tener en cuenta a la hora de elaborar una nueva mezcla de concreto son los siguientes:

- Economía.
- Facilidad de colocación y consolidación.
- Velocidad de fraguado.
- Resistencia.
- Durabilidad.
- Impermeabilidad.
- Peso unitario.

- Estabilidad del volumen.
- Temperatura.
- Apariencia adecuada.

Estos factores requeridos están determinados según el uso al que estará destinado el concreto a elaborar y por las condiciones deseadas al momento de su colocación. (Sánchez de Guzmán, 1996)

Además de los requerimientos mencionados, se debe tener en cuenta las propiedades y las características de los ingredientes utilizados, las especificaciones requeridas del concreto, las condiciones en las cuales el concreto será producido, transportado y colocado y finalmente el lugar de instalación. (Sánchez de Guzmán, 1996)

Uno de los parámetros más importantes a la hora de la elaboración y uso de un concreto es la resistencia a la compresión simple, de la cual, se derivan otras propiedades y características como la resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y resistencia al corte, entre otras. Dentro de los factores que más influyen en la resistencia del concreto endurecido se encuentran: contenido de cemento, la relación agua – cemento y contenido de aire, la influencia de los agregados (granulometría, forma, textura, la resistencia y rigidez), el tamaño máximo del agregado grueso, fraguado del concreto, edad del concreto, curado del concreto y la temperatura. (Sánchez de Guzmán, 1996)

Siguiendo a Sánchez de Guzmán, se tiene registro de resultados de la resistencia a la compresión de un concreto endurecido de acuerdo a la edad de elaboración y fraguado en días y según el tipo de cemento utilizado como se puede apreciar en la siguiente figura:

Cemento	Edad (días)	Porcentaje de resistencia respecto a la de 28 días						
		1	3	7	14	28	56	90
Argos	9-14	35-47	60-67	80-84	100	116-120	128-134	
Boyacá	11-14	33-43	58-64	79-82	100	118-121	130-135	
Cairo	24-27	38-49	62-69	81-84	100	115-116	126-127	
Caldas	10-19	36-46	60-66	80-83	100	117-120	128-134	
Caribe	17-32	44-55	65-72	83-86	100	114-117	124-129	

Cemento	Edad (días)	Porcentaje de resistencia respecto a la de 28 días						
		1	3	7	14	28	56	90
Diamante B/manga	15-20	43-46	65-67	82-83	100	117-118	128-130	
Diamante Cúcuta	11-25	37-50	61-69	80-84	100	116-120	126-133	
Diamante Tolima	10-18	37-45	61-66	80-83	100	117-119	129-133	
Nare	12-19	41-46	64-66	82-83	100	117-118	128-131	
Paz del Río	10-24	38-49	62-69	81-84	100	116-119	127-132	
Samper Sta. Rosa	18-22	45-47	66-68	83-84	100	116-117	127-129	
Samper Siberia	17-24	43-49	65-68	81-84	100	116-119	127-131	
Valle	6-9	33-39	59-62	79-81	100	119-121	132-135	

Figura 23 Aumento promedio de la resistencia a la compresión del concreto, con el tiempo, para varios cementos colombianos tipo 1. Fuente: (Sánchez de Guzmán, 1996)

Como se puede apreciar en la figura anterior, a la edad de 7 días de elaboración de un concreto, se logran obtener en promedio resistencias superiores al 60% de su valor final, y a los 28 días, el concreto endurecido alcanza resistencia del 100% del valor del diseño.

Actualmente, principalmente en las empresas productoras de concretos, existen métodos automatizados los cuales ya están programados para dosificar los materiales del concreto según el diseño de mezcla requerido. Por otra parte, existen métodos a manera de guía y procedimiento que pueden ser aplicados en concretos elaborados de manera manual y/o mecánica. En este caso, se aplica el método “práctica recomendable para dosificar concreto normal y concreto pesado A.C.I. – 211” el cual es el más adecuado a las condiciones y materiales de Colombia.

Existe también una tabla de dosificación de materiales para la preparación de 1 metro cúbico de concreto, donde se especifica la cantidad requerida para el cemento, la arena, la grava y el agua. Esto depende y varía exclusivamente de la resistencia final deseada para el concreto endurecido.

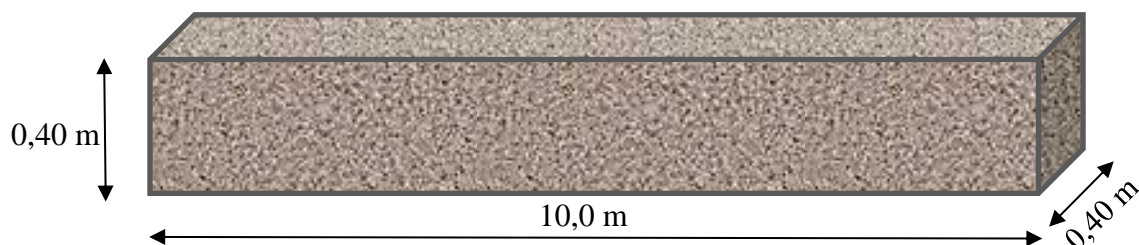
**Tabla 4 Dosificación de materiales para la preparación de 1 metro cúbico de concreto.**

Cantidades (cmt - ar - gr)	Resistencia			Cemento (cmt)Kg	Arena mt3 (ar)	Grava mt3 (gr)	Agua Lts (promedio)
	kg/cm2	PSI	Mpa				
1 - 2 - 2	280	4000	27	420	0,67	0,67	190
1 - 2 - 2,5	240	3555	24	380	0,60	0,76	180
1 - 2 - 3	226	3224	22	350	0,55	0,84	170
1 - 2 - 3,5	210	3000	20	320	0,52	0,90	170
1 - 2 - 4	200	2850	19	300	0,48	0,95	158
1 - 2,5 - 4	189	2700	18	280	0,55	0,89	158
1 - 3 - 3	168	2400	16	300	0,72	0,72	158
1 - 3 - 4	159	2275	15	260	0,63	0,83	163
1 - 3 - 5	140	2000	14	230	0,55	0,92	148
1 - 3 - 6	119	1700	12	210	0,50	1,00	143
1 - 4 - 7	109	1560	11	175	0,55	0,98	133
1 - 4 - 8	99	1420	10	160	0,55	1,03	125

Fuente: <https://construyendo.co/concreto/index.php>

De acuerdo a la tabla 4, “Dosificación de materiales para la preparación de 1 m<sup>3</sup> de concreto”, se presenta a continuación un ejercicio para la elaboración de una nueva mezcla utilizando los parámetros de la tabla.

Por ejemplo, se requiere la cantidad de materiales para fundir una viga de 0,4 m x 0,4 m x 10 m con una resistencia deseada de 3224 psi o 22 Mpa.



El volumen de la viga sería:

$$V \text{ viga} = \text{base} \times \text{altura} \times \text{espesor}$$

$$V \text{ viga} = 10 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$$

$$V \text{ viga} = 1,6 \text{ m}^3$$



De acuerdo a la tabla 4, la cantidad de materiales para 1 metro cúbico de concreto con resistencia de 3224 psi o 22 Mpa es:

Cantidades (cmt - ar - gr)	Resistencia			Cemento (cmt) Kg	Arena mt3 (ar)	Grava mt3 (gr)	Agua Lts (promedio)
	kg/cm2	PSI	Mpa				
1 - 2 - 2	280	4000	27	420	0,67	0,67	190
1 - 2 - 2,5	240	3555	24	380	0,60	0,76	180
1 - 2 - 3	226	3224	22	350	0,55	0,84	170

Cemento = 350 Kg (1 saco de cemento pesa 50 kg, por lo tanto, serían 7 sacos de cemento)

Arena = 0,55 m<sup>3</sup>

Grava = 0,84 m<sup>3</sup>

Agua = 170 litros

Por lo tanto, la cantidad de materiales para el diseño de la mezcla de concreto según el volumen de la viga sería el siguiente:

Cemento = 7 sacos \* 1,6 = **11,2 sacos o 560 kilos**

Arena = 0,55 m<sup>3</sup> \* 1,6 = **0,88 m<sup>3</sup>**

Grava = 0,84 m<sup>3</sup> \* 1,6 = **1,344 m<sup>3</sup>**

Agua = 170 litros \* 1,6 = **272 litros**

Uno de los aspectos más importantes que se debe tener en cuenta a la hora de hacer uso de un material reciclado es su factibilidad económica, además de que este cumpla con las características y parámetros exigidos para lograr utilizarlo como agregado grueso en nuevas mezclas de concreto. Por lo tanto, es necesario que su producción, transporte y almacenamiento no afecte o incremente los costos, es decir que sea una alternativa más económica para lograr emplearla en comparación con un concreto convencional. (Bedoya, 2003)

Aunque el concreto reciclado con escombros se podría catalogar como un material que disminuye el impacto ambiental al ser empleado en la construcción de nuevas obras, aún no es un

motivo suficiente para lograr introducirlo como un material de uso común en la sociedad, ya que tanto para nuevos clientes, constructores y autoridades estatales, es indispensable el factor económico, es decir, el costo que un material actualmente no convencional tendrá en el mercado. (Bedoya, 2003).

Por lo tanto, para la elaboración de nuevas mezclas de concreto utilizando material reciclado dentro de sus ingredientes principales, es necesario tener en cuenta todos los aspectos complementarios que conllevan la producción y re utilización de los RCD en los nuevos procesos materiales de construcción, desde su separación en la fuente, transportes, almacenamiento, tratamiento y disposición final. Estos parámetros deben ser analizados y tenidos en cuenta a la hora de la estimación de costos en la reutilización de este tipo de residuos.

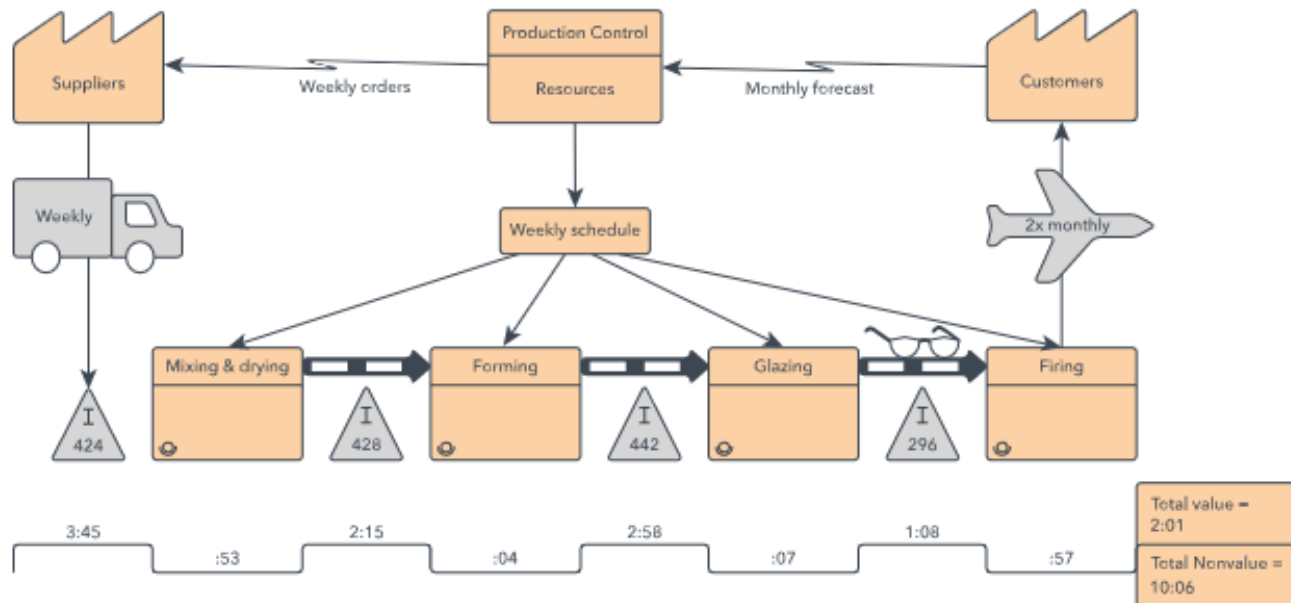
Si bien es cierto que los agregados del concreto convencional deben pasar por procesos que implican costos como la extracción, trituración, almacenamiento, transporte y ensayos de laboratorio para ser aptos para las nuevas mezclas, estos costos implicados deben ser comparados con los procesos necesarios para que los RCD sean aptos para nuevos productos o usos en nuevas obras de construcción y así verificar su viabilidad económica en el mercado. (Bedoya, 2003)

#### **4.2.4 DISEÑO DE MODELO GERENCIAL CON BASE EN HERRAMIENTA “MAPA DE FLUJO DE VALOR” PARA GENERAR UNA ADECUADA GESTIÓN DE LOS RCD.**

Un modelo gerencial se basa principalmente en la aplicación e implementación de las herramientas, buenas prácticas y técnicas gerenciales a los procesos productivos de un proyecto o empresa. Teniendo en cuenta la metodología Lean Manufacturing y todos los aspectos clave que esta herramienta posee, se realiza la elaboración de un modelo gerencial con base en el sistema Mapa de Flujo de Valor; donde por medio del cual, se realiza la planeación, construcción e ilustración gráfica de todo el proceso industrial o ciclo de producción adoptando el uso de diagramas de flujo. Esta representación gráfica, facilita el control y seguimiento de todas las etapas de un proceso productivo, desde su inicio hasta el final, permitiendo identificar oportunamente, posibles desviaciones o cuellos de botella en el proceso.

Los mapas de flujo de valor son un procedimiento de diagrama de flujo para ilustrar, examinar y mejorar los pasos necesarios para dar un producto o prestar un servicio. Como pieza clave de la metodología esbelta "lean", los mapas de flujo de valor verifican el flujo de las acciones del proceso y la información a partir de su origen hasta la entrega al comprador o cliente.

Al igual que otros tipos de diagramas de flujo, la herramienta de mapa de flujo de valor utiliza un sistema de símbolos para representar distintas ocupaciones de trabajo y flujos de información. Los mapas de flujo de valor son especialmente útiles para descubrir y remover desechos. Los recursos se representan en un mapa en funcionalidad de si añade valor o no a partir de la perspectiva del cliente o comprador, a fin de remover esos que no añaden valor al producto final. (Lucidchart, s.f.)



**Figura 24** Ejemplo mapa flujo de valor. Fuente: (Lucidchart, s.f.)

### Propósitos y beneficios de los mapas de flujo de valor

Los mapas de flujo de valor son un procedimiento eficaz para hallar los desechos o desperdicios en cualquier proceso, no solo en la manufactura. Aquel es su objetivo principal. Detalla cada paso importante del proceso y evalúa cómo añade valor (o si no lo agrega) a partir de la perspectiva del comprador o cliente. Este enfoque centrado en el valor preserva el análisis orientado hacia lo que realmente importa, permitiendo que la organización sea competitiva de manera más eficaz en el mercado. Al anticipar o confrontar cualquier amenaza competitiva, los expertos de la producción esbelta tienen la posibilidad de hacer un óptimo uso de los mapas de flujo de valor, o en inglés, Value Stream Map (VSM) con el objetivo de crear el valor más alto para el comprador de la manera más eficiente y viable. Puede y debe usarse de manera constante para obtener mejoras sucesivas, brindando pasos de procesos online cada vez más optimizados. (Lucidchart, s.f.)










Los mapas de flujo de valor, son un instrumento eficaz para la comunicación, la participación e inclusive los cambios culturales. Los delegados a tomar las decisiones tienen la posibilidad de visualizar evidentemente el estado presente del proceso y dónde está el desperdicio. Tienen la posibilidad de ver inconvenientes, como demoras en los procesos, tiempos de inacción desmesurados, restricciones y problemas con el inventario. Además, tienen la posibilidad de ver con exactitud cómo hacer mejoras a futuro.

Aunque su propósito típico sea remover desechos, el mapa de flujo de valor tiene la posibilidad de mirar a partir de una visión de valor agregado. Luego de todo, aquello es lo que le importa al cliente. La supresión de los desechos o desperdicios es el procedimiento para poder hacer la construcción de valor, como un producto o servicio con un costo más bajo y/o de mejor calidad. El comprador o cliente está dispuesto a costear por el valor. (Lucidchart, s.f.)

Para el desarrollo de una metodología gerencial empleando el Mapa de flujo de valor como herramienta estratégica Lean Manufacturing, es necesario diseñar dos mapas: el mapa de estado actual y el mapa de estado futuro. De este modo, se pretende mejorar el flujo y eliminar las actividades que no generan valor o desperdicios, y lograr así, la incorporación efectiva de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en la producción de concretos premezclados de baja resistencia.

Para el diseño de los mapas de flujo de valor, es necesario conocer algunos conceptos: el tiempo del ciclo (TC), el tiempo del valor agregado de las tareas que generan valor al proceso (VA), y el “Lead Time” (LT) que corresponde a la suma de todos los tiempos muertos. Adicionalmente, es importante reconocer los símbolos o iconos que se emplearán, los cuales representan un significado en términos sencillos. A continuación, se muestran algunos de los símbolos que se usaran en los VSM:

**Tabla 5 Símbolos de los Mapas de Flujo de Valor – VSM**

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Representa a Clientes y Proveedores.
	Simboliza el control de producción u operación del proceso.
	Traslado de materias primas o producto terminado hacia los Clientes.
	Transporte desde los proveedores o hacia los clientes.
	Corresponde al inventario de materia prima, producto en transformación o terminado entre dos procesos.
	Simboliza el flujo general de información.
	Línea de tiempo en donde se plasma la suma de los tiempos de los ciclos que generan valor y los que no.
	Flecha de arrastre para conectar el flujo de materiales entre operaciones cuándo este se lleva a cabo mediante un sistema pull. Este es un flujo de material que se origina en el cliente.
	Relámpago Kaizen: Este símbolo representa los puntos dónde deben realizarse eventos de mejora enfocados en implementar la herramienta de Lean Manufacturing expresada.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de (Lucidchart, s.f.)

Con base en lo anterior, y como punto de inicio, se construye el mapa de estado actual, con el que, básicamente, se ilustra el proceso de cómo se hacen las cosas en la actualidad, y a partir del cual se podrán identificar las actividades que generan desperdicios.

## Capítulo 5: Resultados

### **5.1. EXISTENCIA Y OPERACIÓN DE EMPRESAS LEGALES DEDICADAS A LA RECOLECCIÓN, ALMACENAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE RCD EN COLOMBIA.**

Realizando una investigación rigurosa, se logró identificar que dentro de las empresas que se encuentran certificadas en la ciudad de Bogotá y los municipios aledaños, según planteamiento CAR y otros entes normativos, son Granulados Reciclados de Colombia – Greco Colombia SAS, Ciclomat S.A, Reciclados Industriales, CEMEX, Granulados Reciclados de Colombia Greco, Codeobras S.A.S, C&D Green Investment S.A.S y Puente Piedra entre las más importantes. Estas empresas están dedicadas al uso de diferentes RCD, desde madera, vidrio, cemento tierras, entre otras.

Es importante destacar que dentro de las empresas seleccionadas son pocas dedicadas al uso de concreto reciclado.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos con la investigación y búsqueda de las empresas legalmente constituidas dedicadas al uso y gestión de los RCD:

**Tabla 6 Sitios aprobados de adecuación de suelos con fines agrícolas.**

No.	RAZÓN SOCIAL	MUNICIPIO	LOCALIZACIÓN	AUTO DECISORIO	MATERIALES A DISPONER	CONTACTO
1	PRACTICAS AMBIENTALES S.A.S	Mosquera	La merindad 1 y 2 - Vereda San Jorge	Res. 2660 de 21/011/2014	suelo orgánico, material de excavación	Tel.: 757 9729
2	SOCIEDAD PAISAJO S.A.S	Mosquera	Vereda San José	Res, 2325 de 2015	suelo orgánico, material de excavación	Tel.: 316 2254
3	RAFAEL ROMERO	Mosquera	San José	Resolución 3976 del 14/12/16	suelo orgánico, material de excavación	Cel.: 321 365 3360
4	JAIME WILLS	Mosquera	San José	Resolución 2895 de 29/09/17	suelo orgánico, material de excavación	Tel.: 636 4465
5	JAIME MURCIA	Cota	Vereda Pueblo Viejo - Predio La Libertad	Resolución 2976 del 24/12/2015	suelo orgánico, material de excavación	Cel.: 311 561 1238
6	TRANSPORTES LAMD	Mosquera	Vereda Balsillas	Resolución 0726 del 18 de marzo de 2019	suelo orgánico, material de excavación	cel.: 3212010645
7	INDUSTRIA AGRICOLA Y PECUARIA EL INTERIOR Ltda. INAPIN Ltda.	Cota	Km 4.9 Vía Siberia - Cota	Resolución 0975 del 3 de abril del 2019	Material de excavación Limos y Arcillas, Tierra negra orgánica	Cel: 320 3394716
8	Sociedad IPSA LIMITADA, con Nit. 860070922-5	Tenjo	Predio denominado Lote 5 Barro Blanco, ubicado en la vereda El Chacal del municipio de Tenjo	Resolución CAR No. 2851 del 29 de septiembre de 2017	Material de excavación Limos y Arcillas, Tierra negra orgánica	CALLE 111 N.º 5-09, OFICINA 202, <a href="mailto:dayanaquintero192@gmail.com">dayanaquintero192@gmail.com</a> Tel: 3185937988
9	FUNDACIÓN SEMILLEROS DE EMPRENDIMIENTO, con NIT. 900.877.671-0,	Soacha	Predio Santa Ana Centro y Puente Canoas, ubicados en la vereda Canoas	RESOLUCIÓN DGEN No. 20207100963 de 1 8 SEP. 2020	materiales de excavación Compuesto por suelos, arenas, limos o arcillas	contacto son 3138771274,313 3526600 correo fusemillerosdeem prendimiento@.com
10	Sociedad Agropecuaria Jardín S.A.S – Sociedad Inversiones Normandía S.A.S	Mosquera	Predio El Danubio / Granja La Rinconada, Vereda San Francisco	Resolución 20207100959 del 17 de septiembre del 2020	Material de excavación, compuesto por limos y/o arcillas	Felix Enrique Acosta González Cel: 3132827707

Fuente: Propia, adaptada de <https://www.car.gov.co/uploads/files/61730e9e20e4f.pdf>



**Tabla 7 Sitios de disposición final de RCD.**

No.	RAZÓN SOCIAL	MUNICIPIO	LOCALIZACIÓN	APROBACIÓN	MATERIALES A DISPONER	CONTACTO
1	MAGIR S.A.S. - ESP	Soacha	Vereda Panamá	Resolución CAR 0680 de 01/04/2016	Escombros, concretos y agregados sueltos de construcción, capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación, ladrillo, acero, concreto y similares	Cel.: 320 830 6335
2	EL VINCULO	Soacha	KM. 1.4 VIA SOACHA SIBATE	Resolución 1536 DE 2015 Alcaldía Soacha	Escombros, concretos y agregados sueltos de construcción, capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación, ladrillo, acero, concreto y similares	Tel.: 7251891

Fuente: Propia, adaptada de <https://www.car.gov.co/uploads/files/61730e9e20e4f.pdf>

**Tabla 8 Sitios disposición final de rcd en el marco de la resolución 0472 de 2017 ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.**

No.	RAZÓN SOCIAL	MUNICIPIO	LOCALIZACIÓN	MATERIALES A DISPONER	CONTACTO
1	FUNDACIÓN DIA AZUL FUTURO VERDE	Sibaté	Vereda Chacua	Materiales de excavación, tierras negras y/excavaciones orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y materiales de descapote	3219949007
2	LAGUNA BLANCA	Bojacá	Vereda Cubia	Materiales de excavación, tierras negras y/o orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y materiales de descapote	Cel: 3138054034
3	EMPRESA SAN JOSE GREEN GROUP SAS	Soacha	Predio ubicado en San José - Piedra Gorda Las Manas, Vereda Panamá	Materiales de excavación, tierras negras y/o orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y materiales de descapote	Cel: 3106665535
4	PREDIO LA ESPERANZA	Ciudad Bolívar	Barrio La Torre - Barrio Tierra Buena 2,5 Km	Materiales de excavación, tierras negras y/excavaciones orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y materiales de descapote	Cel: 3102449382
5	CAMPO ALEGRE BAJO	Fusagasugá	Vereda La Venta	Materiales de excavación, tierras negras y/excavaciones orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y materiales de descapote	Cel: 3229466027

Fuente: Propia, adaptada de <https://www.car.gov.co/uploads/files/61730e9e20e4f.pdf>

**Tabla 9 Gestores plantas tratamiento RCD en el marco de la resolución 0472 de 2017 ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.**

No.	RAZÓN SOCIAL	MUNICIPIO	LOCALIZACIÓN	MATERIALES A TRATAR	CONTACTO
1	SECAM JR	BOGOTÁ	Carrera 7 D Este Calle 115 Sur	Materiales de excavación, tierras negras y/excavaciones orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel.: 3002414969
2	DROMOS	MOSQUERA	Kilómetro 3.8 Zona Industrial Balsillas	Materiales de excavación, tierras negras y/excavaciones orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Tel.: 742 5376
3	INCOMINERÍA	MOSQUERA	Kilómetro 3.5 Zona Industrial Balsillas (Entrada por Los Puentes)	Materiales de excavación, tierras negras y/excavaciones orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel.: 322 475 2219
4	CICLOMAT	COTA	Autopista Medellín Kilómetro 1.2 vía Siberia - Bogotá entrada Parque Industrial La Florida 600 metros al sur de la calle 80	Materiales de excavación, tierras negras y/excavaciones orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Tel.: 487 4315
5	CICLOMAT – CODEOBRAS1	COTA	Autopista Medellín Kilómetro 1.2 vía Siberia - Bogotá entrada Parque Industrial La Florida 800 metros al sur de la calle 80	Materiales de excavación, tierras negras y/excavaciones orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Tel.: 487 4315
6	AGREGADOS ARENAS Y GRAVAS S.A.S	TENJO	Vía Siberia - Medellín Kilómetro 3 Vereda La punta	Materiales de excavación, tierras negras y/excavaciones orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel: 3003114712

7	CUNDICOAL	COGUA	Kilómetro 7 Vs Ubaté Vereda El Olivo	Materiales de excavación, tierras negras y/Kilómetro orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel.: 311 477 1536
8	UAERMV	BOGOTÁ	Parque Minero Industrial "El Mochuelo" Kilómetro 3 Vía Pesquilla. Ciudad Bolívar	Materiales de excavación, tierras negras y/Bolívar orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Tel.: 747 0909
9	EL VINCULO	SOACHA	KM. 1.4 VIA SOACHA SIBATE	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Tel.: 7251891
10	PUENTE PIEDRA S.A.S.	MADRID	Vereda La Cuesta	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel:3187509487
11	TRANSFORMACIÓN NATURAL S.A.S	MOSQUERA	Vereda Balsillas	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel:3187509487
12	CMOP (Centro de Mantenimiento, Operación y Producción) MHC - MARIO HUERTAS COTES	MADRID	Km 12 Vía Bogotá - Medellín	Materiales de excavación, tierras negras y/ (Centro orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel: 3204903172
13	Granulados Reciclados de Colombia - GRECO S.A.S	COTA	Vereda Siberia, sector La Florida, en la zona agroindustrial	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel: 3138876569
14	GRANJEROS SAS	MOSQUERA	Vereda Balsilla	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel :3203045038

15	RECICLADOS INDUSTRIALES	COTA	Km 1.5 Costado sur Vía Bogotá -Siberia	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel: 3102925151
16	ALBORAL S.A.	MOSQUERA	Vereda Balsillas	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel: 3153393288
17	CONSORCIO DESARROLLOS ECO-AMBIENTALES	SOACHA	Vereda Panamá	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Tel: 4757313 celular:31342070 29
18	LAMINADOS JAB S.A.S	SOACHA	carrera 13 No. 13-22 sur sector de Santa Ana	Materiales de ferrosos	Cel: 3002146821
19	Centro de Aprovechamiento de residuos de Construcción y Demolición - CARCD	MOSQUERA	Vereda Balsillas	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel: 3124326986 - 312432699
20	RECICLADOS INDUSTRIALES	MOSQUERA	Vereda San José	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel: 3102925151
21	ASMINCOL	SIBATÉ	Vereda La Unión	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel: 3102886432
22	AGENCIA NACIONAL DE RECUPERACIÓN Y RECICLAJE	MOSQUERA	Vereda Balsillas	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel: 3187509487
23	AGREGADOS LA PUNTA SAS	MADRID	Vereda La Punta	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel: 3188979849

24	SAN JOSÉ GREEN GROUP	SOACHA	Predio ubicado en San José - Piedra Gorda Las Manas, Vereda Panamá	Materiales de excavación, tierras negras y/José orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel: 3106665535
25	COMINERALES SAS	NEMOCÓN	Vereda Patio Bonito	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel:3124633503
26	COMTRIRED S.A.S	ZIPAQUIRÁ	Carrera 36 No. 84 87 Barrio La Paz en Zipaquirá	Materiales de excavación, tierras negras y/Zipaquirá orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Teléfono: 300 7184055
27	SECAM JR EU	SOACHA	Planta en el predio denominado El Tesoro, Lote No. 1, localizado en la vereda Panamá del municipio de Soacha, oficinas Carrera 71 D No. 57 – 10 Sur Bogotá	Materiales de excavación, tierras negras y/Bogotá orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	314 4649098
28	AGREGADOS ARENAS Y GRAVAS S.A.S	TENJO	Planta: Predio Villa Lucy, Vereda la Punta, Municipio de Tenjo, costado norte de la Autopista Medellín, ingresando 120 metros en el Corredor vial Suburbano industrial Ofc Calle 185 No. 45-03 Ofc 601 C.C. Santa Fe Plaza Brasil,	Materiales de excavación, tierras negras y/o orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	3105691679

29	BGM Ingeniería Construcciones SAS	Mosquera	Lote 5B Ubicado en Mosquera	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	teléfono 3203451697
30	INGENIERÍA AMBIENTAL Y LABORAL SAS. INGENIAL COLOMBIA	Soacha	Carrera 5 No. 9-15 Sur Santa Ana	Materiales de excavación, tierras negras y/demolición y orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Tel: 312 3844100
31	Materiales y logística S.A.S	Tenjo	Km 1 vía la Punta Funza, Lote No. 6 Vereda la Punta	Materiales de excavación, tierras negras y/o orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	3015531529
32	Geomineria Operativos S.A.S. Nit: 901.479.021-1	Soacha	Vereda Fusunga, municipio de Soacha, Representante legal Martha Cecilia Peña Arango	Materiales de excavación, tierras negras y/o orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Teléfono No.: 314 464 9098
33	Proyecto PA&Co, Nit: 901.496.169-2	Cota	Km 2 Vía Cota-Chía, teléfono 3117206251. Representante Legal Camilo Ochoa Ochoa	Materiales de excavación, tierras negras y/o orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Teléfono No.: 311 720 6251
34	Compañía Química y Minera de Colombia - CQMC Nit: 900.759.282-3	Tocancipá	Predio Lubeka , vereda Tibitó, frente al parque Jaime Duque	Materiales de excavación, tierras negras y/o orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Tel:4775008, Cel:3213415059, dirección CL 135 A 10A 08 OF101. Correo: <a href="mailto:mendietachica@yahoo.com">mendietachica@yahoo.com</a>

Fuente: Propia, adaptada de <https://www.car.gov.co/uploads/files/61730e9e20e4f.pdf>

**Tabla 10 Gestores puntos limpios RCD en el marco de la resolución 0472 de 2017 ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.**

No.	NOMBRE / RAZÓN SOCIAL	MUNICIPIO	LOCALIZACIÓN	MATERIALES A ALMACENAR Y CLASIFICAR	CONTACTO
1	PLANTA PRODUCTIVA DE ACONDICIONAMIENTO DE SUELOS Y CULTIVOS DE FRUTAS TIPO EXPORTACIÓN - EXPORHUILA S.A.S	COTA	INTEXZONA LOTE 93. VEREDA SIBERIA	Materiales de excavación, tierras negras y/o orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel: 3108583796
2	MAAT SOLUCIONES AMBIENTALES	COTA	AUT. MEDELLIN KM3.9 BOGOTÁ-SIBERIA	Materiales de excavación, tierras negras y/o orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Tel: 7425410
3	AGREGADOS ARENAS Y GRAVAS S.A.S.	TENJO	Vía Siberia - Medellín Kilómetro 3 Vereda La punta	Materiales de excavación, tierras negras y/o orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel: 3003114712
4	AGREGADOS ARENAS Y GRAVAS S.A.S	TENJO	Vía Siberia - Medellín Kilómetro 3 Vereda La punta	Materiales de excavación, tierras negras y/o orgánicas, Materiales pétreo, materiales de demolición y de mantenimiento viales y materiales de descapote	Cel: 3003114712

Fuente: Propia, adaptada de <https://www.car.gov.co/uploads/files/61730e9e20e4f.pdf>

La gestión y el tratamiento de los residuos que se generan en las obras de construcción y demolición se ha identificado como de gran complejidad; lo anterior responde a una mirada medio ambiental, dado que existe una relación entre los residuos y los impactos negativos al medio ambiente, principalmente en relación con la implementación de los recursos naturales y la calidad ambiental. A partir de ello, diferentes empresas, a nivel nacional e internacional han desarrollado como misión la implementación de un Plan de Gestión Integral de Residuos de Construcción y Demolición, con el fin de aprovechar y manejar de la manera más adecuada este tipo de residuos.

Los Planes de Gestión se encuentran asociados con diferentes entidades gubernamentales, logrando que se reduzcan, reutilicen y reciclen los RCD, es decir, la idea es darles una disposición final adecuada y se fomente la reducción del impacto ambiental. Muchas de estas empresas también producen materiales de construcción, por lo cual entablan un ciclo de producción, generando una reducción de los volúmenes de escombros y mejorando los procesos de disposición final. Dentro de los procesos de aprovechamiento puede existir diferentes procedimientos y/o acciones, tomando a los RCD de manera parcial o total.

Con el fin de identificar las empresas dedicadas a diferentes tipos de aprovechamiento se hizo un proceso de rastreo a empresas recolectoras y almacenadoras de los RCD a lo largo del territorio. De acuerdo con los directorios oficiales y las páginas web de diferentes lugares se logró establecer que cerca del 90 % de las empresas se dedica a los procesos de recolección y depósito, pero no tienen ningún plan para la reducción del volumen de escombros, por ende, tampoco exhibe un nivel de aprovechamiento y/o transformación. Esto permite exhibir que pocas empresas tienen una orientación de Plan de Gestión.

Dentro del proceso de búsqueda se recolectaron 10 empresas que cumplían los requisitos principalmente dados por el aprovechamiento de los residuos a través de la transformación o segunda vida, como la afiliación a alguna entidad estatal u organización que permitiera dar un seguimiento a su uso. Lo anterior no solo corresponde a un proceso exploratorio, sino a identificar las tendencias que se desarrollan dentro del país con el objetivo de reducir su huella ecológica y ayudar al medio ambiente.



Las empresas identificadas parten de una estrategia de trabajo, con el fin de reducir los residuos de construcción y promover un segundo uso. Muchas de estas empresas tienen en su función solamente el aprovechamiento, mientras que otras sí se dedican a la recolección, almacenamiento y disposición; lo anterior no solo exhibe la posibilidad de hablar de empresas sectorizadas, sino de un esquema de trabajo detallado y exclusivamente para la disposición adecuada. A partir del rastreo se identificó que los RCD que se pueden reutilizar son:

- Concretos
- Cerámicos
- Metales
- Maderas
- Vidrio
- Pétreos
- Plásticos
- Otros de construcción y de arquitectura (Tejas, bloques, etc).

Las empresas identificadas hacen uso en su mayoría de estos residuos, pero existe una prevalencia por aquellas que hacen un aprovechamiento de segunda vida de otros elementos de construcción y arquitectura, como de aquellas empresas que prolonga la vida útil de los escombros con un aprovechamiento mayor y de más complejidad, como lo es la biomasa, la transformación de arenas y graves, nuevas bases para el concreto (a nivel granular) y bloques para la infraestructura vial (desarrollados con elementos varios de RCD).

De esta manera, se exhibe que de las pocas empresas que hacen uso de los RCD, solo algunas brindan una alternativa para la disposición de residuos y que, de las pocas identificadas, casi un 40% no se focaliza en la reconformación morfológica y rehabilitación ecológica, sino establecen un proceso de acción donde, desde una mirada de responsabilidad social, fomentan acciones de construcción integral con materiales de segunda vida.

Lo anterior no solo presupone que debe resaltarse el papel de aquellas empresas que tienen un Plan de Gestión Integral, sino la necesidad de aprovechar los residuos, como es el caso de la creación de bases granulares, de gran uso en el ambiente de la construcción.

## **EMPRESAS QUE SE ENCUENTRAN AVALADAS POR LAS AUTORIDADES AMBIENTALES Y TIENEN PROCESOS CON LA REUTILIZACIÓN DE RCDS**

### **1. MAAT Soluciones ambientales**

En maat son especialistas en la gestión integral de residuos de construcción y demolición (rcd's), oficinas e industria. cuentan con un conjunto de herramientas logísticas, científicas, tecnológicas y económicas, que permiten cubrir desde una perspectiva integral las necesidades de los clientes. (MAAT, 2021)

#### **Disposición final correcta y reciclaje de rcd`s.**

Gestión integral de residuos de construcción y demolición, en cumplimiento de la normatividad ambiental vigente, con multiplicidad de valores agregados, como un portal diseñado para la correcta gestión de tus residuos, levantamiento estadístico, análisis de beneficio ambiental, certificados de disposición final, calendario de recolección entre otros, dotación de lonas y bigbags para el embalaje de residuos en los proyectos, señalización, entre otros.

En cumplimiento de la resolución 01115 de diciembre del 2012, decreto 1609 del 2002, decreto 4741 de 2005 (Entre otros) y estándares ambientales LEED (Leadership in energy and environmental design) e ISO 14.000. (MAAT, 2021)

Maat es una empresa encargada en la logística de la gestión integral de los RCD y se conoce como punto limpio avalado por la Corporación Autónoma Regional CAR de acuerdo con la resolución 472 de 2017.

## **2. CICLOMAT**

Empresa dedicada a la recepción de los materiales reciclados de la construcción y demolición y emiten la certificación ambiental.

### **Recepción y/o disposición de materiales generados de la construcción y demolición (RCD).**

Los materiales factibles de reciclar son los que provienen de demoliciones y desechos de la industria de la construcción (edificaciones, excavaciones, vialidades, urbanizaciones, caminos, etc.)

Es importante recalcar el cuidado que se debe tener por parte del generador el realizar una selección previa retirando los elementos contaminantes no aptos en el proceso de reciclaje tales como: basura, papel, madera, plástico, drywall y materiales tóxicos (tejas de asbesto). (CICLOMAT, 2021)

### **Clasificación de residuos sólidos de construcción y demolición (RCD).**

De acuerdo al producto de demoliciones y desechos de la industria de la construcción dispuesta en planta, se realiza la separación de metales, maderas y plásticos que no son aptos para el proceso de la formación de eco materiales para la construcción. (CICLOMAT, 2021)

### **Procesamiento de eco-materiales para la construcción.**

Ofrecen al constructor, la posibilidad de adquirir materiales certificados bajo normas IDU para sus obras y así cumplir con las nuevas disposiciones ambientales en manejo de residuos y porcentajes de uso obligatorio de materiales provenientes del aprovechamiento de escombros de construcción (Resolución 01115 del 2012), obteniendo ahorros significativos y ayudando al cumplimiento de la normatividad legal ambiental por parte del constructor. (CICLOMAT, 2021)

**Materiales aceptados**

Adcretos / Arcillas / Concreto Armado / Concreto Simple / Mamposterías / Ladrillos / recebos.

**Materiales no aceptados:** Tejas / Gredas / Basura / materiales orgánicos / Aceites / Grasas / Asbestos / Baterías / Llantas usadas / Papel / Plásticos / Químicos / Tanques de gas / Textiles / Vidrio / Madera / yeso / Cerámicos.

**3. RECICLADOS INDUSTRIALES**

Es una entidad dedicada al tratamiento y aprovechamiento de escombros, residuos de construcción y demolición, cuyo objetivo es el cuidado del medio ambiente y el ecosistema, promoviendo procesos de construcción y desarrollo urbano sostenible.

Estos procesos de construcción y desarrollo urbano son caracterizados por contribuir en el cumplimiento de la normativa ambiental y legal respecto a la gestión de escombros. Con esto, se logra generar una reducción en la contaminación de humedales y cuencas de ríos, así como una reducción en la explotación de recursos naturales en minas y canteras.

Además, la empresa reciclados industriales después de realizar su respectivo tratamiento y formación de materiales con RCD, ofrece suministros de bases, sub bases granulares, arenas, gravas y gravillas.

**4. CEMEX COLOMBIA S.A**

CEMEX es una compañía multinacional, originaria de México, la cual se encuentra en más de 50 países, siendo líder potencial en la industria de materiales para la construcción, especialmente concreto, con más de cien años en el mercado. CEMEX tiene alta representación en el mercado colombiano por su amplio catálogo de productos, y con respecto a los RCD, la empresa genera soluciones para los constructores logrando reducir la huella

ambiental generada por los residuos que se originan en cada proyecto. Esto se traduce en un mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad.

Estas soluciones se realizan por medio de un centro de tratamiento, aprovechamiento y disposición final de RCD, ubicado estratégicamente en dos puntos de la ciudad e Bogotá: Mina Tunjuelo y Mina Fiscalía, dando cumplimiento a su propio PMA (Plan de Manejo Ambiental), operando de forma continua (24 horas) y certificando los RCD depositados en su planta.

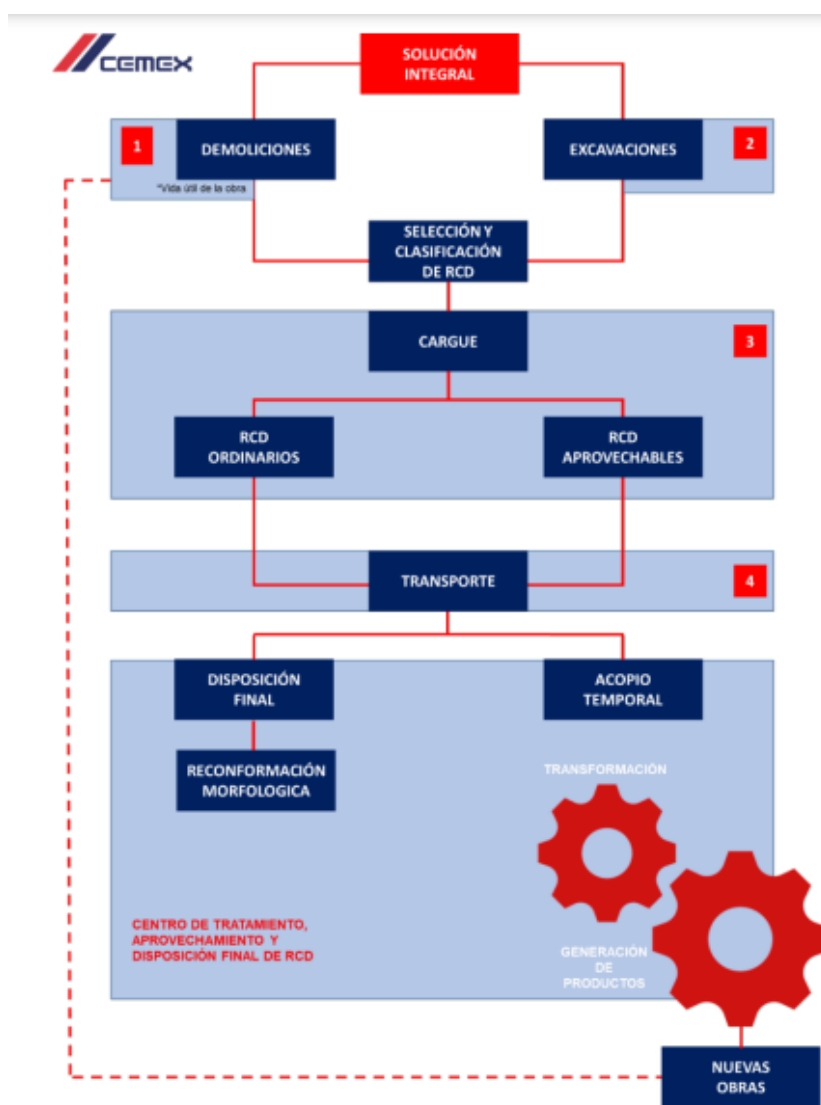


Figura 25 Centro de tratamiento, aprovechamiento y disposición final de RCD. Fuente: CEMEX <https://www.cemexcolombia.com/soluciones/constructores/servicios/centro-de-tratamiento-aprovechamiento-y-disposicion-final-de-rcd>

Otro aspecto importante en el proyecto de CEMEX, es la disminución de la huella ambiental por cada tonelada de árido RCD que se logre incorporar en sus concretos. Donde se podrían presentar factores realmente importantes como son:

- Reducción del uso de materia prima no renovable.
- Reducción de 230 Km de recorrido de tracto mulas.
- Reducción de 46 galones de combustible.
- Reducción de 0,1 toneladas de emisión de CO2.
- Ahorro en costo de transporte de \$29.000/ton.
- Reducción en 7 horas del tiempo de ciclo.
- Reducción en el deterioro de pavimentos.
- Reducción en accidentes y congestión.



Figura 26 Proceso de disposición RCD. Fuente: CEMEX

<https://www.cemexcolombia.com/soluciones/constructores/servicios/centro-de-tratamiento-aprovechamiento-y-disposicion-final-de-rcd>

## 5. GRANULADOS RECICLADOS DE COLOMBIA, GRECO S.A.S

Es una empresa que realiza el procesamiento de residuos pétreos de construcción y demolición. Su planta cuenta con alta tecnología que permite que los residuos puedan ser incluidos a la cadena de valor y ser reutilizados como agregados reciclados certificados para la construcción.

Esta empresa presta servicios de gestión de RCD a las constructoras en general y tienen un proceso establecido para la clasificación de los mismos, donde logran producir un material granular que se puede utilizar como materia prima en la fabricación de productos como bases granulares, material de relleno, y gravas para nuevos concretos y asfaltos, logrando así reincorporar estos residuos en una nueva cadena de materiales.

Cuentan con un sofisticado sistema para la selección, separación y clasificación de los residuos de construcción y demolición, el cual está elaborado con electroimanes que separan partículas metálicas, aireadores, los cuales separan residuos livianos, cribas que permiten separar arenas y materiales inertes de menor tamaño, y cabinas de tiraje manual que separan y clasifican el vidrio, la madera, plástico, papel, etc.

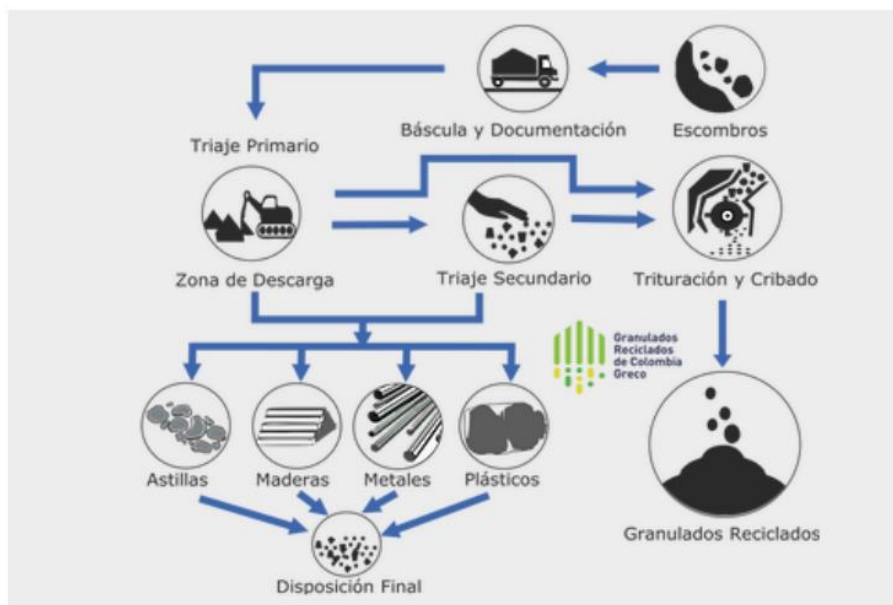


Figura 27 Diagrama de proceso planta Greco S.A.S. tratamiento RCD. Fuente: <https://www.recicladosgreco.com/plan-gestion-de-rcd-en-la-obra-2>

## 6. MATERIALES ECOLÓGICOS DE COLOMBIA – MAECOL SAS

Es una compañía ubicada en la ciudad de Cali, la cual, dentro de su portafolio de servicio incorpora a la cadena de valor RCD para una posterior transformación en nuevos materiales utilizados en la construcción. Esto se realiza a través de productos patentados, los cuales han sido diseñados y utilizados por la empresa para el desarrollo y transformación como materiales para acabados que pueden ser usados en el sector de la construcción y otros sectores industriales.

Como conclusión del desarrollo de este objetivo, y de acuerdo a los resultados obtenidos, se identificaron 34 empresas que tienen que ver con el proceso de gestión de los RCD en Bogotá y sus alrededores. De estas 34 empresas, hay 6 que sobresalen ya que cuentan con todos los requisitos legales y ambientales establecidos por ley y, además, cuentan con un sistema de almacenamiento, separación y disposición final o re utilización de los RCD. Entre las más destacadas está CEMEX. Por otra parte, se conoce que hay varias empresas o personas naturales que prestan el servicio de acopio y almacenamiento de los residuos de construcción pero lo hacen de una manera ilegal, por lo tanto, el desarrollo de este objetivo se realizó únicamente con establecimientos legales que cumplían con la normatividad legal y ambiental vigente.

Si bien existen diferentes entidades que ejecutan procesos relacionados con la gestión de los RCD en Bogotá y alrededores, no hay una empresa o establecimiento específico que realice todo el proceso en el tratamiento de este tipo de residuos, desde su separación, recolección y transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final como un nuevo producto. Por lo tanto, el diseño de un modelo gerencial basado en buenas prácticas y herramientas de la metodología Lean Manufacturing y Mapa de Flujo de Valor, permitirá generar una herramienta ágil que incluya toda la cadena de tratamiento de los RCD y podrá ser aplicada en cualquier empresa o establecimiento dedicado a la gestión de estos residuos.



## **5.2. GENERACIÓN, REUTILIZACIÓN Y USO DE RCD EN COLOMBIA.**

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible aún no ha presentado las cifras actuales de escombros que crea el territorio, sin embargo advirtió según un análisis llevado a cabo en el 2011, que en medio de las principales ciudades como Bogotá, Medellín, Cali, Manizales, Cartagena, Pereira, Ibagué, Pasto, Barranquilla, Neiva, Valledupar y San Andrés, se provocaron bastante más de 22 millones de toneladas de Residuos de Construcción y Demolición; equivalente a 445 mil bultos de cemento gris, cada uno con un peso de 50 kg, la porción aproximada para edificar 2.967 casas de interés social de 50 metros cuadrados. (Catorce 6, 2019)

Los monumentales proyectos de creación, las obras públicas y las obras de procedencia domiciliario, son los 3 gigantes generadores de RCD en el territorio, de dichos, menos del 20% logran ser dispuestos de forma idónea. Las razones son muchas: por inconciencia ambiental, por desconocimiento del funcionamiento correcto, porque la población prefiere arrojarlos a la calle anteriormente que pagarles a las organizaciones para que los recojan, porque se los entregan a “carretilleros o volqueteros” para que se deshagan del material, porque en varias zonas urbanas no hay sitios de disposición, porque hay escombreras que agotaron su capacidad, por el crecimiento de sitios ilegales, entre otras causas brindadas por la ciudadanía. (Catorce 6, 2019)

Como se hizo mención, existen varias empresas a nivel nacional que se dedican a la generación, reutilización y uso de RCD, entre ellas se encuentran CEMEX, Dromos Pavimentos S.A.S, RCD Puente Piedra S.A.S, Codeobras S.A.S, Reciclados Industriales, Ciclomat S.A.S, entre otras. Las mencionadas cuentan con normatividad ambiental, a diferencia de otras, pero se reconocen dentro de los lineamientos y directorios para control. A lo anterior se le suma el papel de la ilegalidad, que es de gran consideración dentro de las normativas nacionales. Dichas empresas prestan el servicio de recolección, transporte y aprovechamiento de RCD, principalmente de los generadores (excavación, construcción, demolición, sedimentos, remodelación, etc.); ejemplo de generadores se encuentra el Instituto de Desarrollo Urbano, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, entidades privadas dedicadas a la construcción, etc.

La normatividad permite que se gesten un vacío en torno a las empresas dedicadas al transporte, dado que cualquier persona natural puede prestar los servicios de recolección, lo que se asume a una amplia gama de personas y centro de recolección. En relación con estos últimos, son pocos los centros de aprovechamientos, dado que las instalaciones deben contar con una serie de herramientas y requisitos, a nivel formal, principalmente por el tamaño y el tipo de tratamiento.

De acuerdo con Bermejo (2016), la generación y aprovechamiento de RCD en Colombia se ha consolidado a partir de un proceso dinámico, el cual, dada la alta demanda, ha aumentado durante los últimos años, principalmente por considerar a la construcción como una parte principal dentro del desarrollo económico del país; lo anterior se confirma con el aumento en toneladas, como en manejo que se ha realizado al respecto, donde se evidencia que en Bogotá, para el año 2012, se producían cerca de 333.000 con un aumento exponencial. (Bermejo Urzola, 2016)

Dentro de los materiales implementados para la construcción se encuentran acero, grava, gravilla, aluminio, arena, asbesto, asfalto, bronce, cerámica, cartón, caucho, cobre, concreto, granito, gres, guadua, hierro, icopor, ladrillo, luminarias, lámina de yesos, madera, mármol, papel, plásticos termoformables y termoestables, textiles, tierra, vidrio, residuos orgánicos, otros. De estos, el concreto ocupa el mayor porcentaje (25 %) seguido de ladrillo (17 %) y tierra (14 %). Lo anterior no solo presupone que el RCD más grandes es el concreto, sino que se tiene una posibilidad significativa para su aprovechamiento.

Siguiendo los planteamientos de Bermejo (2016), las ciudades principales son donde se produce más material RCD, iniciando por Bogotá y Medellín. En el primer caso, Bogotá cuenta con una guía para el tratamiento y gestión integral de residuos. Empresas como CEMEX, de origen mexicano, pero con papel en diferentes partes de latinoamericana, se ha considerado como la principal en torno al procesamiento de escombros, haciendo uso del concreto y del ladrillo, como residuos de mayor prevalencia. Esta empresa se caracteriza por una producción de 3 a 4 mil metros cuadrados por mes, a la hora de producir productos reciclados, principalmente, concreto reciclado. (Bermejo Urzola, 2016)

Por ejemplo, en Bogotá se recogen alrededor de 300 mil toneladas de escombros por obras, y se produce anualmente aproximadamente 12 millones de toneladas de materiales, según la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (Uaesp). En otros datos, de acuerdo a los indicadores del Observatorio Ambiental de Bogotá, de la Secretaría Distrital de Ambiente, se encontró que de la producción anual generada en el año 2015 por obras mayores a 5.000 m<sup>2</sup> y mega obras urbanas, 8.326.626 toneladas de RCD fueron adecuadamente controlados y dispuestos; siendo Suba, Usaquén, Engativá y Fontibón, las localidades más afectadas.

Según datos reportados por el proyecto Punto Limpio, establecido por la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, para diciembre del año 2020, de las 165.500 toneladas de materiales que provenían de puntos críticos, de los cuales, se lograron llevar a celda de disposición final un total de 99.600 toneladas de residuos, los cuales, debido a su alto grado de contaminación, no fue posible realizarles algún tipo de clasificación; el excedente, fue de 65.900 toneladas de RCD, que fueron ingresadas al Punto Limpio.

Estos materiales se separaron y limpiaron; y como resultado hubo 44.500 toneladas susceptibles de aprovechamiento en el sector de la construcción. De igual manera se logró el alistamiento de 86 toneladas de madera, material que viene siendo entregado a una organización de recicladores legalmente establecida por la entidad distrital según lo informa la entidad. (UAESP, 2020)



Figura 28 Demolición de predios para construcción del metro en Bogotá.

Fuente: Revista Semana

En el año 2019, y de acuerdo a un estudio realizado por la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos UAESP, en Bogotá, los grandes generadores de RCD se encuentran regulados y controlados por la Secretaría Distrital de Ambiente. En cuanto a la fracción de RCD provenientes de pequeños generadores, se genera un alto impacto sanitario, ambiental, económico, administrativo y operativo. Una gestión inadecuada, da paso a los arrojos clandestinos que luego en la ciudad se identifican como puntos críticos. De acuerdo al informe de la UAESP, se estiman 738 puntos críticos en toda la ciudad.

**Tabla 11 Puntos críticos por localidad - Bogotá.**

<b>Operador de aseo</b>	<b>Localidades Atendidas</b>	<b>Número de puntos críticos</b>
Promoambiental	Santafé, San Cristóbal, Sumapaz, Usme, Candelaria, Usaquén y Chapinero.	117
LIME	Rafael Uribe, Tunjuelito, Puente Aranda, Mártires, Teusaquillo, Antonio Nariño, Ciudad Bolívar y Bosa	225
Ciudad Limpia	Kennedy y Fontibón	121
Bogotá Limpia	Engativá y Barrios Unidos	216
Área Limpia	Suba	59
<b>TOTAL</b>		<b>738</b>

Fuente: Propia, adaptada de Subdirección de Recolección de Barrido y Limpieza - UAESP 2019

De acuerdo a la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos en el año 2019 fueron recolectadas un total de 46.937 toneladas de RCD en la ciudad por los operadores de aseo; sin presentar registros para las localidades de Engativá y Barrios Unidos. Respecto a los usuarios que más utilizan el servicio, se encuentran en las localidades de Kennedy y Fontibón, con una participación del 42% y 21% respectivamente y, con relación a la localidad donde menos se usa el servicio, se tiene la localidad de La Candelaria.

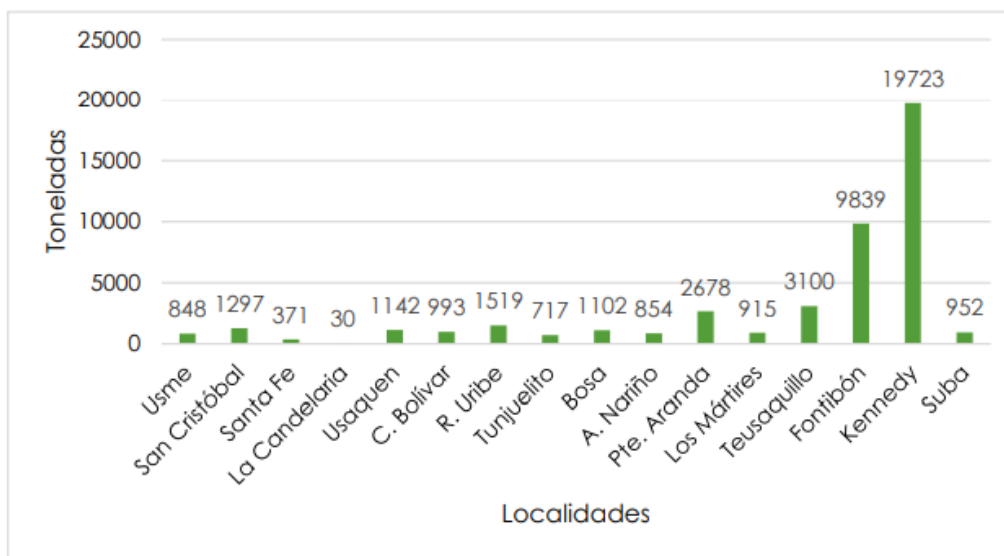


Figura 29 Toneladas de RCD recolectadas en Bogotá por los operadores de aseo en el 2019.  
Fuente: UAESP

Respecto al aprovechamiento de los RCD, según la Cámara de Comercio de Bogotá y de acuerdo a la normatividad vigente, desde el 2013 se obliga a los grandes generadores a realizar un aprovechamiento del 25% de los residuos generados. Esto puede ser por medio de la reutilización in situ o la inclusión de agregados reciclados. En la siguiente tabla, se observan las tasas de aprovechamiento de RCD programadas versus las alcanzadas desde el año 2016 al 2019 en la capital.

Tabla 12 Toneladas de RCD aprovechadas para el de 2016 a 2019.

Año	Aprovechamiento (Ton)	Meta fijada (Ton)	Tasa de aprovechamiento programada (%)	Tasa de aprovechamiento alcanzada (%)
2016	344.553	341.754	15	15.13
2017	2.339.086	1.541.574	20	30.35
2018	1.752.325	2.312.361	25	18.95
2019	2.821.901	6.421.217	25	34.48

Fuente: Propia, adaptada de Cámara de comercio de Bogotá 2020.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se logra identificar que para la ciudad de Bogotá se hallaron más de 700 puntos críticos donde no se realiza una adecuada disposición y almacenamiento de RCD. Por otra parte, las localidades de Kennedy y Fontibón es dónde hay mayor cantidad de producción y recolección de este tipo de residuos, según los datos entregados por los operadores encargados de la recolección de residuos en general de la ciudad. Finalmente, analizando los datos de aprovechamiento de los RCD, se logra identificar que hay datos desde el año 2016 al 2019, evidenciando una alta tasa de aprovechamiento en este último año.

Para la ciudad de Medellín, las cifras no son mejores. Aunque la Secretaría de Medio Ambiente de la Alcaldía manifestó no tener dentro de sus registros datos precisos de generación de RCD, aduciendo un contrato interadministrativo con Empresas Varias de Medellín (Emvarias) para la operación y administración de tres Centros de Acopio Temporal de Escombros (Cates), ubicados en los sectores de La Iguana, La Ladera y Santa Lucía; ambientalistas indican que al menos unas 6 mil toneladas de escombros se generan al día en Medellín.

El estimativo indica que “en los tres Cates se puede estar moviendo aproximadamente 600 m<sup>3</sup> (alrededor de 900 toneladas) diarios de material, y a través de dos frentes de trabajo que operan por los principales ejes viales de la ciudad, son recolectados diariamente cerca de 91 m<sup>3</sup> de RCD clandestinos”, es decir, alrededor de 136 toneladas al día. Al revisar el Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos (Pgirs) de Medellín del año 2015, se verificó que anualmente Medellín genera 2.200.000 toneladas de escombros. En cuanto a lugares clandestinos, se han detectado unos 500 sitios afectados por acumulación de escombros, pero oficialmente se habla de 205 puntos críticos. (Catorce 6, 2019)

En la ciudad, para el año 2016 se producían cerca de 12.000 toneladas de RCD, destinados de manera legal e ilegal. De acuerdo con los datos del Plan de Gestión Integral de Medellín, la región del Valle de Aburrá produce, sumado a Medellín 15.000 toneladas diarias, lo que presupone 4.5 millones de toneladas al año. A partir de ello, ha gestado planes de desarrollo municipal, con el fin de reducir y aprovechar los RCD en cerca de un 30%. A nivel general, se evidencia una promoción a nivel municipal y departamental para el aprovechamiento de RCD, principalmente

en la producción de nuevos materiales y/o productos. Lo anterior se suma con el papel que tuvo el Plan de Desarrollo 2012-2016, enfocado, principalmente a la Gestión Integral de Residuos Sólidos.

De acuerdo con dicho plan se diseñaron una serie de proyectos, orientados, principalmente, a un manejo socioambiental de las obras públicas. Es importante determinar que no todo el RCD de Medellín ha sido analizado, dado que se reconoce que un 30 % está en manos de ilegales. Dentro de los prestadores reconocidos por Resolución se encuentra, Sin Escombros S.A.S, Construcción Sin Escombros S.A.S, Agregados ARGOS S.A.S. Es de relevancia mencionar que, en el Departamento de Antioquia, de manera general, existe un número significativo de empresas dedicadas y avaladas para el aprovechamiento de RCD, tanto de materiales como concreto, como maderas.



Figura 30 Transporte informal de escombros en los diferentes puntos de acopio de residuos en Medellín.

Fuente: El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/surge-polemica-entre-los-escombros-de-medellin-280496>

**Tabla 13 Listado de gestores de residuos de construcción y demolición inscritos en el área metropolitana el valle de aburrá.**

Razón Social	Contacto	Dirección	Municipio	Punto Limpio	Planta de Aprovechamiento	Sitio de Disposición Final	Capacidad punto limpio (ton/mes)	Capacidad planta de aprovechamiento (ton/mes)	Capacidad sitio disposición final (ton/mes)
Cano Pérez Diego Armando - Excedentes DyJ	313 7881 097	CRA 52 N°104 – 03	Medellín	Sí			1		
Comercializadora de Reciclaje BEN-YA S.A.S.	229 29 59	Carrera 52 # 100 B - 74	Medellín	Sí			35		
CONASFALTOS S.A.	4000000	Diagonal 51 N°15 A-161 Autopista Norte Km 12	Bello			Sí			969.969
CONSTRUCCION CON ESCOMBROS SAS -CONESCO S.A.S.	3185777713	Diagonal 51 N°15 A-161 Autopista Norte Km 12	Bello		Sí			41.600	
INDUSTRIAL CONCONCRETO S.A.S	2890060	Calle 5B N°21-24	Girardota			Sí			100.000
KONTROLGRÜN S.A.S	2701396	Carrera 45 N°34 Sur 57	Envigado		Sí - Móvil			1300	
Luz Enith Arcila Nieto - Excedentes Arcila	310 437 81 25	Cra 65B N° 26 - 34	Medellín	Sí			60		
RECICOLPROS S.A.S.	3103417573	Calle 41 # 82-122	Copacabana	Sí			30		
RESICONSA	3117652838	Carrera 48 - 68 Sur 35	Sabaneta	Sí			30		

Fuente: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/Paginas/RCD.aspx>



Cali genera cerca de 2480 metros cúbicos al día de RCD para el 2016, lo que establece ser la tercera ciudad con más porcentaje de RCD, no solo de constructoras, sino también de obras públicas. De acuerdo con Bermejo (2016), se ha incrementado el porcentaje por la construcción del sistema de Transporte Masivo Integrado de Occidente (MIO). Siguiendo a Ortega et al. (2016), los impactos ambientales de los RCD en Cali han gestado el interés municipal por lo cual se han establecido una serie de Decretos para su control y manejo, como lo son el 291 de 2005 y el 459 de 2004, principalmente. (Bermejo Urzola, 2016)

A lo anterior se le suma lo consignado por parte de Jiménez et al (2019), donde se establece que, de acuerdo con la norma NTC 174 y la NTC 4026, los agregados en Cali, como los ladrillos fabricados por las empresas dedicadas al aprovechamiento cumplen con las características necesarias para la construcción como las resistencias propias para el consumo. Es importante destacar el Decreto 4112 de 2018, donde se consolida de manera oficial el proyecto DAGMA (Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente) que reconoce legalmente a los gestores y lectores de RCD, ejemplo de ello es MAECOL S.A.S, quienes transforman los materiales en productos ecológicos (Sánchez, 2019).



Figura 31 Situación de la escombrera de la carrera 50 en Cali.

Fuente: El País. <https://www.elpais.com.co/cali/genera-casi-un-millon-de-toneladas-de-escombros-al-ano-advierte-sociedad-de-ingenieros.html>

Diego Fernando Benavides, líder del grupo de Gestión de Residuos Sólidos del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (Dagma), explicó que el problema de los RCD en la capital vallecaucana lo causa las pequeñas obras o las domiciliarias que son el 22%, “de esta cantidad aproximadamente el 60% está siendo llevado a la estación provisional de la carrera 50 con autopista Simón Bolívar -actualmente clausurada-, desde allí se garantiza la disposición final de estos residuos, el 40% restante son las que se están depositando en las zonas verdes y en el Jarillón del río Cauca”.

Por el momento las escombreras de la 50 y de Candelaria son los sitios permitidos por el Dagma, pero la Unidad Especial de Servicios Públicos de Aseo (UESP) adelanta los estudios de los lotes potenciales para trasladar el centro receptor de RCD y acabar con los 134 puntos críticos de disposición ilegal que tiene la ciudad. (Catorce 6, 2019)

En el mismo orden de ideas, Cartagena destina a la generación cerca de 178.699 toneladas por el año, cerca de 500 toneladas al día. En la ciudad, la autoridad que controla y maneja los procesos es la Autoridad Ambiental de Cartagena, quien se ha preocupado por el aumento significativo de los mismos dado el aumento a la ocupación y las alteraciones dadas a las fuentes hídricas de la región, lo cual genera un problema mayor en épocas de lluvias. A partir de la Resolución 130 de 2015, se reconoce al Establecimiento Público Ambiental de Cartagena – EPA, como la entidad reguladora para la implementación.



Figura 32 RCD en la ciudad de Cartagena. Fuente: El Universal.  
<https://www.eluniversal.com.co/cartagena/plan-de-manejo-de-escombros-para-generadores-transportadores-y-receptores-198903-ICEU299625>

**Tabla 14 Listado de gestores de residuos de construcción y demolición - RCD inscritos en la corporación autónoma regional del Valle del Cauca, 2018.**

No.	RAZÓN SOCIAL	NÚMERO DE CONTACTO	DIRECCIÓN OFICINA PRINCIPAL	ACTIVIDAD EJECUTADA POR EL GESTOR	MUNICIPIO	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO RCD (Ton/mes)	CAPACIDAD DE APROVECHAMIENTO RCD (Ton/mes)	CAPACIDAD DE DISPOSICIÓN FINAL RCD (Ton/mes)	CAPACIDAD TOTAL PARA DISPOSICIÓN FINAL RCD (Toneladas)
1	GRUPO DE OCCIDENTE S.A.S.	(2) 448 40 08 - 311 771 0539	Calle 6 N° 109 - 50 Cali	Almacenamiento en Punto Limpio y Disposicion Final de RCD	Candelaria	307,200	0	307,200	715,008
2	SUMINISTRAMOS Y CONTRATAMOS	2) 384 80 23 - 314 809 5541	Calle 70 N° 12B - 77 Cali	Almacenamiento en Punto Limpio y Disposicion Final de RCD	Candelaria	2,800	2,800	2,800	40,600
3	SUMINISTRAMOS Y CONTRATAMOS	2) 384 80 23 - 314 809 5541	Calle 70 N° 12B - 77 Cali	Almacenamiento en Punto Limpio y Disposicion Final de RCD	Candelaria	2,800	2,800	2,800	68,000
4	MATERIALES ECOLÓGICOS DE COLOMBIA S.A.S.	2) 345 03 54 - 316 4335058	Transversal 30 No. 17F-22 Santiago de Cali	Almacenamiento en Punto Limpio y Aprovechamiento de RCD	Yumbo	900	240	0	0
5	DIEGO FERNANDO LÓPEZ	3146815364	Predio el Socavón, Calle 64 # 41-221 Barrio Coronado.	Almacenamiento en Punto Limpio y Disposicion Final de RCD	Palmira	30,000	0	45,000	403,960
6	MAXIMINA GALARZA GALLO	3155209377	Predio ubicado en la Carrera 43 # 64-131 Barrio Coronado.	Almacenamiento en Punto Limpio y Disposicion Final de RCD	Palmira	30,000	0	40,000	274,442
7	ARQUITECTURA MODERNA AMBIENTAL E.S.P S.A	3154843288	Calle 6 No. 5-52 Santiago de Cali	Almacenamiento en punto limpio, aprovechamiento y disposición final de RCD	Candelaria	45,000	15,000	45,000	181,726

Fuente: <https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-10/Consolidado%20Gestores%20RCD%20Octubre%202018.pdf>

Siguiendo los planteamientos de Ortega et al (2019), Santa Marta a través del DADMA, autoridad encargada de los RCD, se ha gestado proyectos para mitigar el impacto ambiental, acorde con la normatividad vigente. Si bien se reconoce el problema ambiental, de acuerdo con la Corporación Ambiental del Magdalena, en su página oficial, a la fecha del 20 de junio de 2019 no se encontraba un listado de gestores RCD inscritos, por lo cual se desconoce información sobre el papel que se cumple en aquel lugar.

Es importante reconocer que la última actualización de esta información se estableció el 17 de marzo de 2021. Cabe mencionar que no se encontró documento oficial que brindara información sobre el número que se produce. (Ortega, y otros, 2016)

Siguiendo con el orden de ideas, Barranquilla ha establecido un crecimiento acelerado, el cual ha generado un número significativo de RCD. En la actualidad, la empresa de Alcantarillado es aquella encargada para la recolección, tanto a nivel manual como mecánico. De acuerdo con Ortega et al. (2016), en la ciudad se producen cerca de 1000 metros cúbicos de escombros cada mes, lo que se considera a 12000 metros anualmente. El principal inconveniente que se ve en esta ciudad es la alta demanda de recolectores ilegales, por lo que los residuos son guardados por personas que no cuentan con una licencia, lo que puede traer problemas adicionales, como son los de seguridad y salud. Actualmente, a partir del proyecto Barranquilla Verde, se ha entablado un proceso de Registro de Generadores y Gestores de Residuos de Construcción y Demolición RCD. Este reglamenta los procesos de construcción y demolición, entre otros elementos. (Ortega, y otros, 2016)


Al igual que la autoridad de Medellín, Barranquilla Verde, establecimiento público ambiental del Distrito, dijo no poseer estadísticas precisas, pero se refirió al Conpes 3874 del 21 de noviembre de 2016, que presentó una generación anual de 18 mil toneladas para el año 2011 en la ciudad.


En un comunicado, la entidad respondió que el Departamento Administrativo y Técnico del Medio Ambiente de Barranquilla (Damab), en liquidación, autorizó a la empresa Triple A las actividades de nivelación y relleno con material RCD, y según lo informado por la Alcaldía de

Barranquilla en su Pgers del año 2015, mensualmente el operador entrega en promedio 236 toneladas para ser dispuestos en el Relleno Sanitario Parque Ambiental Los Pocitos. (Catorce 6, 2019)

En relación con el concreto, presenta la característica de ser un material que puede ser mezclado con otro tipo de elementos, modificando con ello sus propiedades y características. En el caso de los RCD, se conoce como concreto reciclable. Este se desarrolla a partir de un proceso de trituración, inicial, que inciden en la textura y en la manera sostenible de acercarse al mismo. Dado su nivel de trituración, puede ser grueso o delgado, variando las características granulares.

Pese a las regulaciones y controles de las autoridades del medio ambiente a los RCD, la solución no parece estar en la idónea disposición, debido al crecimiento en el desarrollo constructor de la nación, al desorden de recolectores informales y a los esfuerzos que confronta la minería. El problema es muchísimo más de fondo, pues no solo se trata de recolectar, mover y enterrar dichos desperdicios, sino del modelo debido a que bien tienen la posibilidad de ser reciclados, así como lo hicieron los romanos en Europa. (Catorce 6, 2019)

**TONELADAS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIONES Y DEMOLICIONES POR AÑO** 

	CIUDAD			
	BOGOTÁ	MEDELLÍN	CALI	BARRANQUILLA
 <b>LEGALES</b>	8.326.626 tons	1.827.040 tons	432.000 tons	15.168 tons
 <b>ILEGALES</b>	3.673.374 tons	372.960 tons	288.000 tons	2.832 tons
<b>TOTAL DE RESIDUOS / Construcciones y Demoliciones</b>	<b>12.000.000 tons</b>	<b>2.200.000 tons</b>	<b>720.000 tons</b>	<b>18.000 tons</b>
	BOGOTÁ	MEDELLÍN	CALI	BARRANQUILLA
 <b>SITIOS LEGALES DE DISPOSICIÓN</b>	4	1	2	1
 <b>BOTADEROS ILEGALES O PUNTOS CRÍTICOS</b>	368	205	134	26

*Figura 33.* Toneladas de residuos de demoliciones y construcciones por año. Fuente: <https://www.catorce6.com/actualidad-ambiental/habitat/12015-ciudades-llenas-de-escombros>.

De acuerdo a Orrego, en su documento Análisis de la generación de residuos de construcción y demolición en un proyecto institucional en el año 2019, el rápido crecimiento de la población mundial conlleva múltiples desafíos, especialmente en la conservación del medio ambiente. La existencia de problemas como el acceso a recursos básicos como agua potable, alimentación saludable y una adecuada gestión de residuos sólidos, constituyen los mayores retos actualmente.

Según Minambiente (2019), en Colombia los residuos de construcción y demolición (RCD), constituyen en promedio el 40% de los residuos sólidos generados, con una producción media de RCD de 22'270.338 ton al año. En Colombia, es preocupante las cifras encontradas, y por lo tanto, en el año 2017 se expidió la Resolución 0472 de 2017, cuyo objeto es la gestión integral de los RCD por parte de los actores que intervienen en la construcción, transporte, reaprovechamiento y disposición final de residuos.

Como conclusión en el desarrollo de este objetivo, y a pesar de los resultados obtenidos, se presenta incertidumbre en la autenticidad y actualización de la información ya que, en varias de las ciudades evaluadas, los datos encontrados eran de hace más de cinco años, e inclusive, algunos eran de hace diez años. Esto es un problema, porque a pesar de realizar una amplia búsqueda de información, en algunos casos no hay documentos oficiales que reflejen los datos numéricos actualizados respecto a la generación de residuos de construcción y demolición.

Por lo tanto, el cumplimiento de este objetivo se ve afectado debido a la falta de información y a la desactualización de los datos respecto a la generación y re utilización de los residuos de construcción y demolición en Colombia. Debido a esto, es importante generar un llamado a las entidades encargadas de realizar la recopilación y análisis de datos relacionados con los RCD para que de manera periódica, se tenga un análisis estadístico respecto al crecimiento, control y seguimiento a los generadores y gestores de los residuos de construcción en el país.

### 5.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE FABRICACIÓN DE CONCRETO CONVENCIONAL Y CONCRETO CON APROVECHAMIENTO DE RCD.

Desde el punto de vista normativo, la disposición de RCD se rige a partir de un Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición, como de normativas locales-distritales. Lo anterior presupone una legitimidad en el aprovechamiento, y más en el caso que se vive en torno al aumento del uso y explotación de recursos. De acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017), en el sector de construcción se puede desperdiciar cerca del 20 % de los materiales, lo que es una mirada limitada, si se compran con cerca del 2 % de residuos aprovechados.

A partir de esta información consignada, y conforme a lo establecido en la Resolución 472 de 2017, el aprovechamiento de RCD parte de una mirada educativa como tecnológica. En el primer caso, se procede a modificar las prácticas de clasificación de material, como de crear, a partir de ello, acciones de disposición final legales que cumplan con los requisitos básicos, sin importar si se gesta o no el aprovechamiento. Cuando se llegue a este último esquema, se implementa una recuperación del material, como lo hace la empresa CEMEX, líder en el tratamiento y aprovechamiento de residuos para la creación de bases granulares. La siguiente tabla determina la tendencia que se implementa con la recolección y aprovechamiento del cemento y concreto.

**Tabla 15 Tendencia de recolección y aprovechamiento de cemento y concreto.**

<b>Tendencia</b>	<b>Producto/servicio</b>	<b>Atributos</b>	<b>Beneficios</b>
Cemento y concreto	Cemento/concreto a base de cenizas volantes o materiales reciclados	Cementos y concretos que en lugar de implementar cemento portland como agente de unión, emplean cenizas volantes o escorias de alto horno.	Reduce el consumo de energía y las emisiones de gases invernadero asociadas a la producción de cemento.

	Concretos permeables o porosos	Combinación de agregado grueso, cemento y agua que favorece la creación de una estructura de tipo porosa que permite el paso de agua a través de él.	Permiten la filtración del agua al subsuelo, reduciendo el escurrimiento superficial, evitando la contaminación, el encharcamiento y la erosión de áreas aledañas.
	Concretos CSA (Sulfoaluminatos de Calcio)	Concretos fabricados con materiales reciclados de aluminio y yeso sintético, que reemplaza el uso de bauxita y minas de yeso	Reemplazo cemento Portland ordinario. Concreto de fraguado rápido.
	Fibrocemento	Materiales compuestos de cemento reforzados con fibras tales como acero reciclado, vidrio y filamentos de carbono.	Disminuye la huella de carbono, al necesitar menos temperatura de quema de caliza y yeso.
	Concretos con RCD (Residuos de construcción y demolición)	Hormigones de hasta 50 N/mm <sup>2</sup> con un 20 % de árido grueso reciclado procedente de hormigón puede presentar una calidad admisible para su uso como hormigón estructural.	Sustitución de agregados no renovables

Fuente: Tomado y modificado de Durán y Garzón (2016, pp. 43-44)



Esta tabla permite comprender que existen diferentes productos/servicios desarrollados a partir del aprovechamiento del cemento y concreto. De manera particular, aquellos determinados a partir de RCD se utilizan para actividades vinculadas en la construcción de hormigón estructural.

Retomando a CEMEX, de acuerdo con lo consignado en el Primer Foro Internacional para la Gestión y Control de los Residuos de la Construcción y Demolición (RCD), ha desarrollado un proceso de servicio sostenible, donde a partir de la elaboración de productos, entablan soluciones para gestionar su huella ambiental, como le dan al producto una creación de valor para las comunidades donde opera local como nacional. Dada la naturaleza de la empresa, se ha entablado una serie de estadísticas para la generación de RCD, destinando un aumento tanto en la producción estimada de escombros. Cabe destacar que, de acuerdo con CEMEX, el material aprovechable sigue siendo mínimo y no responde de manera directa con las necesidades del sector. (Cemex, 2019)

Siguiendo los planteamientos de Vega (2012), los RCD en Bogotá, como caso puntual, se determinan a partir de inertes pétreos asfálticos, inertes arcillosos, no peligrosos (Madera, plásticos, PVC), RESPEL (Asbestos/amiantos), metálicos y otros de horizonte orgánico (ej. Tierra negra). En este sentido, la producción mayor se concentra en arcillas (cerca de un 72 %), inertes pétreos no asfálticos (20 %) y elementos de horizonte orgánico (6 %); respectivamente. Ahora bien, en relación la recepción de RCD, el aprovechamiento se centra en mampostería y concreto; el primero ha disminuido durante los últimos años, mientras el aprovechamiento en torno al aprovechamiento del concreto es mayor; aunque no con resultados tan altos como aquellos de la mampostería. (Vega García, 2012)

Otro elemento que se logró determinar a partir de la búsqueda de empresas es que la implementación de los RCD no solo se incorpora concretos, sino también otro tipo de elementos. El resultado de estos implica un proceso de reducción de la huella ambiental, determinado, por diferentes beneficios. De acuerdo con Vega (2012), siguiendo el ejemplo de CEMEX, por cada tonelada aprovechada se reduce el deterioro de pavimentos, hay menos accidentes y menos congestión, entre otras acciones vinculadas con costos de transporte, principalmente por el ahorro

de combustible y tiempo. Es importante determinar que la tierra negra, mencionada con anterioridad, es utilizada, en algunos casos, para los cultivos orgánicos, determinando con ello una recuperación del uso del suelo. (Vega García, 2012)

Si bien no se identifica una comparación de costos de fabricación, se evidencia que cada empresa, dependiendo de su tamaño varía el costo. Además, no todas las empresas analizadas en el RCD, como se mencionó párrafos atrás, se relacionan con la implementación y producción de concretos. Cabe mencionar que, las empresas seleccionadas tienen como pilar la sostenibilidad, donde la idea es la integración de un proceso social, ecológico y económico, que permita, a partir de la conformación de un ambiente soportable, viable y equitativo el camino hacia la sostenibilidad.

Retomando los planteamientos de Cabrera y Palacio (2020), para la conformación para la obtención de la información, como de la información de generación, reutilización y uso de RCD en Colombia, el costo se determina a partir de la recopilación del material, una inspección visual y un pesaje del camión que recoge los RCD. A partir de ello, se fija un costo de gestión, como de las acciones pertinentes para su conformación y manejo, puede ser tratado a partir de una separación manual o mecánica. Lo anterior determina que los gastos varían de empresa a empresa, como de infraestructura, características de mantenimiento, entre otras. En la búsqueda no se logró determinar información clara sobre el proceso, sumado a las características propias de los ensayos granulométricos de cada empresa. (Cabrera & Palacio, 2020)

A continuación, siguiendo los planteamientos de Cabrera y Palacio (2020) se entabla una comparación de precios de 4 empresas dedicadas a la RCD en la ciudad de Bogotá, que son Ciclomat, Indural, Invias y el IDU; cabe mencionar que esta comparación no está integrada dentro de la búsqueda, dado que existen miembros que no corresponden a centros de tratamiento privados. De manera adicional, la comparación no fue posible en su totalidad, dado que existen diferentes referencias, como elementos particulares de cada una de las empresas. De acuerdo con la siguiente tabla, se evidencia un valor promedio de 26.872 por el producto de bordillo. (Cabrera & Palacio, 2020)

**Tabla 16 Comparación de productos prefabricados por unidad. Empresas colombianas.**

<b>Producto precio por unidad</b>	<b>Ciclomat</b>	<b>Indural</b>	<b>Invias</b>	<b>IDU</b>	<b>Propuesta de Soto et al. (2018)</b>
Bordillo a-80	\$28.125				
Adoquín peatonal	\$823				
Bordillo rectangular recto		\$30.133			
Indupiso 8 X 20 X 20 gris		\$1.866			
Bordillo prefabricado en concreto ref. A85 ntc-4109, 0,20 x 0,35 x 0.80 m			\$24.731		
Adoquín color 10x20x6			\$1.466		
Adoquín e=8cm			\$1.564		
Adoquín grama 10x20x6			\$1.367		
Adoquín gris e=10 cm			\$1.564		
Bordillo prefabricado a80 (800x200x350mm)				\$24.500	
Adoquín en concreto color ocre 200 x 100 a25 - adoquín en concreto de				\$837	

10x20x6cmcolor ocre					
Adoquín de concreto (200x100x80mm)				\$941	
Adoquín de concreto (200x100x80mm) color				\$1.020	
Triturado de hormigón (0-20 mm)					\$21.178
Triturado de hormigón (0 – 40 mm)					\$29. 586
Grava de hormigón (20-40 mm)					\$29.568
Cerámico – hormigón (0 – 40 mm)					\$24.474
Cerámico – hormigón (20 – 40 mm)					\$16.984
Material para relleno (0 – 6 mm)					\$16.385

Fuente: Tabla de precios por unidad de prefabricados de construcción de la competencia para Cabrera y Palacio (2020) con modificación.

Dicha tabla responde a un mercado en crecimiento, con características diferentes. Es importante determinar que los productos comparados, determinados por diferentes características, considerando que cada empresa tiene un valor especial para sus productos. Además, es importante determinar aquellos elementos generales y considerados como gastos fijos, los cuales afectarían el contenido general de los productos. En el caso particular, implicaría seguir los lineamientos de los lineamientos internacionales para la gestión y control de los RCD.

Ahora bien, el costo de operación de una empresa dedicada al aprovechamiento de RCD, como se hizo mención, depende de diferentes costos variables (como de su cadena global de recolección, distribución y aprovechamiento). De esta manera, siguiendo a los autores, el consumo se determina a partir de llantas, lubricantes, filtros, mantenimiento y reparación, lavado y engrases e imprevistos; los anterior, asociados con el tipo de terreno. Además, es determinante tener en cuenta los impuestos y detalles pertinentes para la empresa, determinados, principalmente por ICA, IVA, Retención en la fuente, predial y maquinaria. A continuación, se presenta una tabla que rige ello. (Sosa, Vergara, Leuro, & Cepeda, 2018)

**Tabla 17 Impuestos adoptados a nivel empresarial determinantes en los costos.**

<b>Impuesto</b>	<b>Detalle</b>	<b>Porcentaje</b>
ICA	Código CIU 5155	11, 04 %
Renta	Artículo 100 de la Ley 1819 de diciembre de 2016	33 %
IVA	Impuesto indirecto nacional sobre la prestación del servicio	19%
Retención en la fuente	Servicios en general	4%
Predial	Avalúo catastral	10%
Maquinaria	Decreto 1564 del 25 de septiembre de 2017	0%

Fuente: Tabla tomada del documento de Sosa, Vergara, Leuro e Isidro (2018, p. 61).

Siguiendo la línea argumental, los costos diferenciales de fabricación de concreto entre la mirada convencional y el que implementado por RCD (reciclado) se modifica de acuerdo con el desarrollo de la construcción. A continuación, se establece dicha información (Castaño, Rodríguez, Lasso, Cabrera, & Ocampo, 2013):

**Tabla 18** Tabla de valor de un concreto convencional según Lasso y Misle (2012)

<b>CONCRETO CONVENCIONAL</b>				
Materiales	Cantidad		Costo unitario	Costo
	KG	m <sup>3</sup>		
CEMENTO	350.00	0.12	\$ 19.000.00 \$/Bulto	\$133.000.0
AGREGADOS	1750.00	0.70	\$ 34.000.00 \$/ m <sup>3</sup>	\$ 23.800.0
AGUA	175.00	0.18	\$ 1.475.00 \$/m <sup>3</sup>	\$ 255.0
TOTAL	2275.00	0.99		\$ 157.055.0

<b>CONCRETO RECICLADO</b>				
Materiales	Cantidad		Costo unitario	Costo
	KG	m <sup>3</sup>		
CEMENTO	350.00	0.12	\$ 19.000.00 \$/Bulto	\$133.000.0
AGREGADOS	1260.00	0.70	\$ 25.000.00 \$/ m <sup>3</sup>	\$ 17.500.0
AGUA	175.00	0.18	\$ 1.475.00 \$/m <sup>3</sup>	\$ 255.0
TOTAL	1765.00	0.99		\$ 150.755.0

**Tabla 19** Tabla de valor de un concreto reciclado según Lasso y Misle (2012)

Este proceso de comparación, si bien es establecido a partir de una fecha anterior, se establece que el concreto reciclado tiene un valor inferior al convencional, principalmente por los elementos agregados, que son aquellos que disminuyen, principalmente, el valor. En este caso, el valor total se ve afectado, mostrando una disminución significativa superior a 500 pesos. De acuerdo con los autores, los estimados asociados con la generación de ahorros económicos se determinan a partir de una reducción en la búsqueda del material, por lo que la reutilización se comporta.

De acuerdo con los cálculos anteriores, el valor del concreto utilizando materiales reciclados disminuye en un 4,01%.

Los precios de concretos asociados con RCD responden entonces a un 25 % de beneficio económico, pero que a nivel estructural es de 0,97 % implicando que los costos, de manera formal son equivalente, aunque la idea del aprovechamiento, como de la reducción de la huella ambiental se toma como elemento primordial. (Castellanos, Rivera, & Roa, 2017)

La diferencia, para el 2018 entre el total de material granulado natural y el que usa granular reciclado es de 373.930 – 355.272. Lo que confirma un beneficio reducido, pero con acciones significativas dentro del campo del medio ambiente. A continuación, se exhiben las tablas correspondientes. (Villalba, Rodríguez, Moreno, & Cepeda, 2018)

**Tabla 20 Valor de concreto con material nuevo por metro cúbico.**

Material	Und	Cantidad	Valor nuevo	Totales de material nuevo
Agua	lts	216	\$ 20,00	\$ 4.320,00
Arena	M3	0,84	\$ 110.000,00	\$ 92.400,00
Cemento gris	KG	525	\$ 420,00	\$ 220.500,00
Triturado	M3	0,42	\$ 135.000,00	\$ 56.700,00
<b>Valor m3 con material nuevo</b>				<b>\$ 373.920,00</b>

**Tabla 21 Valor de concreto con material reciclado por metro cúbico**

Material	Und	Cantidad de material nuevo	Cantidad de material reciclado 30%	Valor nuevo	Valor material RCD	Valor de total material nuevo	Valor total material reciclado	Valores totales
Agua	lts	216		\$20,00		\$4.320,00		\$4.320,00
Arena	M3	0,588	0,252	\$110.000,00	\$62.000,00	\$64.680,00	\$15.624,00	\$80.304,00
Cemento gris	KG	525		\$420,00		\$220.500,00		\$220.500,00
Triturado	M3	0,294	0,126	\$135.000,00	\$83.000,00	\$39.690,00	\$10.458,00	\$50.148,00
<b>Valor total de m3 de concreto con material reciclado</b>								<b>\$355.272,00</b>

Dentro de este proceso de constitución, se identifica que la implementación del material reciclado debe comprender, por ende, un proceso de integración con otros elementos tradicionales, para dar continuidad a la plasticidad del concreto.

De acuerdo a los resultados obtenidos con el desarrollo de este objetivo, se puede evidenciar que al realizar un análisis comparativo respecto a los costos de producción y utilización

de un concreto elaborado con la inclusión de residuos de construcción y demolición, es económicamente viable la elaboración de una nueva mezcla concreto que utiliza este tipo de residuos como agregado grueso en comparación con un concreto convencional.

De acuerdo con el análisis anterior, el valor por metro cubico de concreto utilizando material reciclado como agregado grueso se disminuye en un 4,99 % su valor comercial.

Sin embargo, es muy importante tener en cuenta los análisis y estudios técnicos que se han realizado a lo largo de los años a este tipo de materiales (RCD) al ser incluidos en nuevas mezclas de concreto o en la fabricación de nuevos productos de construcción, ya que la calidad en los proyectos de obras civiles juega un papel fundamental.

Por otra parte, dentro del análisis económico en la reutilización de los residuos de construcción y demolición, se deben considerar importantes aspectos como la extracción y selección de materiales adecuados para la elaboración de nuevas mezclas de concreto, el transporte desde el punto de generación hasta el sitio de disposición, el tratamiento y análisis de características técnicas que indiquen si el material es apto o no, el proceso de reincorporación y finalmente la distribución y comercialización de los nuevos productos elaborados con base en RCD.

Con lo anterior, es importante tener en cuenta todos estos aspectos ya que, si se suman todas las actividades mencionadas, es posible que la fabricación de un nuevo concreto que incorpore RCD pueda salir más costoso que la elaboración de un concreto convencional. En este caso, se deberá tener en cuenta los aspectos ambientales y sociales que genera el reciclaje y reutilización de materiales al contribuir con la recuperación y mantenimiento del medio ambiente. Este aspecto sería la ventaja de la inclusión de los RCD en caso de no ser económicamente viable.



#### **5.4.DISEÑO DE MODELO GERENCIAL CON BASE EN HERRAMIENTA “MAPA DE FLUJO DE VALOR” PARA GENERAR UNA ADECUADA GESTIÓN DE LOS RCD.**

Con base en la información reunida anteriormente, se procedió a elaborar un modelo de gestión basado en la herramienta gerencial Mapa de Flujo de Valor, el cual permite ilustrar, analizar y mejorar los pasos necesarios para entregar un producto, cuya aplicación principal en este proyecto es la de descubrir desperdicios en el proceso constructivo de obras civiles y la generación de RCD, buscando su adecuado almacenamiento, transporte, clasificación, disposición final y reutilización de estos residuos.

Con base en lo anterior, y como punto de inicio, se construye el mapa de estado actual, con el que, básicamente, se ilustra el proceso general de cómo se hacen las cosas, y a partir del cual se pueden identificar las actividades que generan desperdicios en el proceso.

En este mapa de flujo de valor actual desarrollado (ver figura 26), se evidencia un proceso habitual, en el que el Cliente, en este caso las constructoras, requieren como producto final un concreto convencional, el cual será empleado para los diferentes elementos que requiera la obra. El cliente entrega la programación diaria y/o semanal al control de producción, quien se encarga de comunicar los requerimientos a los proveedores (agregados y planta de pre mezclado) para obtener el correspondiente stock de materiales necesarios para la fabricación del concreto.

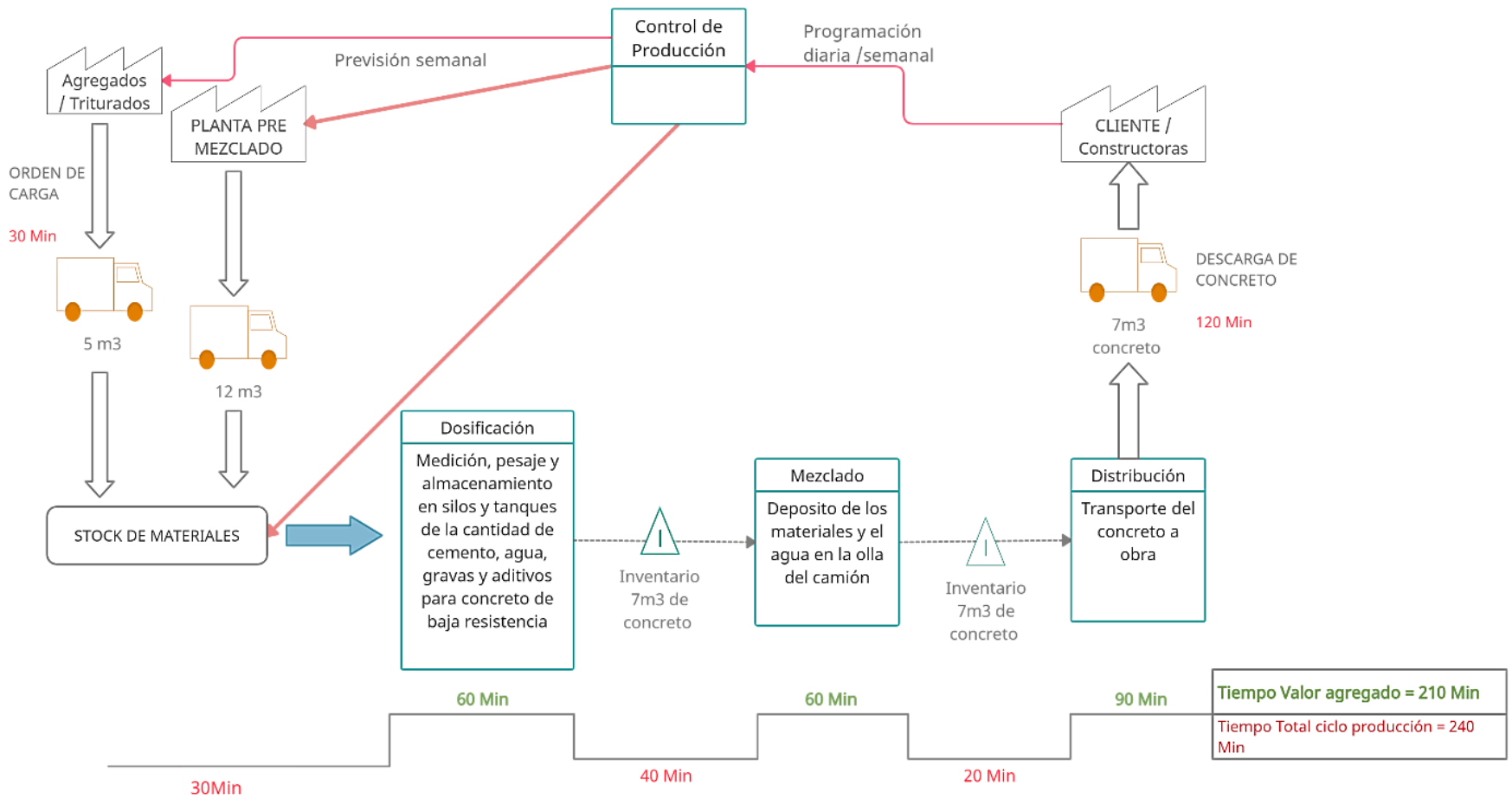


Figura 34 Mapa flujo de valor actual. Elaboración propia.

Existen varios tipos de concretos premezclados que dependen de las características y objetivos específicos, y en este caso, el mapa de flujo de valor se crea para ilustrar el proceso para obtener concretos premezclados convencionales, es decir, que no cuentan con especificaciones especiales, y aplica para construcciones con estructuras sin requerimientos particulares de colocación, como, por ejemplo, cimentaciones poco profundas, andenes, solados, entre otros.

El proceso para la elaboración del concreto pre mezclado convencional, como se observa en el mapa de flujo de valor, inicia con el pedido o solicitud que realiza el cliente, y dependiendo de la resistencia del concreto deseado, se dosifican, de manera automatizada, las cantidades de materiales necesarios (cemento, agregados finos y gruesos, aditivos y agua), debidamente almacenados en silos y tanques, para ser agregados a la olla o mezcladora. Una vez los materiales se encuentren en la olla del camión revolvedor, se inicia el ciclo de mezclado y transporte del concreto hacia el lugar de la obra, y su entrega se realiza directamente en el tramo de construcción o por medio de bombas o estacionarias, dependiendo de las condiciones en la obra.

En el mapa de flujo de valor del estado actual, se evidencian las actividades que agregan valor (VA), como el ciclo de dosificación, mezclado y distribución del concreto convencional, cuyo tiempo equivale a 210 Minutos (3.5 horas), indicado en color verde; y las tareas que consumen recursos, pero no generan valor, como lo son: carga de materiales, almacenamiento (stock de materiales), inventario entre ciclos del producto en fabricación y la descarga del concreto en obra, cuyo tiempo (lead time) son 240 minutos (4 horas), y se visualiza en color rojo en el VSM.

Ahora, y teniendo como base el mapa de flujo de valor del estado actual, se propone el siguiente mapa de flujo de valor en el estado futuro, en el cual se incorporan las actividades para la gestión de optimización y aprovechamiento de los RCD en las diferentes obras de construcción.

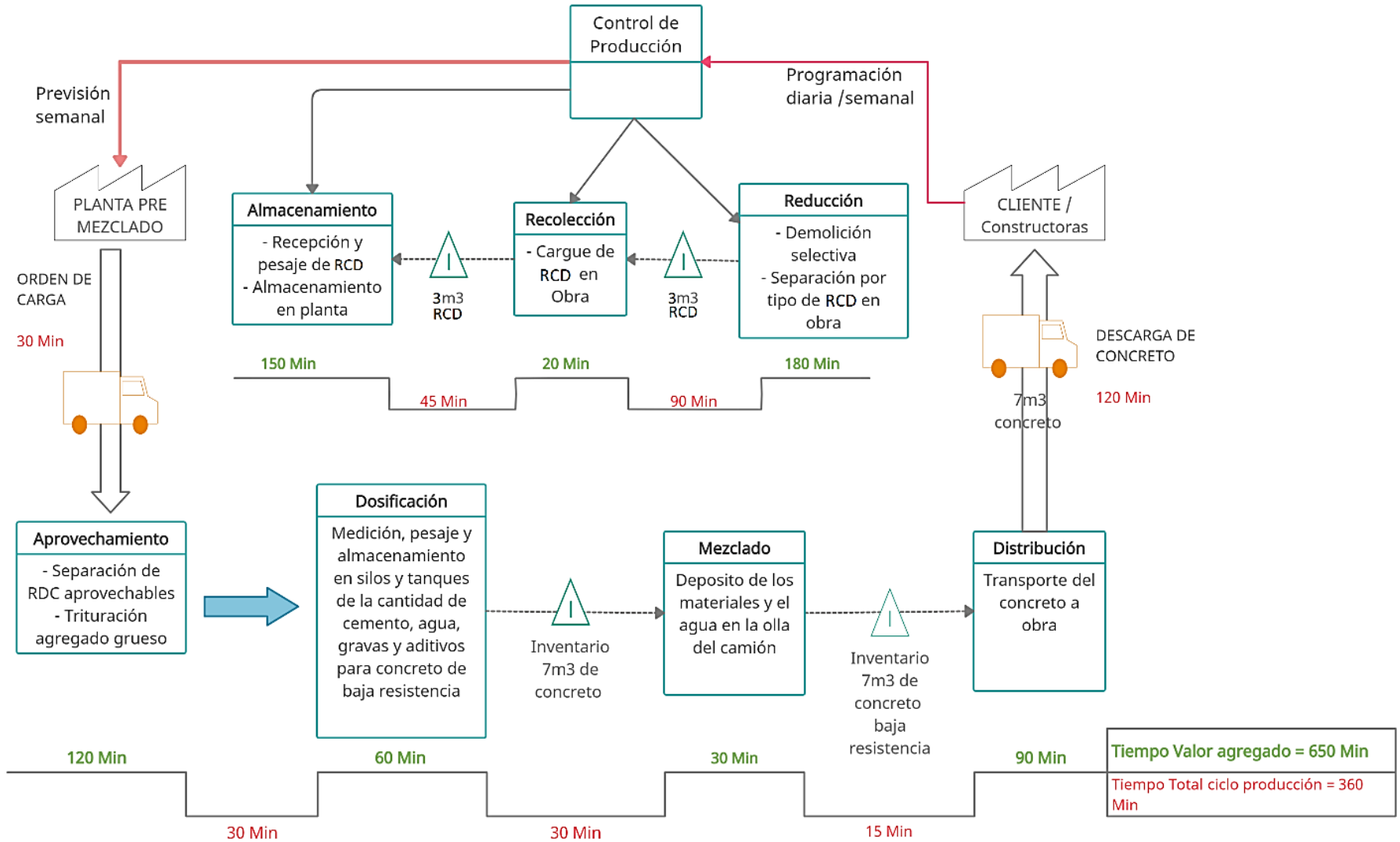


Figura 35 Mapa flujo de valor futuro. Elaboración propia.

El proceso para el aprovechamiento e inclusión de los RCD en la construcción, inicia con la solicitud del cliente, por lo que el primer paso, es la identificación del tipo de infraestructura que se va a desarrollar, bien sea obras para edificaciones, construcción de vías, obras hidráulicas, sanitarias, de contención u otro tipo de obra, y de ese modo, lograr determinar el tipo de RCD que se genera y que se puede aprovechar en este proceso.

Los ciclos que permiten agregar valor al estado actual del proceso, y mediante los cuales se elaboró el mapa de flujo de valor futuro con el que se pretende optimizar la inclusión de RCD en concretos premezclados de baja resistencia, son los descritos a continuación:

- **Prevención y reducción de RCD:** una vez el departamento de control de producción recibe la solicitud del Cliente/constructora, y se identifica el tipo de construcción a ejecutar, se realiza una debida planeación de la obra en cuanto a la cantidad estricta de materiales que se requieren, con la finalidad de evitar mayores pérdidas de materiales.

Si en la obra que se proyecta ejecutar se requieren demoliciones o excavaciones, el objetivo con este modelo gerencial basado en una metodología lean manufacturing, es aprovechar los RCD para las diferentes fases de construcción, reduciendo la generación de residuos, reutilizando aquellos materiales que normalmente son desechados y dispuestos, en el mejor de los casos, en lugares autorizados legalmente; y agregar valor a los elementos a construir al representar una disminución de impactos sociales y ambientales.

Por lo anterior, es indispensable efectuar una demolición selectiva, la cual consiste en una separación cuidadosa de los materiales con características aprovechables, como concretos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, mortero y materiales inertes que no sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría (1), y así, disminuir el volumen de residuos, lo que se traduce en ahorros económicos asociados al transporte y disposición de los mismos en escombreras. Además, practicar esta demolición y separación selectiva de los RCD en obra, en vez de implementar métodos tradicionales de demolición, descarta la

necesidad de realizar la selección en una planta de reciclaje, y a su vez, es posible obtener mayor calidad de los materiales.

El material seleccionado se debe clasificar y almacenar temporalmente en obra, en un lugar apropiado destinado para tal fin, debidamente identificados como residuos ordinarios, aprovechables o peligrosos, y con ello, se levanta el inventario de los RCD que serán reutilizados en los ciclos siguientes. Los residuos que no son susceptibles a un aprovechamiento en el proceso de fabricación de concreto de baja resistencia, serán tratados y dispuestos legalmente.

En aras de incentivar y tener un resultado favorable en el proceso para el aprovechamiento de los RCD en las obras de construcción, se plantea el indicador de separación efectiva de los residuos, siguiendo la siguiente fórmula:

$$\% \text{ RCD separados} = \frac{\text{Cantidad RCD Separado}}{\text{Total RCD generados}} * 100$$

De este modo, el indicador permitirá comprobar la optimización de los residuos de construcción y demolición aprovechables, y la eficiencia dentro del proceso.

- **Recolección y transporte de los RCD:** los RCD almacenados e inventariados son recolectados y transportados a una planta para su posterior aprovechamiento. Para el debido transporte se debe cubrir el material en aras de evitar la dispersión de partículas y el contacto con la lluvia.
- **Almacenamiento:** Los RCD aprovechables se almacenan en una planta temporal, en donde se pesan y cuantifican los materiales nuevamente, para proceder con su trituración.
- **Aprovechamiento:** desde control de producción se realiza la solicitud al proveedor, que en este caso será una planta de pre mezclado, con quien se optimizará el uso de RCD para

la fabricación de concreto de baja resistencia. En la planta de pre mezclado se debe disponer de sitios para el aprovechamiento de RCD, en donde se recibe el material previamente clasificado, y se procede con el pesaje con el fin de confirmar las cantidades con las que se dispone para el proceso de reutilización.

Cuando el material se encuentra pesado y dispuesto en el punto de acopio, se da una orden de carga de este material a la trituradora, en donde se obtendrá agregado grueso reciclado, apropiado para la mezcla de concreto, y que permitirá minimizar la explotación de agregados y, por ende, reducir el impacto ambiental.

El material RCD triturado como agregado grueso, se conduce al sitio en donde se almacenan las materias primas para la elaboración del concreto, evitando la pérdida de material.

Como medidor en este paso se plantea el siguiente indicador, el cual permite verificar porcentualmente la cantidad de RCD realmente aprovechados para la fabricación del concreto de baja resistencia:

$$\% \text{ RCD aprovechados} = \frac{\text{Cantidad RCD aprovechados en fabricación concreto}}{\text{Total cantidad RCD generados}} * 100$$

La medición de este indicador es importante dentro del proceso, pues, además de conocer la cantidad de RCD reutilizados para la elaboración del concreto, permite tomar medidas y las estrategias necesarias para optimizar el aprovechamiento de los materiales sobrantes que no pudieron ser transformados en un producto final.

- **Dosificación:** en la planta de pre mezclado, una vez triturado el material para la obtención de agregado grueso, se procede con la correspondiente dosificación de materias primas para la elaboración de concreto convencional de baja resistencia, como: cemento, grava gruesa (producto del aprovechamiento de los RCD y agregado obtenido de explotación de

canteras), agua y aditivos. Estos materiales son pesados de forma automática y almacenados en silos y tanques.

Este ciclo, a diferencia del indicado en el mapa de flujo de valor del estado actual, incluye la adición del RCD como parte esencial en la elaboración del concreto, por lo que es una actividad que aporta gran valor al proceso, pues reduce la generación de desperdicios.

- **Mezclado:** los materiales dosificados en el ciclo anterior, son depositados en la olla del camión revolador (mixer), y se toma el inventario de la cantidad de concreto que se va a despachar al Cliente. El ciclo de mezclado inicia una vez se añade el agua a los demás elementos.
- **Distribución:** cuando inicia el mezclado de los elementos, la olla del camión mixer debe estar en constante movimiento mientras el concreto se transporta, y éste debe ser entregado en el menor tiempo posible, dependiendo de las holguras que especifique ese tipo de concreto.
- **Entrega:** consiste en la descarga del concreto en obra, bien sea descarga directa en la estructura a construir, o por medio de bomba o estacionaria, cuando la mixer no tiene acceso hasta el punto de fundida.

Estos últimos ciclos son similares a los descritos en el mapa de flujo de valor actual, pero generando el respectivo aprovechamiento a los RCD y obteniendo como resultado un producto con menos impacto ambiental y que permite un ahorro en términos económicos, como se expresó en el anterior objetivo del proyecto.

El cliente podrá realizar su pedido diario o semanal del concreto pre mezclado de baja resistencia con RCD, y el tiempo para su entrega será igual al que se cuenta en la actualidad, siempre y cuando en la implementación de esta metodología de optimización en la inclusión de RCD en la fabricación del concreto, se maneje un stock de RCD debidamente clasificados,



separados y almacenados temporal en la obra, pues de no ser así, se incrementaría el tiempo de producción al requerirse un mayor número de actividades o ciclos.

La inclusión de actividades en el mapa de flujo de valor futuro para la fabricación del concreto pre mezclado, implica la utilización de más recursos humanos, sobre todo en las tareas de demolición selectiva, separación de RCD aprovechables, pesaje y almacenamiento de los residuos, sin embargo, son ciclos que aportan valor agregado al proceso, al permitir una reducción de costos en las materias primas por la reutilización de desechos, y, además, generar valor a intangibles asociados a la disminución del impacto social, paisajístico, ecológico y ambiental.

Una vez obtenido el mapa de valor futuro, y analizado cada uno de las etapas que componen el proceso, se complementa el resultado del VSM con la implementación de la metodología Kanban, como herramienta de Lean Manufacturing y líder en métodos ágiles, en aras de presentar mejoras en el proceso productivo para la inclusión de RCD para la producción de concreto de baja resistencia, como se menciona a continuación:

- Agregar más valor al cliente sin generar mayores gastos.
- Controlar el inventario de RCD generado en las etapas de reducción, recolección y almacenamiento.
- Satisfacer la demanda del Cliente (Constructoras) en toda la línea de producción para concretos convencionales de baja resistencia.

En el mapa de flujo de valor futuro se observan los ciclos que más tiempos muertos representa en el proceso, y que no añaden valor agregado al Cliente. Estos son los inventarios de los productos de la demolición selectiva de la etapa de reducción, y el inventario de los RCD recolectados que van a ser debidamente almacenados antes de ser entregados a la planta de pre mezclado de concreto. Los inventarios, a pesar de que no generan valor agregado dentro del proceso de inclusión de los RCD, son los que garantizan la disponibilidad de una de las materias primas para la elaboración del concreto de baja resistencia con RCD, y permiten dar continuidad a las etapas del proyecto.

A partir de esto, el uso del tablero Kanban, permitirá visualizar la agilidad de cada tarea en el flujo de trabajo, por medio de tarjetas Kanban. El tablero puede dividirse, inicialmente, en 3 columnas que indiquen aquellas actividades que están por hacer, las que ya se encuentran en procesamiento y las tareas que ya cumplieron su objetivo. Con este método será posible una comunicación del progreso de las tareas en cualquier momento y lograr una visualización de los posibles atrasos, bloqueos o problemas durante el proceso.

Como se mencionó, para la aplicación del método Kanban se emplean tarjetas, que contienen información y especificaciones del trabajo que se espera en cada etapa del proceso, y cada una estará asociada a un ciclo o inventario específico, de este modo, cuando inicia la demolición selectiva para reciclar los residuos aprovechables, se toma una tarjeta del tablero y se ubica en el primer lote de producción. Las tarjetas Kanban pueden ser tanto de producción como de retiro.

**Kanban de producción:** señala y advierte las especificaciones del producto, como una descripción de lo que se espera, cantidad, inventario máximo y mínimo a producir.

**Tabla 22:** Kanban de producción Elaboración propia

<b>Proceso</b>	Recolección y transporte de RCD	
<b>Destino</b>	Almacén temporal en obra	
<b>Descripción producto</b>	RCD aprovechable para fabricación de concreto convencional	
<b>Nombre producto</b>	RCD	
<b>Unidad de medida</b>	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )	
<b>Cantidad</b>	3	
<b>Inventario</b>		
<b>Producción mínima</b>	Unidad	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )
	Cantidad	3
<b>Producción máxima</b>	Unidad	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )
	Cantidad	6

**Kanban de retiro:** Indica la cantidad, peso y tipo del producto que debe salir de un ciclo precedente.

**Tabla 23:** Kanban de retiro. Elaboración propia.

<b>Proceso precedente</b>	Prevención y reducción de RCD
<b>Proceso subsecuente</b>	Almacenamiento
<b>Tipo de material</b>	Residuos aprovechables
<b>Unidad de medida</b>	Metro cúbico (m3)
<b>Cantidad</b>	3
<b>Peso por metro cúbico</b>	1.660 kilos (kg)

En el desarrollo de esta metodología Kanban, si se llega a presentar una acumulación de tarjetas en una sola sección del tablero, o en el caso que éstas tarjetas estén entrando a una velocidad mayor que la de salida, se crearán alertas en el proyecto, con el fin de identificar las falencias en pro de una mejora constante de los procesos. Por ello, en este proceso para la inclusión de RCD en la elaboración de concretos de baja resistencia, un material principal en cualquier tipo de obra, es importante que el sistema Kanban envíe a la etapa de “reducción” una alerta de producción, una vez los RCD, debidamente seleccionados, identificados y almacenados temporalmente, sean transportados a la planta de pre mezclado (proveedor), con el propósito de que inicie nuevamente con el proceso de demolición selectiva y separación de los residuos de construcción y demolición, y así evitar la acumulación de stock de RCD en el almacenamiento “temporal” dispuesto en obra, o por el contrario, buscar obtener el stock necesario para cubrir la demanda.

Para conseguir un mayor control en el sistema Kanban, y prevenir la generación de mayores desperdicios de productos de demolición y excavación, es fundamental que:

- Las tarjetas Kanban se muevan de sección en el tablero únicamente cuando la etapa subsecuente tenga las cantidades necesarias de RCDs del proceso anterior en el tiempo requerido. La regla primordial de la metodología Kanban es “justo a tiempo”.

- No se efectúe un sobre stock de RCD, pues esto genera un consumo mayor de mano de obra e implica un tiempo adicional de manejo del almacén temporal en obra de estos materiales.
- No es posible alternar tareas dentro del proceso, pues el mapa de flujo y el tablero Kanban está establecido en una secuencia lógica y funcional, es decir, que las tarjetas siempre deben estar acompañadas del producto conforme de la actividad precedente.
- Las tarjetas Kanban, contienen las especificaciones que deben contener los productos de cada tarea, por lo que la actividad precedente no debe hacer movimiento en el tablero Kanban si el producto no cumple con las especificaciones diseñadas en el proceso.
- Todas las etapas deben mantener los niveles de calidad esperados, de modo que se pueda obtener un concreto convencional de baja resistencia adecuado y en óptimas condiciones de aplicabilidad. Es complejo emplear la metodología Kanban si no existe un proceso de alta calidad en su desarrollo.
- El proceso para la elaboración del concreto pre mezclado, solicitado por el cliente, debe ser atendido de acuerdo con el cronograma y la demanda diaria que compone la producción. La inclusión de RCD en este proceso no permite la atención a solicitudes de urgencia, ya que debe existir una programación con la que se prevé un tiempo de ejecución de cada tarea. Cualquier excepción en el procedimiento puede generar fallas en la producción en diferentes ciclos.

Es importante resaltar que para adoptar la metodología Kanban en este proyecto de inclusión de RCD, se debe cumplir con la cantidad mínima de residuos de construcción y demolición de tal manera que se logre un mayor aprovechamiento de los mismos en la fabricación de concreto pre mezclado de baja resistencia, y así, cumplir con el objetivo de minimizar los impactos socio ambientales, menores costos de materias primas “nuevas”, producto de explotación de recursos naturales, y por ende, un mayor valor agregado al producto final a consumir por las diferentes constructoras en las obras.

## Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones

- El reciclaje del concreto que proviene de demoliciones y nuevas obras de construcción presenta importantes características respecto a la utilización de materias primas naturales. Una ventaja muy importante es que brinda una solución parcial respecto a la eliminación de estos materiales (escombros y material de demolición). De igual manera, al realizar la implementación y puesta en práctica de esta metodología, la cual, por medio del aprovechamiento de estos materiales, se puede reducir considerablemente la cantidad de recursos naturales primarios a extraer, como por ejemplo el material triturado proveniente de canteras.
- El concreto reciclado es una alternativa viable para ser utilizado como concreto de baja resistencia, utilizando los RCD como agregado grueso e incluso agregado fino por medio de trituración de los materiales. Estos residuos se pueden utilizar particularmente en donde los agregados naturales son de difícil acceso y/o tienen que ser transportados a distancias considerables, o simplemente, cuando su disposición final es un problema e implica mayores gastos.

Si se realiza una adecuada gestión en el proceso del aprovechamiento de los RCD, al igual que la aplicación de técnicas gerenciales en esta gestión y complementando este proceso con pruebas de calidad y control a los materiales a utilizar como agregado en nuevas mezclas de concreto, se podrá ver reflejada una nueva técnica constructiva en donde se empleen nuevos materiales de construcción basados en RCD, contribuyendo así en la reducción del impacto ambiental negativo que genera la mala gestión de este tipo de residuos.

- El reciclaje de materiales de construcción es un método que se ha realizado a través de varios años y que a lo largo del tiempo se ha venido implementando con más fuerza teniendo en cuenta la aparición de las construcciones sostenibles o tipo Leed. En la unión

europea ya existen leyes que exigen el uso e implemento de materiales reciclados en nuevas obras de construcción, y sería de gran importancia que en Colombia, a pesar de que ya existe reglamentación en el tema de RCD, se lograra aplicar de manera efectiva las disposiciones, normas y aspectos que exijan una adecuada disposición final de este tipo de residuos y así garantizar un segundo uso de estos materiales con el objetivo de reducir su descontrolada producción y disposición.

- Una estrategia de gran utilidad para realizar una adecuada gestión de RCD en Colombia, podría ser un tipo de incentivo por parte de los entes del gobierno a las empresas constructoras que realicen un adecuado y completo manejo de los RCD por medio de una reducción en los impuestos, o una ventaja o plus a la hora de cotizar nuevos proyectos por medio de concurso de licitación. Esto se puede realizar con ayuda y puesta en marcha del modelo gerencial para la inclusión de RCD en la elaboración de nuevos concretos pre mezclados, inclusive, utilizándolos en las obras de sus proyectos propios empleando estos nuevos concretos para la elaboración de elementos constructivos de baja resistencia tipo andenes, bordillos, pasos peatonales, muros no estructurales entre otros.
- Se logró evidenciar que el costo de producción de nuevos materiales a partir del uso de RCD versus la elaboración de un concreto convencional presenta ventajas económicas ya que los costos son ligeramente menores. Además, estos residuos de construcción presenta una ventaja ya que al ser incorporados en nuevos elementos constructivos, se reduce el impacto ambiental por la generación de escombros, se contribuye con un mejor control y disposición de residuos y finalmente, se genera un valor agregado con la disminución en la explotación de recursos naturales.
- Es importante realizar la implementación de esta metodología basada en el mapa de flujo de valor, ya que en la investigación realizada, no se encontró con una empresa que cumpliera todo el ciclo de gestión en el tratamiento de los RCD, desde su generación y separación hasta la disposición final y re utilización.

- El análisis de los valores reales del costo por metro cubico del concreto utilizando material reciclado como agregado grueso disminuye en un 4,99 % su valor comercial con respecto a un concreto convencional, lo cual es satisfactorio ya que hay relación costo/beneficio en este servicio y un plus en la mitigación del impacto ambiental.
- La aplicación del mapa de flujo de valor, como herramienta Lean Construction en el proceso para la optimización y aprovechamiento de los RCD en la elaboración de concretos pre mezclados, permitió visualizar la situación actual (producción de concreto convencional sin reutilización de RCD) e identificar las actividades que verdaderamente añaden valor y aquellas que solo consumen recursos.

A partir de ello, se logró una proyección futura, replanteando la gestión integral de los residuos de construcción y demolición, incorporando más tareas como mejoras al proceso productivo actual, generando así, actividades con valor en las distintas obras en las que se empleen concretos convencionales con materiales reciclados, pues, además de representar un ahorro en el precio del concreto, también contribuyen a la disminución de los desperdicios no aprovechables en el sistema y, por ende, minimizar los impactos negativos en la sociedad y el ambiente, asociados principalmente a la disposición ilegal de los escombros y la explotación de recursos naturales para la obtención de agregados.

- Con la elaboración de los mapas de flujo de valor, además de eliminar las demoras o desperdicios del proceso de producción de concreto pre mezclado en la situación actual, es posible contribuir a la creación de valor, tanto socio-ambientales como económicos, que en esencia es lo que marca la diferencia en un producto y por el cual el Cliente está dispuesto a pagar.
- Para la optimización del mapa de flujo de valor en la proyección futura, es ideal realizar un constante seguimiento en las etapas que conforman el proceso, mediante la aplicación de los indicadores que reflejan el porcentaje de los RCD realmente aprovechados en la fabricación de concreto pre mezclado de baja resistencia, lo cual permitirá identificar falencias y generar oportunidades de mejora de manera oportuna.

- Es de suma importancia contar con datos actualizados respecto a la generación y disposición final de RCD en Colombia, ya que, en la investigación realizada, algunos departamentos y ciudades principales no cuentan con un informe de resultados actualizado. Por lo tanto, para llevar un control y seguimiento adecuado al proceso de generación, disposición, almacenamiento y reutilización de este tipo de residuos, es necesario contar con un programa por ciudad el cual realice un seguimiento periódico a los grandes y pequeños generadores de RCD en el país con el objetivo de contar con información veraz y actualizada.
- La implementación de la metodología Kanban como herramienta gerencial complementaria al mapa de flujo de valor, contribuye de una manera ágil, a mejorar el cumplimiento de cada una de las etapas que conforman el proceso, promoviendo la cultura de producción justo a tiempo, puesto que se crea una sincronía en las actividades y un orden en la ejecución del trabajo, sin la necesidad de realizar cambios en la infraestructura o tecnología. Así mismo, permite controlar los niveles de inventario de producción, evitando desperdicios o un exceso de material. En este caso, suscita la generación de una cantidad mínima de RCD, de modo que el proceso de fabricación de concreto premezclado sea óptimo y se logre aprovechar en mayor medida los residuos en una construcción.
- Para trabajar con la metodología Kanban, es indispensable llevar un buen control de calidad de los RCD como materia prima, transformado como agregado grueso o fino para la producción de concreto pre mezclado, y de este modo, obtener mayores logros en el proceso, pues de lo contrario, Kanban se convierte en un método complejo en su ejecución.
- En el método Kanban, es vital que el recurso humano destinado en cada una de las etapas o ciclos de producción, conozcan estrictamente las características de los productos que se pretenden obtener, los procesos que se deben efectuar y las condiciones de almacenamiento, transporte y aprovechamiento de los RCD. Adicionalmente, se deben crear las alertas correspondientes, en aras de detectar y eliminar actividades que, ante el Cliente, no generen valor al producto, de una manera ágil.



## Referencias

- Alcaldía de Santiago de Cali. (22 de Agosto| de 2016). <https://www.cali.gov.co/>. Obtenido de [https://www.cali.gov.co/dagma/publicaciones/117086/sobre\\_el\\_organismo\\_dagma/](https://www.cali.gov.co/dagma/publicaciones/117086/sobre_el_organismo_dagma/)
- Alcaldía\_Bogotá. (2004). Fuentes de abastecimiento de Bogotá D.C. *Plan de desarrollo Distrital, 2004 - 2007*.
- Alcaldía\_Bogotá. (7 de Marzo de 2012). *Bogotá Humana*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2012, de Bogotá Humana:  
[http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/x\\_frame\\_detalle.php?id=49296](http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/x_frame_detalle.php?id=49296)
- AlcaldíaBogotá. (2008). *Portal Bogotá*. Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de Portal Bogotá:  
<http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/01.02010401.html>
- AlcaldiaMayordeBogotá. (2012). *Bogotá - Empresario*. Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de Bogotá - Empresario: [http://empresario.com.co/recursos/ccb\\_2012/tlc\\_evento\\_ccb/](http://empresario.com.co/recursos/ccb_2012/tlc_evento_ccb/)
- AlcaldíaMayordeBogotá. (2012). *Portal Bogotá*. Recuperado el 20 de Agosto de 2012, de Portal Bogotá: <http://www.bogota.gov.co/galeria/cifrasproyeccionpoblacionsexo1985a2016.pdf>
- Aldana, J., & Serpell, A. (2012). Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: un meta-análisis. *Revista de la Construcción*, 4-16.
- Aldaya, M., Niemeyer, I., & Zarate, E. (2011). *Agua y globalización: Retos y oportunidades para una mejor gestión de los recursos hídricos*. Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de Agua y globalización: Retos y oportunidades para una mejor gestión de los recursos hídricos: <http://www.huellahidrica.org/Reports/Aldaya-Niemeyer-Zarate-2011.pdf>

ambiente, S. D. (04 de 01 de 2021). Obtenido de Secretaría Distrital de ambiente:

<http://www.ambientebogota.gov.co/es/web/escombros/conceptos-basicos>

Andreu, I. (15 de julio de 2021). *apd*. Obtenido de <https://www.apd.es/lean-manufacturing-que-es/>

APD. (31 de Agosto de 2021). *apd.es*. Recuperado el Octubre de 2021, de

<https://www.apd.es/metodologia-lean-que-es/>

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2019). *www.metropol.gov.co*. Obtenido de

<https://www.metropol.gov.co/area/Paginas/somos/quienes-somos.aspx>

Argos. (28 de 05 de 2019). *Residuos de construcción, cómo convertirlos en aliados de la sostenibilidad*. Obtenido de <https://colombia.argos.co/Acerca-de-Argos/Actualidad-para-construtores/Residuos-de-construccion-aliados-de-sostenibilidad>

Argos. (04 de 01 de 2021). Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto>

Arriaga Tafhurt, L. (2013). Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado.

Ballesteros, P. (2007). *Evaluación de tasas retributivas por vertimientos hídricos en la cuenca media del río Bogotá*. Bogotá D.C.: ESAP, Escuela Superior de Administración Pública.

Barajas , F., Portilla, P., Diaz, G., & Peña, J. (2006). *Analisis del impacto ambiental generado al suelo por la disposicion de escombros*. Bucaramanga, Colombia.

- Bedoya, C. M. (2003). *El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles*. Medellín, Colombia.
- Bermejo Urzola, G. (Octubre de 2016). Proyecto de grado para optar por el título de Magíster en Gestión Ambiental. *LINEAMIENTOS PARA LA GESTION AMBIENTAL DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICION (RCD) GENERADOS EN BARRANQUILLA D.E.I.P.* Barranquilla, Colombia.
- Bojacá Castañeda, N. R. (2013). Concreto sostenible como alternativa estructural, ambiental y económica en la construcción de obras civiles.
- Bossink B, B. (1996). Construction Waste: Quantification and source evaluation. *Journal of constrction Engineering and Management* , 55-60.
- Cabrera, H., & Palacio, L. (Julio de 2020). Especialización en Gestión de Proyectos de Ingeniería; Universidad Distrital Francisco José De Caldas. *Planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición RCD generados en la ciudad de Bogotá D.C. para la elaboración de prefabricados de construcción*. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José De Caldas.
- CAR. (01 de 02 de 2021). CAR. Obtenido de <https://www.car.gov.co/vercontenido/3795>
- CAR. (30 de 01 de 2021). CAR. Obtenido de <https://www.car.gov.co/uploads/files/5dcf09a13bfaf.pdf>
- Cárcamo, G. (septiembre de 2008). Recuperado el 21 de septiembre de 2013, de <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/10584/106/1/33354455.pdf>

- Carvajal, J. S., & Carmona, C. E. (2016). Gestión integral de residuos de construcción y demolición en Colombia: una aproximación basada en la metodología del marco lógico. *Producción + Limpia*, 117-128.
- Castañó, J., Misle, R., Lasso, L., Cabrera, A., & Ocampo, M. (Diciembre de 2013). Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes. *Tecnura*, 17(38), 121-129.
- Castañó, J., Rodríguez, R., Lasso, L., Cabrera, A., & Ocampo, M. (2013). Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes. *Tecnura*, 121-129.
- Castellanos, J., Rivera, F., & Roa, M. (2017). *Comparación estructural y estimación de costos de la utilización de concreto con agregados naturales y concreto con residuos de construcción y demolición (R.C.D.) como agregado*. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/15275>
- Catorce 6, R. a. (28 de 05 de 2019). *Revista ambiental Catorce 6*. Obtenido de <https://www.catorce6.com/actualidad-ambiental/habitat/12015-ciudades-llenas-de-escombros>
- Cemex. (28 de 05 de 2019). *Centro de tratamiento, aprovechamiento y disposición final de RCD (Residuos de Construcción y Demolición)*. Obtenido de Centro de tratamiento, aprovechamiento y disposición final de RCD (Residuos de Construcción y Demolición): <https://www.cemexcolombia.com/soluciones/constructores/servicios/centro-de-tratamiento-aprovechamiento-y-disposicion-final-de-rcd>

CEPAL. (2004). *Los servicios del agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*.

Santiago de Chile: Naciones Unidas, Santiago de Chile.

CICLOMAT. (01 de 02 de 2021). *CICLOMAT*. Obtenido de <http://www.cicloat.com/>

Confecámaras. (30 de 03 de 2021). *Cinfecámaras, Red de Cámaras de Comercio*. Obtenido de

[https://www.confecamaras.org.co/phocadownload/2020/Informe\\_Din%C3%A1mica\\_de\\_Creaci%C3%B3n\\_de\\_Empresas\\_\\_\\_Prime\\_trimestre\\_2021\\_002.pdf](https://www.confecamaras.org.co/phocadownload/2020/Informe_Din%C3%A1mica_de_Creaci%C3%B3n_de_Empresas___Prime_trimestre_2021_002.pdf)

Congreso\_de\_Colombia. (22 de Diciembre de 1993). *Ley 99/93*. Recuperado el 24 de Abril de

2013, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>

Congreso\_de\_Colombia. (11 de Julio de 1994). *Ley 142 de 1994. Régimen de los servicios*

*públicos domiciliarios y otras disposiciones*. Bogotá D.C., Colombia.

Consejo. (1974). *Código de los recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente*.

Bogotá D.C., Colombia.

Corpamag. (Enero de 2013). *corpamag.gov.co*. (C. A. Magdalena, Editor) Obtenido de

<https://www.corpamag.gov.co/index.php/es/transparencia/quienes-somos>

Correa, F., Ossa, A., & Vallejo, Z. (2007). Regulación ambiental en Colombia: el caso de la tasa

retributiva para el control de la contaminación hídrica. *Semestre económico, Universidad de Medellín*, 27 - 46.

Cruz, D. (19 de Enero de 2007). *EAAB - Quinta Revisión Anual*. Recuperado el 28 de Septiembre

de 2012, de EAAB - Quinta Revisión Anua: <http://www.bnamericas.com/cgi-bin/getresearch?report=12148.pdf&documento=74200&idioma=E&login=>

DANE. (25 de Mayo de 2012). *Cuentas Departamentales - Resultados PIB Departamental, 2009 y 2010*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2012, de Cuentas Departamentales - Resultados PIB Departamental, 2009 y 2010:  
[http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B\\_2005/Resultados\\_2010.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B_2005/Resultados_2010.pdf)

DANE. (25 de Mayo de 2012). *Cuentas Departamentales, Resultados PIB Departamental 2006 y 2010*. Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de Cuentas Departamentales, Resultados PIB Departamental 2006 y 2010:  
[http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B\\_2005/Resultados\\_2010.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B_2005/Resultados_2010.pdf)

DANE. (19 de 04 de 2019). *DANE*. Obtenido de DANE:  
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/indicadores-economicos-alrededor-de-la-construccion/historicos-indicadores-economicos-alrededor-de-construccion>

Decreto 098. (2010).

Domínguez, J., & Martínez, E. (2007). Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 43-54.

EAAB. (2003). *El agua en la historia de Bogotá, 1986 - 2003*. Bogotá D.C.: Villegas Editores.

EAAB. (2003). *El agua en la historia de Bogotá, tomo III*. Bogotá D.C.: Villegas editores.

EAAB. (2004). *Plegable técnico de la PTAR Salitre*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2012, de Plegable técnico de la PTAR Salitre:

[http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/Plegable\\_tecnico.pdf](http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/Plegable_tecnico.pdf)

EAAB. (2004). *Plegable técnico de la PTAR Salitre*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2012, de

[http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/Plegable\\_tecnico.pdf](http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/Plegable_tecnico.pdf)

EAAB. (2008). *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos*. Bogotá: EAAB.

EAAB. (2010). *Manual de calidad*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2012, de Manual de calidad:

[http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CDgQFjAC&url=http%3A%2F%2Fweb.acueducto.com.co%2FRedMatriz%2FRedMatriz%2Farchivos%2FManual\\_de\\_Calidad.ppt&ei=\\_rIGUPjSMIro9ATd9IGQAg&usg=AFQjCNFrVpCLGfCozqBILLu3juwPPt3T5A](http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CDgQFjAC&url=http%3A%2F%2Fweb.acueducto.com.co%2FRedMatriz%2FRedMatriz%2Farchivos%2FManual_de_Calidad.ppt&ei=_rIGUPjSMIro9ATd9IGQAg&usg=AFQjCNFrVpCLGfCozqBILLu3juwPPt3T5A)

Ercin, A., Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (Marzo de 2012). *THE WATER FOOTPRINT OF FRANCE*. Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de THE WATER FOOTPRINT OF FRANCE: <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report56-WaterFootprintFrance.pdf>

ESAN. (17 de Septiembre de 2019). *esan Business*. Recuperado el Octubre de 2021, de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2019/09/cuales-son-los-modelos-gerenciales-de-una-empresa-moderna/>

Establecimiento Público Ambiental. (2021). *epacartagena.gov.co*. Obtenido de <https://epacartagena.gov.co/web/>

Garrido, A., Llamas, M., Varela-Ortega, C., Novo, P., Rodríguez-Casado, R., & Aldaya, M.

(2010). *Water Footprint and Virtual Water Trade in Spain*. Madrid: Springer.

Gobierno\_en\_linea. (2010). *Sistema Único de Información de los Servicios Públicos*.

Recuperado el 22 de Agosto de 2012, de Sistema Único de Información de los Servicios Públicos: [http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=acu\\_tec\\_041](http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=acu_tec_041)

Gómez Cortes, A. (2020). LA ECONOMIA CIRCULAR COMO ALTERNATIVA PARA EL RECICLAJE DE CONCRETO (RCD) EN UNA OBRA CIVIL . *Programa académico internacional en el marco de las relaciones Colombia – Perú*. Lima, Perú.

Gomez Mora, A. L., Medina Gutierrez, A. L., & Arismendi Sanchez, D. L. (2014).

Caracterización de material de escombros de obras y demoliciones y reutilización en mezclas de concreto.

Gómez, L. (4 de Septiembre de 2012). *Periódico El Tiempo*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2012, de Periódico El Tiempo: <http://m.eltiempo.com/colombia/bogota/uso-del-agua-en-bogot/9109335>

Gómez, L. (2013). *El Tiempo*. Recuperado el 14 de Marzo de 2012, de El Tiempo:

<http://m.eltiempo.com/colombia/en-bogota-el-metro-cubico-de-agua-potable-es-el-mas-carro-del-pais/7740549/1/home>

Gongreso\_de\_la\_República. (1994). Ley 142 de 1994. *Artículo 87*. Bogotá D.C.

González, F. (1990). *Ensayos Ambiente y Desarrollo: reflexiones acerca de la relación entre los conceptos: ecosistema, cultura y desarrollo*. Bogotá D.C. : Javergraf.



Hoekstra, A. (2004). *Huella Hídrica*. Recuperado el 20 de Agosto de 2012, de Huella Hídrica:

<http://www.waterfootprint.org/index.php?page=files/home>

Hoekstra, A., & Chapagain, A. (2010). *Globalización del agua: Compartir los recursos de agua dulce del planeta*. Barcelona: Marcial Pons.

Hoekstra, A., Booij, M., Hunink, J., & Meijer, K. (Junio de 2012). *Blue water footprint of agriculture, industry, house holds and water management in the Netherlands*.

Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de Blue water footprint of agriculture, industry, house holds and water management in the Netherlands:

<http://www.waterfootprint.org/Reports/Report58-BlueWF-NL.pdf>

Hoekstra, A.Y. (2012). *waterfootprint*. Recuperado el 20 de Agosto de 2012, de waterfootprint:

<http://www.waterfootprint.org/index.php?page=files/Publications>

Huella hídrica, d. y. (Diciembre de 2011). *Fundación\_MAPFRE*. Recuperado el 22 de Agosto de 2012, de Fundación\_MAPFRE: <http://www.huellahidrica.org/Reports/FundacionMapfre-2011-huella-hidrica-y-desarrollo-sostenible.pdf>

Lauritzen, E., & Haan, N. (1997). Producción de residuos de construcción y reciclaje. *Residuos*, 12.

Lucidchart. (s.f.). *Lucidchart.com*. Recuperado el Julio de 2021, de

[https://www.lucidchart.com/pages/es/que-son-los-mapas-de-flujo-de-valor/#section\\_0](https://www.lucidchart.com/pages/es/que-son-los-mapas-de-flujo-de-valor/#section_0)

MAAT. (01 de 02 de 2021). *MAAT Soluciones ambientales*. Obtenido de

<https://www.maat.com.co/>

- MAAT soluciones ambientales. (28 de 05 de 2019). *MAAT soluciones ambientales*. Obtenido de <http://www.maat.com.co/cumplir-la-resolucion-472-2017-proyectos-construccion-colombia/>
- MADS. (Octubre de 2010). Recuperado el 17 de Abril de 2013, de [http://www.cornare.gov.co/Memorias/MemoriasDecreto3930/proyecto\\_de\\_resolucion\\_limite\\_permisibles.pdf](http://www.cornare.gov.co/Memorias/MemoriasDecreto3930/proyecto_de_resolucion_limite_permisibles.pdf)
- MADS. (2010). *Resolución: Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público, y se dictan otras disposiciones*. Recuperado el 29 de Marzo de 2013, de [www.minambiente.gov.co/...norma/.../300412\\_proy\\_norma\\_vertimi](http://www.minambiente.gov.co/...norma/.../300412_proy_norma_vertimi)
- Mariño, J. (2007). Reflexiones sobre el papel de la Ingeniería Civil en la evolución del medio ambiente en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 65-73.
- Marroquin Muñoz, E. I. (2012). *Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características físicas y propiedades mecánicas*. Guatemala.
- MAVDT. (26 de Junio de 1984). *Decreto 1594 de 1984*. Recuperado el 1 de Abril de 2013, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617>
- MAVDT. (1 de Abril de 1997). *Decreto 901 de 1997*. Recuperado el 9 de Mayo de 2013, de [http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec\\_0901\\_010497.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec_0901_010497.pdf)
- MAVDT. (30 de Octubre de 2003). *Decreto 3100 de 2003*. Recuperado el 2 de Marzo de 2013, de Por el cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua

como receptor de los vertimientos puntuales:

[http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec\\_3100\\_301003.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec_3100_301003.pdf)

MAVDT. (30 de Octubre de 2003). *Decreto 3100 de 2003*. Recuperado el 9 de Mayo de 2013, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15073>

MAVDT. (2010). Recuperado el 22 de Julio de 2013, de Proyecto de la Resolución por la cual se establecen las normas y los valores límites máximos permisibles de parámetros en vertimientos puntuales a sistemas de alcantarillado público y a cuerpos de aguas continentales superficiales: <http://www.grupaac.com/proyecto-de-resolucion-del-mavdt-vertimientos>

MAVDT. (s.f.). *Decreto 2667 de 2012*. Recuperado el 9 de Mayo de 2012, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=51042#0>

MAVDT. (s.f.). *Decreto 3440 de 2004*. Recuperado el 9 de Mayo de 2013, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15072>

Mejía, É., Giraldo, J., & Martínez, L. (2013). Residuos de construcción y demolición. Revisión sobre su composición,. *CINTEX*, 105-130.

Mejía, E., Osorno, L., & Osorio, N. (2015). Residuos de la construcción: Una opción para la recuperación de suelos. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 55-60.

Mesa Cuadros, G. (2010). *Derechos ambientales en perspectiva de integralidad*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Metro\_cuadrado. (2010). *Ciudades y precios de finca raíz*. Recuperado el 14 de Marzo de 2013, de Ciudades y precios de finca raíz:

[http://contenido.metrocuadrado.com/contenidom2/ciudyprec\\_m2/inforbog\\_m2/informaciongeneralbogot/ARTICULO-WEB-PL\\_DET\\_NOT\\_REDI\\_M2-2026901.html](http://contenido.metrocuadrado.com/contenidom2/ciudyprec_m2/inforbog_m2/informaciongeneralbogot/ARTICULO-WEB-PL_DET_NOT_REDI_M2-2026901.html)

MillenniumEcosystemAssessment. (2005). *Evaluación de los ecosistemas del Milenio*.

Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de Evaluación de los ecosistemas del Milenio:

<http://www.maweb.org/documents/document.439.aspx.pdf>

Minambiente. (19 de 04 de 2019). *Minambiente*. Obtenido de Minambiente:

<http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>

Minambiente. (28 de 05 de 2019). [http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-](http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros)

[minambiente/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros](http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros). Obtenido de

[http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros:](http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros)

<http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (28 de 02 de 2017). Resolución 0472 de 2017.

*Resolución 0472 de 2017*. Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (28 de Febrero de 2017). Resolución 0472 de 2017. *Reglamentación de la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición RCD*. Bogotá, Colombia.

Montilla Duque, A. (27 de Marzo de 2018). *RevistaDigital*. Obtenido de Lean Construction: la optimización en la construcción: <https://revistadigital.inesem.es/disen-y-artes-graficas/lean-construction/>

Moran, J., & Valdés, J. (2011). Estado actual de la gestión de residuos de construcción y demolición: limitaciones. *Informes de la Construcción*, 89-95.

Naciones Unidas. (14 de Junio de 1992). *Declaración del Río sobre el medio ambiente y desarrollo*. Recuperado el 23 de Agosto de 2012, de Declaración del Río sobre el medio ambiente y desarrollo:  
[http://www.bioculturaldiversity.net/Downloads/Papers/Rio\\_declaration\\_Spanish.pdf](http://www.bioculturaldiversity.net/Downloads/Papers/Rio_declaration_Spanish.pdf)

OPS. (2001). *Informe regional sobre la evaluación del sector de agua potable y saneamiento, estado actual y perspectivas*. Recuperado el 2 de Marzo de 2013, de  
<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaas/e/fulltext/infregio/infregio.pdf>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2019). *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos*. Obtenido de  
<https://www.oecd.org/centrodemexico/laocde/>

Ortega Acosta, A., Casas Camargo, H., & Figueroa García, Y. (2015). Gestión integral de residuos de construcción y demolición RCD.

- Ortega, A., Orozco, C., González, C., Forero, D., Casa, H., Albarracín, J., . . . Montoya, S. (Marzo de 2016). *BOGOTÁ D.C., HACIA UNA NUEVA CULTURA EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN*. Bogotá, Colombia: Secretaría Distrital de Ambiente (SDA).
- Pensa, G. (01 de Abril de 2021). *Atlas Consultora*. Recuperado el Octubre de 2021, de <https://www.atlasconsultora.com/vsm/>
- Pérez Rojas, A. (2012). Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto. *Revista de la Facultad de Ingeniería - INGENIUM*, 116-125.
- Porras, H., Sánchez, O., & Galvis, J. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. *AVANCES Investigación de Ingeniería*, 11(1), 32-53.
- Robles, J. P., & Vanegas, J. (2008). Estudio experimental de las propiedades mecánicas del concreto reciclado para uso en edificaciones convencionales.
- Rodríguez Casado, R., Garrido, A., Llamas, R., & Varela - Ortega, C. (2008). *La huella hidrológica de la agricultura española*. Recuperado el 13 de Octubre de 2010, de La huella hidrológica de la agricultura española: [http://www.huellahidrica.org/Reports/Rodriguez\\_et%20al\\_2008.pdf](http://www.huellahidrica.org/Reports/Rodriguez_et%20al_2008.pdf)
- Salmoral, G., Dumont, A., Aldaya, M., Rodríguez - Casado, R., Garrido, A., & Llamas, R. (2010). *Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca de Guadalquivir*. Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca de Guadalquivir: <http://www.huellahidrica.org/Reports/SHAN%20GUA-web.pdf>

Sánchez de Guzmán, D. (1996). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá: Bhandar Editores LTDA.

SDA, & EAAB. (2008). *Calidad del sistema hídrico de Bogotá*. Bogotá D.C., Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.

Secretaría Distrital de Ambiente. (2014). *Guía para la elaboración del plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición (RCD) en obra*. Bogotá.

Seto, K. C., Sánchez Rodríguez, R., & Fragkias, M. (2010). The new geography of contemporary urbanization and the environment. *The annual of environment and resources*, 167 - 194.

Shiklomanov, I. (2000). Appraisal and Assessment of World Water Resources. *Water International*, 11-35.

Sosa, Y., Vergara, J., Leuro, C., & Cepeda, C. (2018). UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA; FACULTAD DE POSTGRADO; GERENCIA DE OBRAS. *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE UNA EMPRESA PARA LA DISPOSICION DE RCD CON POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN*. Bogotá, Colombia.

UAESP. (Diciembre de 2020). *Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos*. Obtenido de <https://www.uaesp.gov.co/content/punto-limpio>

Vega García, J. (2012). *APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION DE RCD (Residuos de Construcción y Demolición)*. Bogotá, Colombia.

Velasco López, L. (Junio de 2010). FORMULACIÓN DE UNA PROPUESTA DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA RECUPERACIÓN Y RECICLAJE DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN. Pereira, Risaralda, Colombia.

Velásquez, G. (28 de Abril de 2018). *Puro Marketing*. Recuperado el Octubre de 2021, de <https://puromarketing-germanvelasquez.blogspot.com/2018/04/modelos-gerenciales.html>

Velásquez, R., & Cruz, J. (2004). *Concreto reciclado*. México D.F.

Villalba, V., Rodríguez, O., Moreno, D., & Cepeda, E. (2018). *Evaluación de los beneficios económicos y ambientales para la adecuada gestión de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Bogotá*. Bogotá. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/22403>

WWF. (8 de Junio de 2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia*. Recuperado el 19 de Agosto de 2012, de Una mirada a la agricultura de Colombia: <http://www.wwf.org.co/?205138/Huella-Hidrica-Colombia>

WWF, Arévalo Uribe, D., & Sabogal, J. (2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica*. Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de <http://www.huellahidrica.org/Reports/Arevalo-2012-HuellaHidricaColombia.pdf>

Zeng, Z., Koeneman, P., Zarate, E., & Hoekstra, A. (16 de Agosto de 2012). Assessing water footprint at river basin level: a case study for the Heihe River Basin in northwest China. *Hydrology and Earth System Science* , págs. 2271 - 2781. Recuperado el 13 de Octubre de 2012, de Assessing water footprint at river basin level: a case study for the Heihe



River Basin in northwest China: <http://www.waterfootprint.org/Reports/Zeng-et-al-2012-WaterFootprint-HeiheBasin.pdf>