



**ALTERNATIVAS DENTRO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA EL
APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN
(RCD)**

LUISA FERNANDA OLIVEROS SANCHEZ

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

BOGOTA, D.C.

2021

**ALTERNATIVAS DENTRO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA EL
APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**

LUISA FERNANDA OLIVEROS SANCHEZ

Código: 11231924839

Director:

ING. MSC. RAÚL ECHEVERRY

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y CIVIL

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL

BOGOTA, D.C.

2021

Tabla de contenido

1. Resumen.....	5
2. Abstract	6
3. Introducción	7
3. Objetivos	9
3.1 General	9
3.2 Específicos	9
4. Planteamiento del Problema.....	10
5. Justificación.....	12
6.Marco conceptual	14
6.1 Residuos de construcción y demolición (RCD).....	14
6.2 Principios de Aprovechamiento	21
6.3 Impactos al medio ambiente.....	24
6.4 Economía Circular en RCD	25
6.5 Normatividad ambiental de RCD en Colombia	28
7.Estado del arte	30
8.Metodología	35
9. Discusión y conclusiones	37
9.1 Métodos de diseño de Lean.....	37
9.2 Planes de Gestión de RCD	41

9.3 Aprovechamiento en residuos de construcción y demolición	44
9.4 Modelo de Negocios Circulares	47
11. Referencias	51

Índice de Tablas

Tabla 1 Clasificación de residuos de construcción y demolición	15
Tabla 2 Alternativas de Gestión de uso de residuos	19
Tabla 3 Impactos de RCD en diferentes medios	24
Tabla 4 Normativa ambiental	28
Tabla 5 Normatividad Nacional	29
Tabla 6 Propósitos de un modelo de información de construcción.....	43
Figura 1 Etapas Constructivas del proceso constructivo.....	18
Figura 2 Casa origami con impresora 3D	47
Figura 3 Modelo de necocio para la economía circular	48

1. Resumen

Hoy en día uno de los problemas más significativos en Colombia y a nivel mundial es el inadecuado manejo en los residuos de construcción y demolición (RCD), provocando contaminación del suelo, agua y aire, del mismo modo afectando los recursos naturales. Esta monografía revisa el estado del arte, normativa, economía circular, gestión de los RCD, para lograr dar un análisis acerca de la importancia de realizar una clasificación selectiva y las grandes problemáticas que se tienen cuando estos residuos se encuentran en diferentes medios alterando el ambiente.

Esta monografía presenta modelos y diseños alternativos de aprovechamiento para los RCD, buscando incentivar a realizar buenas prácticas desde el inicio de una obra que se lleve a cabo, es importante tener en cuenta que el uso de tecnologías como el moldeo de información de construcción BIM que beneficia de manera positiva el medio ambiente y su entorno ya que este programa reduce los residuos de construcción y demolición (RCD) y así mismo aprovecha los sobrantes generados en la misma.

Finalmente, identificar que materiales de construcción pueden brindar un desarrollo sostenible por su potencial, simplicidad para ser aprovechados y comercializados en la industria del sector de construcción, esta estrategia logra ser implementada con éxito si se cumple de manera ética la normatividad para reciclar y aprovechar los residuos de construcción y demolición generados en países en desarrollo.

Palabras claves: Residuos de construcción y demolición (RCD), reciclaje, reutilización, Economía circular.

2. Abstract

Nowadays, one of the most significant problems in Colombia and worldwide is the inadequate management of construction and demolition waste (CDW), causing soil, water and air pollution, as well as affecting natural resources. This monograph reviews the state of the art, regulations, circular economy, CDW management, in order to provide an analysis of the importance of selective sorting and the major problems that arise when these wastes are found in different environments, altering the environment.

This research project presents alternative models and designs for the use of CDW, seeking to encourage good practices from the beginning of a construction project. It is important to take into account that the use of technologies such as building information modeling (BIM) positively benefits the environment and its surroundings, since this program reduces construction and demolition waste and takes advantage of the waste generated in the same.

Finally, identifying which construction materials can be sustainably developed due to their potential and ease of use and commercialization within the construction industry can be successfully implemented if the regulations for recycling and use of construction and demolition waste generated in developing countries are ethically complied with.

Key words: Construction and demolition waste (CDW), recycling, reuse, circular economy.

3. Introducción

Actualmente la industria de la construcción abarca un rol de gran importancia en la economía del mundo, pues está relacionada directamente con el desarrollo y crecimiento, sin embargo, estas actividades constituyen un impacto ambiental, ya que hay un alto consumo de los recursos naturales y son procedentes de residuos como escombros, estos residuos son generados en actividades de demolición de obras, edificaciones, excavación, remodelaciones, que a su vez han demostrado un alto potencial de reutilización en países desarrollados con políticas claras y eficientes, es decir que el sector de la construcción ha incrementado una economía circular al crear nuevos proyectos para su clasificación, aprovechamiento y reducción (Secretaría Distrital de Ambiente, 2016).

El inadecuado manejo de los residuos de construcción y demolición ha traído consigo consecuencia a un deterioro ambiental y paisajístico, debido a un mal procedimiento en la disposición de residuos de construcción y demolición en lugares no permitidos, trae como consecuencia la contaminación del suelo, agua, aire, esta disposición de manera incorrecta de RCD inertes, con otros residuos peligrosos, como desechos de productos químicos, disolventes orgánicos, asfaltos, pinturas, amianto, luminarias convencionales y fluorescentes, es por ello que estamos obligados a evaluar los sistemas de gestión ambiental con los que se cuentan para obtener nuevas alternativas que se tienen para brindar solución a los residuos generados durante y después de las construcciones o edificaciones.

Se ha demostrado, que al realizar la separación correcta en los residuos de construcción es posible obtener nuevos productos, que serán empleados de nuevo en las edificaciones u obras del sector civil o privado, reduciendo el impacto del ambiente y generando un entorno de conciencia

ambiental y respeto con los recursos naturales, para ello se relaciona con la economía circular que busca de una u otra manera incorporar y reutilizar la mayor cantidad de material.

El siguiente proyecto de grado está orientado al manejo adecuado sostenible de los RCD y de las diferentes metodologías que pueden ser aplicadas desde su etapa inicial que permitan minimizar el impacto ambiental y optimizar la productividad asociada a los costos de obra y disposición de estos residuos.

3. Objetivos

3.1 General

Analizar diferentes alternativas dentro de la economía circular para aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD).

3.2 Específicos

- Identificar los métodos de gestión en residuos de construcción y demolición, para ser aplicados en proyectos de construcción sostenible.
- Determinar la importancia de las alternativas de aprovechamiento en residuos de construcción y demolición (RCD).

4. Planteamiento del Problema

Los residuos de construcción y demolición (RCD), conforman uno de los principales problemas ambientales relacionados al sector de obras, impactando directamente el uso de materias primas, recursos naturales, deterioro paisajístico, contaminación a fuentes hídricas, taponamientos en cuaces naturales y canales, contaminación de suelos por materiales peligrosos que son depositados inadecuadamente en diferentes lugares.

Hoy en día se cuenta con entidades que implementen el uso de estos residuos para ser aprovechados en nuevos productos o proyectos, ayudando con el cambio climático que aqueja y preocupa de manera significativa al mundo, para ello es de importancia hacer una gestión adecuada en los residuos de construcción y demolición (RCD), comenzando por la educación debido al desconocimiento total por parte de la población acerca de los RCD, ya que según las creencias son residuos que cumplen su ciclo de vida al terminar una obra, infraestructura u otras, de esta manera podemos identificar que no solo una mala disposición de estos residuos genera grandes problemas al medio ambiente sino también la falta de conocimientos que permita hacer una separación selectiva que ayude a generar nuevos mecanismos para un tratamiento adecuado.

Esto demuestra que es posible resolver problemas de importancia en la gestión de residuos de construcción y demolición mediante un adecuado uso y la obtención de nuevos materiales de infraestructura logrando un entorno amigable con el medio ambiente, aportando nuevos conocimientos y aspectos positivos en las obras de construcción.

Asimismo los impactos en el medio ambiente en desarrollo de cualquier proyecto que se realice para mejorar la calidad de vida a la sociedad, trae consigo impactos positivos y negativos, de tal manera para obtener proyectos positivos deberían ser planificados de tal forma que se reduzcan a

la menor cantidad posible la extracción de los recursos naturales, esto permitirá minimizar los aspectos negativos al ambiente evitando el agotamiento de los mismos y con ellos la pérdida de biodiversidad, vertido de residuos, calentamiento global, smog, emisiones contaminantes y consumo de energía en procesos de fabricación, explotación y transporte, entre otros (Enshassi et al., 2014).

La industria de la construcción, a través del tiempo se ha desarrollado siguiendo un proceso de economía lineal, basada en generar, consumir y descartar, esto conlleva a generar soluciones a través de modelos o métodos relacionados con la economía circular, donde estos residuos sean parte de la materia prima y necesarios para procesos de generación además adoptar modelos comerciales de economías circulares como la simbiosis industrial que se constituye de colaboración entre empresas o corporaciones de la misma cadena de valor, por el cual se hacen intercambios de material, desechos, subproductos, energía, agua e información, beneficiándose de este intercambio (Fundación Conama et al., 2018).

Es por ello que se analiza que tipos de relaciones se tienen en el sector de la construcción, para fomentar procesos circulares que cambiará y mantendrá la productividad de los materiales durante el ciclo de vida y a su vez reduzca la pérdida de materiales no renovables, trayendo consigo beneficios sociales, económicos y medioambientales (Giesekam et al., 2018).

5. Justificación

A través de esta investigación bibliográfica se pretende conocer los métodos estratégicos y preventivos, enfocados en la disminución de residuos de materiales de construcción y demolición que son provenientes en edificaciones y demoliciones de obras, estos métodos traen consigo un aprovechamiento y optimización en los residuos principalmente desde su etapa inicial para gestionar un sistema que garantice adecuadamente el uso de materias primas. La evolución del sector de la construcción ha traído consigo impactos al medio ambiente, recursos naturales que han venido modificando el ciclo de vida, por esto es de importancia conocer y analizar los potenciales que presentan los residuos de construcción y demolición (RCD) para mejorar un entorno amigable con la población.

Hoy en día se tiene en cuenta la recuperación de los recursos naturales por medio del concepto de conciencia ambiental que abarca el tema de economía circular y que buscan aprovechar cada residuo que se tenga a partir de diferentes actividades, para esto nos basamos principalmente en los mayores generadores de estos residuos como lo son las industrias en el sector de construcción, ya que requieren de un compromiso para la integración de estos, cumpliendo la normatividad que en países desarrollados han aportado cambios significativos de mejorar en los proyectos de gestión en los residuos provocados por edificaciones y demoliciones.

Dentro del análisis, este trabajo de investigación evidencia que la normatividad en Colombia no cumple con llevar a la práctica un sistema de gestión en el cual se reciclen y aprovechen de manera eficiente los RCD para la elaboración de innovadores productos que sean nuevamente aprovechados en las obras de construcción (Gutiérrez et al., 2014).

Finalmente, la investigación demuestra que es posible resolver las problemáticas ambientales de desechos de construcción y demolición mediante la correcta administración en los residuos por procedimiento de reciclaje y la producción de nuevos productos de construcción, así mismo la demolición selectiva y clasificación de cada uno de los materiales, además el aporte de nuevos métodos innovadores que desde su inicio interfieren en la utilidad y aprovechamiento de los materiales necesarios para llevar a cabo en construcciones.

6.Marco conceptual

El presente trabajo busca presentar diferentes alternativas para el aprovechamiento de RCD, en este contexto es importante aclarar algunos conceptos que son fundamentales para el desarrollo del proyecto.

6.1 Residuos de construcción y demolición (RCD)

Los residuos de construcción y demolición son provenientes principalmente en demoliciones de edificios, materiales de construcción rechazados para nuevas obras en plantas, así como productos en mal estado o que no son de un segundo uso generados durante procesos de fabricación (Martín et al., 2018), (Garzón & Sánchez-Soto, 2013).

Por otra parte, se consideran que los residuos de construcción y demolición según la guía elaborada para el plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición a todos aquellos residuos sólidos restantes de las actividades de construcción, exploración, demolición y reconstrucción de obras civiles o actividades relacionadas (Secretaria Distrital de Ambiente, 2015). La generación de estos residuos provenientes de actividades de construcción obtienen una clasificación diferente ya que encontramos los que son aprovechables y no aprovechables, los cuales dependen de la calidad y su valor potencial para ser reutilizado, ya que en su mayoría los materiales son materiales no peligrosos, no contaminados, tales como ladrillos, hormigón, tejas, techos y otros (Reutilizar & Valorizar, 2015).

Clasificación de residuos de construcción y demolición: Para identificar una gestión correcta en los residuos de construcción y demolición, se realiza una clasificación en los diferentes materiales puesto que los residuos aprovechables pueden tener un potencial y los no aprovechables

han tenido un inadecuado manejo que hicieron perder su potencial de vinculación a una nueva cadena productiva (Tapias, 2017).

Tabla 1.

Clasificación de los RCD

Categoría	Sector	Categoría	Componentes
RCD	Residuo	Pétreos	Hormigón, ladrillos, cerámicas, arena,
APROVECHABLES	Mezclado		fracciones de roca, baldosa, aglutinantes inorgánicos y escombros que no pasen del tamiz #200 de granulometría.
	Residuos de Material Fino	Residuos Finos no expansivos	Mineral de arcilla, sedimento clástico y materiales que no experimentan transformaciones, plásticos y expansivos que pasen el Tamiz #200 de granulometría
		Finos extendidos	Roca sedimentada, y lodos inactivos con cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que pasen el tamiz #200 de granulometría

	Residuos Comunes	Residuos no pétreos	Plásticos, cloruro de polivinilo, muebles de madera, cartón, papel, silicona, vidrios, gomas elásticas.
		Residuos Metálicos	Aleaciones de hierro, metales de transición de color cobrizo, aluminio, bronce, latón y zinc
	Residuos Orgánicos	Residuos de coberturas vegetales	de Suelo de coloración oscura con alto contenido en fósforo y carbón.
		Residuos de pezones	de Abono verde, hojas y medios bióticos.
RCD APROVECHABLES	NO	Residuos contaminantes	Residuos peligrosos
			Restos de sustancias químicas, mezclas homogéneas de varios líquidos, destilación del petróleo, sobrantes de pintura, compuestos orgánicos volátiles, líquidos grasos, chapopote, sustancia pastosa o sólidas, plastificadores, tinturas, colorantes, betún, lacas, tejas de asbesto, desechos, metales tóxicos, cenizas volátiles, artefacto de iluminación convencional y fluorescentes, aceites industriales

usados, baterías y aceites de motor, teléfonos celulares, cables eléctricos y demás elementos de peligro.

Residuos especiales Material plástico espumado, drywall, termómetros, neumáticos pequeños, electrodomésticos.

Residuos contaminados Fuentes de riesgo para el medio ambiente y la salud como los anteriormente mencionados que se pueden mencionar como residuos especiales y peligrosos.

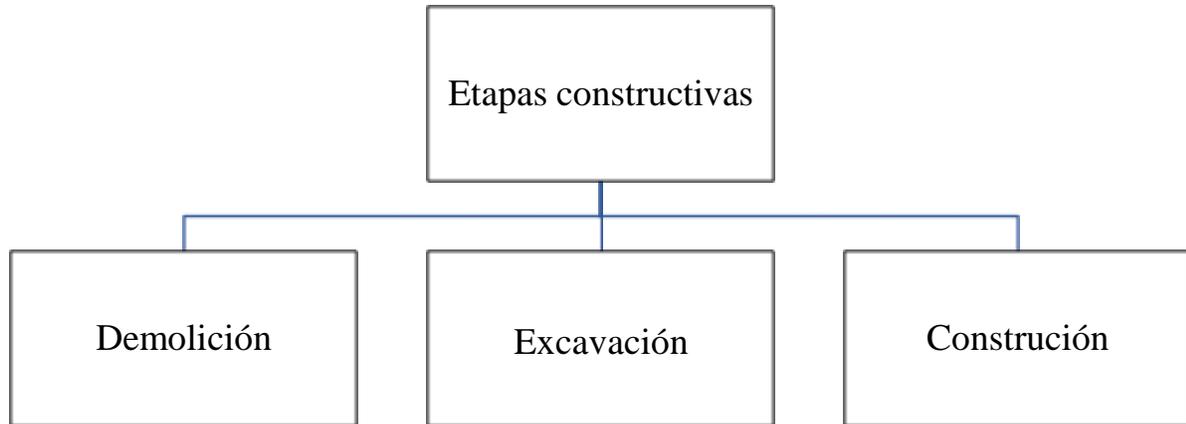
Fuente:(SDA,2015) modificado por el autor

En la caracterización de tabla 1, se observa que en la categoría de RCD aprovechables tienen potencial para ser usados nuevamente en el proceso constructivo como por ejemplo edificios, materiales provenientes de rocas, material de relleno, agregado mineral y betún, y finalmente elementos de construcciones prefabricados como losas peatonales, acera, pavimento, componentes de cemento, ladrillos y demás (Silva et al., 2014).

Etapas de construcción se establece en las etapas constructivas que se llevan en diferentes actividades del proceso constructivo, incorporar el uso de la cartilla de jerarquía de construcciones sostenibles, y la gestión integral de residuos de construcción y demolición (RCD), con el fin de cumplir con el medio ambiente y así mismo garantizar una buena gestión en las obras (IGAC, 2017).

Figura 1.

Etapas Constructivas del proceso constructivo



Fuente:(Autor)

La demolición es derribar la infraestructura, edificios y otras, es de importancia esta etapa ya que puede originar impactos ambientales en los recursos naturales, para lo cual se deben incorporar medidas de control de selección que identifique los residuos que pueden ser reciclados o que sirvan para su reutilización durante la demolición, seguido se tiene en cuenta la fase de excavación donde se extrae el material almacenado para realizar un estudio de suelo que garantice la utilidad de las cantidades que pueden ser reutilizadas en un proceso de construcción, la fabricación de edificios, estructuras u obras, disponen de un proyecto y planificación predeterminada para el debido uso y cantidad de RCD que se utilizan en una obra de constructiva, además de esto busca realizar una valorización de materiales reutilizables en actividades y en dado caso que no se incorpore se debe buscar una alternativa para el cumplimiento de aprovechamiento. También se debe verificar los sitios autorizados para disposiciones finales y planta de aprovechamiento en la que se depositan los residuos de demolición y construcción (IGAC, 2017).

Por otra parte, la alternativa de gestión para los RCD provenientes de diferentes residuos pueden ser aprovechados según su clasificación ya que algunos materiales presentan un estado óptimo para ser reutilizados, en la tabla 2 se muestran diferentes alternativas para uso para cada material obtenido durante los procesos de demolición (Bustos et al., 2017).

Tabla 2.

Alternativas de Gestión de uso de residuos

Residuos	Alternativa
	Aprovechar como relleno en obras
Concretos	Aprovechamiento en suelo de vías o carretera
	Utilizar de nuevo como granito
	Reciclar a fin de producir morteros y cemento
	Reciclar para granulado en vías
cerámicos	Aprovechar como piedra
	Reutilizar como fachadas
	Incorporar en acabados
Asfaltos	Reutilizada en rellenos
	Usos como asfaltos
Metales	Aprovechar como masa para rellenar

	Reutilizar como asfalto
	Reutilizar en vallado y lindero
Madera	Reciclada en carpintería
Vidrio	Reciclado para ventanas, botellas entre otros
Plásticos	Reciclar para compuestos sintéticos
Pétreos	Reutilizar como áridos finos y gruesos
Bloques y telas	Aprovechamiento en la obtención de nuevos productos
Residuo de excavación	Reciclar para rellenos y recuperar taludes Aprovechar como estabilidad del suelo
Componentes arquitectónicos	Obtención para nuevos productos

Fuente: (Reutilizar & Valorizar, 2015)

Los procesos alternativos en residuos de construcción y demolición generan sostenibilidad para el sector, puesto que mitigan los impactos ambientales y favorecen de manera significativa la economía circular cumpliendo con el aprovechamiento de estos residuos generados durante y después de las obras. Los beneficios de realizar una gestión en los RCD son múltiples (Zheng et al., 2017), en la parte económica, encontramos la reducción de costos de disposición final y transporte así mismo se previenen los botaderos clandestinos, reduciendo los riesgos en la salud y el medio ambiente (Aldana & Serpell, 2012).

6.2 Principios de Aprovechamiento

Garantizar la gestión ambiental apoyado del uso racional de materiales, la cual previene la generación de desechos y una eficiente gestión en los RCD, este principio tiene como objetivo mitigar la causa del residuo al disponer un régimen jurídico de su productividad, dirección e impulsar su aplicación (Tapias, 2017). La manera correcta para una gestión eficiente de RCD es: reducir, reutilizar reciclar y valorizar, con el fin de mejorar las condiciones de vida en las poblaciones y ambientes óptimos.

Reducir la generación de residuos: el aporte más sostenible y amigable con el medio ambiente es utilizar menos material, debido a que se paga menos por disposición, reduce la contaminación el transporte, ahorro de energía y agua, de esta manera se reduce el material presente en vertederos, lo cual es de gran beneficio ya que en la mayoría de los países es una de las principales acciones que se toman para anular los residuos y reducirlos, generando y extendiendo el tiempo de vida útil de los mismos. De esta forma el reducir los residuos se considera como la idea principal para el plan de manejo de residuos, ya que esta busca la utilización de nuevas tecnologías alternativas en lo que a la producción de residuos se refiere, como los elementos prefabricados de hormigón y otros. Sin embargo, la dificultad que presentan estas tecnologías es el factor económico (Tapias,2017).

Reutilizar lo que se pueda: Esta actividad busca recuperar los componentes de edificaciones completos y la reutilización con las menores transformaciones posibles, en otras palabras, extender su vida útil a un residuos o material existente, así mismo se disminuye el uso de nuevas fuentes de materiales, en edificios de demolición se puede aprovechar residuos como puertas, ventanas, calefacción, instalaciones de iluminación entre otros (SDA,2017).

Reciclar lo que se pueda reutilizar: Este principio consiste en incorporar los residuos mediante un proceso por el cual esta materia residual requiera ser tratada, y luego sometido a un proceso de generación de insumos, conservando las fuentes de los materiales, se ha identificado que los RCD representan numerosas oportunidades de reciclaje como la reutilización de materiales.

Valorizar componentes, materiales adquiridos de los RCD para aprovechar materias secundarias y sustancias que lo contengan: consiste en demostrar la importancia del reciclaje en las obras de construcción ya que estas disminuyen costos financieros al ser integrados nuevamente al ciclo económico por medio de la reducción, reciclaje y reutilización de los materiales que son vistos como escombros sin potencial (SDA,2015).

El aprovechamiento en los residuos de construcción y demolición tienen un porcentaje de potencial para ser utilizados nuevamente, por sus componentes de materiales. Existen sitios clandestinos y otros donde no se les realiza una separación adecuada de RCD y estas materias primas se pierden, al no contar con tratamiento correcto que permitan ser recicladas o reutilizadas. Al no ser reciclados o de nuevo utilizados estos residuos generan problemáticas al medio ambiente como el inadecuado manejo de disposición, deterioro paisajístico, acortamiento en la vida útil de los botaderos sanitarios, contaminación en los recursos hídricos, contaminación de suelos entre otros.

Para generar una correcta gestión en los residuos de construcción y demolición (RCD), es necesariamente cumplir un manejo adecuado en el momento de estar en una obra ya que desde allí se inicia la demolición selectiva que según en la secretaria distrital de ambiente, propone una ventaja para el aprovechamiento en los materiales con potencial reciclable o reutilizables al

momento de una demolición, con su único propósito de utilizar residuos y minimizar residuos generados (Secretaria Distrital de Ambiente, 2014). Este proceso consiste en una división selectiva en los diversos de materiales generados en demolición, con el fin de separar adecuadamente materiales que pueden estar contaminados y afectar los materiales reciclados como muebles, hojas de papel, cartones, cristales, asbestos, plásticos y demás, puesto que mientras se realiza la demolición en una obra se hace gestión de separación estratégica, a fin de que la demolición selectiva traiga consigo más rentabilidad en diferencia de los métodos tradicionales. Principalmente trae beneficios económicos debido a que se aumenta la condición de materiales de demolición y se efectúa la falta de realizar separación en una planta de aprovechamiento, además de esto se disminuyen costos en trasportes y procesos de aislar y confinar residuos (Tapias,2017).

Procedimientos en demolición selectiva:

- Separar los residuos sobrantes y las molduras
- Desmontar, retiro de puertas, ventanas, tejas, montajes de agua, energía, y demás.
- Derribar la distribución del edificio y seleccionar materiales.

Lo que se busca en la reutilización es volver a utilizar los diferentes materiales o residuos, el cual ofrece nuevas alternativas de aplicación, ya que se pueden implementar de nuevo en el lugar que se generan o se puedan llevar a cabo en otro tipo de obra debido a que los residuos de construcción y demolición son seleccionados y modificados en materiales aprovechables, para incorporar al ciclo productivo y utilizarlos nuevamente como componentes principales, el reciclaje es seguro si se tiene en cuenta su composición de residuo, disponibilidad en mercados para material reciclable, situación económica de la región y finalmente el compromiso por parte de la comunidad (Tapias,2017).

6.3 Impactos al medio ambiente

Los impactos al medio ambiente por residuos de construcción y demolición (RCD) son varios, sin embargo, los residuos generados en las obras de construcción o demolición de inmuebles, la gestión de estos constituye un problema ambiental significativo ya que afecta directamente al aire, el recurso hídrico y al suelo, repercute al cambio climático y la salud humana (Mejia, Erica; Giraldo Jim;Martinez, 2013).

El vertimiento de RCD en lugares clandestinos trae consigo efectos negativos al medio ambiente provocando contaminación, degradación paisajística, alteración de afluentes naturales, Perdida del suelo fructífero, aunque, el transporte de residuos trae consigo afectaciones de carácter negativo debido a que se generan gases efecto invernadero en la atmosfera y a su vez hay un deterioro en las vías de circulación por su al contenido de material transportado (Gutiérrez et al., 2014).

Tabla 3

Impactos de RCD en diferentes medios

Impactos de RCD		
Medio Inerte	Medio Abiótico	Medio Humano
Consumo de materias primas	Perdida de hábitat por extraer ecosistemas.	Presencia de vehículos pesados ocasionando vibración y ruidos.
Modificaciones geomorfológicas	Acabar con el hábitat por la ocupación de suelos para el vertido.	Degradación paisajística en ecosistemas por vertidos y extracción

Contaminación de acuíferos	pérdida de calidad edáfica en los suelos por acopio de residuos	degradación paisajística urbana por acumulación de residuos en las estructuras principales
Contaminación hídrica y atmosférica		Invasión de suelos urbanos que pueden destinar otros usos

Fuente: Elaboración propia

Todos los impactos presentes en la tabla 3, se pueden clasificar en diferentes aspectos como, crecimiento en la vulnerabilidad urbana, que abarca la inestabilidad de terrenos, modificando los recursos naturales por taponamientos en los afluentes, ocasionando y generando riesgos por deslizamiento en la tierra; seguido a esto se presenta contaminación ambiental, por suelos, recurso hídrico y el aire por material particulado en suspensión; finalmente la acumulación de escombros ocasiona una degradación de la calidad del paisaje ya que hay pérdida de vegetal, afectando fauna y flora por falta de ecosistemas (Acuña Garrido & Muñoz Yi, 2011).

6.4 Economía Circular en RCD

La economía circular surge por primera vez a mediados de la década 1960 por el economista estadounidense Kenneth Boulding, donde Boulding critico la idea de una economía lineal, abordando de esta manera una economía que se preocupe por reciclar materiales y energía, son de importancia para el medio ambiente, más adelante en los ochenta los economistas ecológicos David W. Pearce y Kerry R. Turner (1990) demostraron que la eficiencia en el uso de materiales y al extender la vida útil de los productos, mejorando de manera satisfactoria los recursos naturales y el medio ambiente (Ashish Kothari, Ariel Salleh & Acosta, 2019).

En los últimos años la evolución industrial ha trabajado con un modelo de producción lineal, es decir que la producción de materias primas y recursos naturales han venido acabando como residuo

o desecho sin ser consecuente del daño que se genera al ambiente. A nivel global y económico se evidencia una gran problemática por escasos y sobreexplotación de los recursos, lo que hace que se incremente la necesidad de buscar nuevas alternativas para reutilizar los productos, ya que con ello trae reducir costos en materiales y el gasto en gestión de residuos.

La economía circular busca cambiar rigurosamente los sistemas de producción y consumo, con el modelo de sistemas generativos y restauradores con el fin de conservar el valor de los recursos como, minerales, fuentes hídricas, suelos, energías y productos, impulsando la innovación, competitividad y sostenibilidad. Este modelo busca el valor límite y uso de las materias primas, productos y residuos, para beneficiar el medio ambiente, por el cual se reducen costos para la sociedad y genera rentabilidad a los recursos, por lo anterior apostar a la sostenibilidad a futuro genera un crecimiento económico en biodiversidad, riqueza y recursos naturales (Ellen MacArthur Foundation, 2014).

La economía circular dentro del sector de construcción engloba todo el ciclo de vida del proceso constructivo, como lo puede ser construcción de edificios, carreteras, puentes, donde en esta fase se planifique el uso de productos de construcción reduciendo la producción de residuos de construcción y demolición (RCD), la economía circular busca incorporar repetitivamente estos residuos con el fin de seguir dándoles un valor, esta innovación para los RCD es de gran importancia ya que reduce el impacto ambiental y de los recursos naturales, además aportando un oportunidad económica, y así mismo disponer de una buena gestión en los residuos de edificación y demolición, finalmente busca mejorar el deterioro de recursos, contaminación, deterioro paisajístico y otros (Fundación Conama et al., 2018).

En la Unión Europea las directivas del marco de residuos del 2008 determinaron que en el año 2020 se recuperaría el 70% de los residuos provenientes de construcciones y demoliciones, no obstante, la carencia de seguridad en calidad de edificaciones a partir de materiales reciclados son un inconveniente. En el año 2016 la comisión Europea planteo un protocolo de manera voluntaria para todo el sector industrial sobre la gestión de los residuos de construcción y demolición, con el objetivo de perfeccionar las identificaciones, correcta separación en el inicio de obra y así mismo la recuperación de estos residuos, de igual forma la estrategia, el proceso y la gestión de calidad finalmente para ganar seguridad en los productos que han sido reutilizados e incorporados al sector de construcción (Om, 2020).

Construcción en la economía circular

La demanda mundial por materiales ha venido presentando un aumento durante el siglo pasado debido a la industrialización y la expansión poblacional (Perspectives, 2020), en el circularity Gap Report sólo el 8,6% de la economía mundial es circular (Gap, 2020), esto quiere decir que solamente el 8,6% de las sustancias naturales, combustibles fósiles, metales y biomasa que se incorporan cada año se reutiliza.

El uso global de materias primas ha incrementado el doble del crecimiento en habitantes, La planificación para la cooperación y desarrollo económico encuentra que el uso eficiente en los recursos y así mismo fomentar la economía circular puede mejorar la seguridad de materiales, sino que también ayuda a obtener resultados óptimos ambientales y económicos(Gap, 2020). El objetivo de la economía circular es mantener la integridad del producto durante múltiples ciclos de uso por medio de reparación, renovación y al mismo tiempo implementar un nuevo producto que sea económicamente viable (Hollander et al., 2018).

En el sector de la construcción, el acuerdo de París exige la descarbonización global para el 2050, con el objetivo de evitar impacto de aumento en la temperatura, con este objetivo los informes de situación global publicados anualmente por la ONU medio ambiente, la agencia Internacional de energía (AIE) y la alianza para edificios y construcción (GABC) se concentran en el sector de edificación, construcción y progreso. En el año 2018, el informe destacó que el 36% de construcción y operaciones de edificios representan a nivel global de energía final, y el 39% de dióxido de carbono (CO2) relacionadas con la energía (PNUMA, 2019).

6.5 Normatividad ambiental de RCD en Colombia

La normatividad colombiana establece que la resolución 2397 del 2011 regula que las entidades encargadas de producir volúmenes de RCD, transportador, aprovechar en puestos de disposición final y temporal de escombros en la misma línea, donde se accede a un apropiado manejo de los RCD que incide en un menor impacto ambiental (SDA, 2021).

Tabla 4

Normativa ambiental en RCD

Norma	Concepto
Decreto 357 – 1997	Por lo tanto, se reglamenta el uso de transporte, materiales de construcción y disposición final de escombros.
Decreto 586 – 2015	Se acoge a un eficiente modelo y sostenible de gestión en los RCD en la ciudad de Bogotá D.C.

Resolución 932 – 2015	Por el cual se cambia y adiciona la resolución 1115 del 26 de septiembre de 2012, donde se obliga a los generadores de RCD.
Resolución 715 – 2013	Se toman lineamientos técnico-ambientales para actividades de aprovechamiento y tratamiento de RCD en la capital
Resolución 1115 – 2012	Se acoge a los lineamientos técnico-ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los RCD en la capital

Fuente: (SDA, 2021).

La normatividad nacional para los residuos de construcción y demolición reglamenta una gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y democión – RCD, las cuales se presentan en diferentes normas (SDA,2021).

Tabla 5

Normatividad Nacional en RCD

Norma	Concepto
Resolución 541- 1994	Se ajusta carga, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos, agregados de construcción y demolición y capa orgánica, suelo, subsuelo de excavación.

Decreto 948-1995

Se controla la prevención de contaminación atmosférica y protección de la calidad del aire.

Decreto 1713-2002

Artículo 44 "en la recolección de escombros, son responsables los generadores de escombros, transporte y disposición en vertederos autorizados. El distrito y habitantes prestadores de servicios de aseo son encargados de coordinar estas actividades en el marco de los programas establecidos para un desarrollo semejante al plan de gestión de residuos sólidos. PGIRS".

Ley 769-2002

Se difunde el código nacional de tránsito terrestre.

Decreto 4741-2005

El cual regula prevenir el uso de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral

Ley 1259-2008

Se establece el comparendo ambiental a infractores en la norma de limpieza, aseo y a recolectar escombros.

Decreto 2981-2013

Por tanto, se reglamentan la prestación de servicios públicos de aseo.

Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2016)

7.Estado del arte

La revisión del estado del arte tiene como propósito realizar una búsqueda de información bibliográfica donde se pueda caracterizar el área de investigación. De esta manera, es posible

conocer los enfoques que han sido utilizados para abordar el procedimiento de residuos de construcción y demolición (RCD) a nivel global y nacional, así mismo saber que aportes se han realizado en la actualidad para identificar conocimientos y oportunidades de estudio.

La Unión Europea (UE) se comprometió a establecer un sistema sostenible, que busca incitar el uso eficiente de los recursos para lograr una economía limpia y de modo circular, de esta manera el sector de la construcción desarrolla un papel importante en el plan de acción de economía circular del año 2015, abarcando desde la fase de productividad y del consumo hasta la gestión de residuos de la contratación de materias primas secundarias, con el propósito de vincular la economía circular de en materiales de construcción y demolición (Ramírez et al., 2020).

En los últimos años, los desechos de construcción y demolición han venido interviniendo en la gran cantidad de emisiones efecto invernadero, para esto es fundamental brindar materiales y soluciones de construcciones ecoeficientes, así mismo agregar principios de Economía circular y lograr eficiencia a los recursos naturales, que se han venido deteriorando y afectando directamente por la urbanización y crecimiento de la población (Mercader-Moyano & Esquivias, 2020); uno de los términos que llama la atención del presente artículo es la descarbonización, es decir la disminución de carbono (CO₂) que se presenta durante la energía primaria consumida en el sector de construcción, lo que busca esta alternativa es reducir el consumo de demanda energética y reducir el consumo eléctrico a través del uso de nuevas tecnologías renovables y bajas en carbono, en este contexto la búsqueda de alternativas que minimicen la extracción de materias primas, incorporando materiales reutilizables que disminuyan el consumo energético y tener que ver con la fabricación de productos de la construcción es una forma de progresar a la construcción circular (Grădinaru et al., 2020).

El asunto de residuos de construcción y demolición (RCD), ha venido siendo de gran importancia, hablar de países desarrollados como Europa y Japón con un compromiso de eficiencia en la gestión de RCD, la generación de residuos en construcción y demolición luego de la segunda guerra mundial, se encontraban con una gran preocupación al no contar con los recursos necesarios para establecer nuevamente la construcción de viviendas y evidenciando la gran cantidad de residuos que se habían generado, en donde se hacen una serie de estudios para introducir estos residuos de nuevo al mercado.

Europa por estas circunstancias introdujo el progreso de su legislación en la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en aprovechar el empleo de materiales reciclados en las edificaciones o construcciones, obteniendo incrementar el aumento de este mercado y conformar un ciclo de reciclaje que tiene como fin asegurar, prevenir y recuperar de manera completa los residuos en obras civiles o demolición, implicando de esta manera el desarrollo a nuevos productos y sustancias con el ciclo de vida más extenso posible, así mismo la introducción de nuevas tecnologías para el acortamiento de los residuos generados que son separados identificando y clasificando en obra para utilizarlos nuevamente (Pr et al., 2014).

A nivel internacional, especialmente en los países industriales se pueden evidenciar que el reciclaje y la reutilización de los residuos de construcción y demolición son vistos como objetivo principal en los planes estratégicos, al integrar nuevamente estos residuos tienen un manejo sostenible y amigable con el medio ambiente; en cambio en los países en vía de desarrollo como por ejemplo Colombia, estas actividades tienen un enfoque en los residuos sólidos urbanos lo cual tiene una disposición final del 92.8% y resto son destinados a botaderos a cielo abierto de manera incorrecta. El departamento nacional de planeación mediante el consejo nacional de política económica social (CONPES) expone que el porcentaje del componente de los residuos sólidos en

Colombia son del 60% al 65% es materia orgánica incluyendo madera, un 24% a plásticos, papel, vidrio, cartón y metales, y residuos como textiles peligrosos y escombros más cauchos son de un equivalente a un 11% (National Council of Economic and Social Policy, 2018). Entrando en contexto Colombia presenta poca exigencia de regulaciones ambientales en el sector de la construcción, las cuales se han presentado y que obligan a cumplir con sistema de gestión ambiental en obras de construcción para tener un conveniente proceso en los residuos de construcción y demolición, ya que son responsables las entidades ambientales en generar mecanismos de inspección para cumplir con la normativa en las escombreras a cargo (Ferreira J. Sebastián. Serrano María F., 2009).

Adicional a lo anterior se evidencia de que no se cumplen con las normas Ambientales se presenta un desconocimiento en los residuos de construcción y demolición por parte de profesionales y personal contrato para mano de obra, debido a que no se realiza y se tiene el concepto de reciclar y reutilizar los materiales que se pueden aprovechar durante la construcción y demolición, sin embargo Colombia maneja el plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) que está enfocado en el sector de RCD, donde del mismo modo se presenta una deficiencia en los planes de manejo ambiental, así mismo cuenta con disposición inadecuada de RCD y pocas escombreras autorizadas (Jaramillo H, 2008).

En Argentina, las únicas estadísticas disponibles referentes a los RCD provienen del observatorio nacional para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos (GIRSU), las cuales presentan que solo un 3% corresponde a RCD del total de los residuos sólidos generados, es decir que existen pocos antecedentes que contemplen acciones a implementar, sin embargo hay modelos de cuantificación y composición de los RCD que se tienen inicialmente desde la etapa de construcción y se basan en cantidades de materiales empleados, estos hechos evitan la demolición

selectiva, facilitando la separación adecuada en vertederos con disposición de reciclaje (Altamira et al., 2018).

8. Metodología

En esta primera fase, se revisaron fuentes primarias, como artículos reconocidos, herramientas como Scopus, Science Direct, Google Scholar, revistas científicas, normatividad e investigación de centros especializados en los residuos de construcción y demolición. Al mismo tiempo se realizó búsqueda relacionada con el tema de reciclaje y economía circular dentro de la construcción, con el objetivo de confirmar experiencias, tecnologías, investigaciones y usos que se han realizado pertinentemente a la gestión de residuos de construcción y demolición más conocidos como escombros.

En la segunda fase, se consultaron fuentes secundarias como tesis, con el fin de revisar antecedentes y datos relevantes con la investigación, de esta forma también se buscaron ejemplos que evidencien la importancia de utilizar nuevos productos y obtenciones de materias primas a partir de los residuos en construcción y demolición y los impactos positivos que se tiene al utilizarlos de nuevo al ciclo de vida.

Finalmente, en la búsqueda de investigación se consiguió que actualmente se están realizando nuevos métodos de construcción desde el inicio y fin de una obra para garantizar desde el principio los materiales que pueden ser incorporados como materia prima, de la misma forma se examinaron avances y normatividad que se tiene en Colombia para realizar y avanzar cada vez mejor con la problemática que generan estos residuos. Por último, se encontraron empresas relacionadas con el aprovechamiento de residuos en construcción y demolición con el fin de conocer la cantidad y uso de estos residuos.

De esta manera es importante conocer el ciclo de vida ya que se divide en etapas diferentes; diseño, producción, construcción, uso y fin de vida. Al llegar al ciclo de vida estos residuos de

construcción son depositados en vertederos generando un impacto ambiental o pueden tener un impacto positivo al ser incorporados a la etapa de producción, reduciendo la extracción de materias primas, esto quiere decir que en esta metodología no solo se realiza un cambio positivo, sino que también su aprovechamiento en los residuos provenientes de construcciones y demolición.

9. Resultados y Discusión

A partir de la revisión bibliografía realizada se identificaron métodos cualitativos para minimizar la generación de residuos de construcción y demolición para ayudar de manera sostenible al medio ambiente, analizaremos un estudio del caso, bajo el concepto de Lean, planes de gestión de RCD, aprovechamiento en residuos de construcción y demolición y modelos de negocios circulares, demostrando la reducción de residuos anteriormente mencionados, es ideal para garantizar un mejor ambiente, social y económico se presenta estudios realizados en California (Salgin et al., 2016).

9.1 Métodos de diseño de Lean

Principalmente se analizaron los métodos de diseño Lean que contienen diferentes funciones, lo cual están encargados de diseño, planeación, objetivos, control, toma de decisiones y documentación.

Entrando en contexto el primer método se trata sobre Integrated Project Design (IPD) basado en un contrato multilateral que es firmado por participantes claves en el proyecto, así mismo el Target Value Design (TVD) es un método de ayuda por partes interesadas desde su etapa inicial, además este diseño es utilizado dentro de los tiempos y costos adecuados también Set based Design (SBD) basado en el diseño que busca alternativas para alturas de piso, reduciendo los aspectos negativos que se puedan presentar durante el proyecto.

Por otro lado tenemos Choosing by Advantages (CBA) método de tomar decisiones para completar la metodología del diseño basada en el diseño dinámico, buscando la mejor alternativa que beneficie de manera óptima de igual modo las hojas A3 Reports (A3) son formatos donde se presentan propuestas del estado en que se encuentra un proceso de construcción de manera similar

hallamos un Last planner system (LPS) realizado por Ballard y Howell, procedimiento para planificar y producir un trabajo continuo durante el diseño, programación y construcción de modo semejante está Value Stream Mapping (VSM) funciona para identificar los residuos y oportunidades de mejora en el proceso adicionalmente los estudios de primera prueba (FRS) se basan en una herramienta que diseña procesos repetitivos que cumpla criterios de seguridad, calidad, tiempo y costo, probándolos durante su primer funcionamiento (Salgin et al., 2016).

Finalmente nos encontramos con el noveno diseño modelo de información para la construcción (BIM) encargada de verificar el diseño y su valor permitiendo coordinación y estrategias durante su diseño, la finalidad de estas herramientas es minimizar los residuos sólidos, optimizando como podemos identificar en los siguientes estudios de caos que se presentaron en EE.UU (Salgin et al., 2016).

El proyecto de hospital Sutter Medical Center, está ubicado en Castro Valley, California, EE. UU, fue el primero en la industria en firmar un contrato de Gestión Integrada de Proyectos (IPD) por 11 partes, es decir que se constituye en un convenio internacional donde cada parte tiene un nivel de responsabilidad incluyendo el propietario (Construction, 2021), en los proyectos para la simplificación de residuos de construcción y demolición se encontró mayor reciclaje, según Ferma Corporation (2010) encargada del manejo de los residuos, el proyecto uso el potencial del BIM, encargado de lograr mejores soluciones por medio de modelos 3D, se determinaron aspectos del diseño y se corrigieron de manera eficiente, esta herramienta permitió una información más detallada, mejoro la logística, logro ahorrar costos y tiempos a través de un mayor uso de componente prefabricado, de acuerdo a la revisión en la literatura la abundancia de residuos verdes reciclados alcanzaron el 100% así mismo la combinación de vigas de acero y losas de hormigón y escombros un 91%, el reciclaje inicia su proceso en la fase de construcción

apoderándose de las decisiones en el diseño, contribuyendo a la mitigación de residuos en el campo de construcción y demolición (Salgin et al., 2016).

Segundo caso de estudio en el hospital Temecula Valley se encuentra ubicado en Temecula, este resultado obtuvo la reducción de la cantidad de material necesario debido al equipo se mejoró la innovación a partir de los diseños de Lean, al igual que IPD, que ordena conveniencias de modo comercial de los integrantes; TVD apoya a diseñadores a proporcionar un proyecto de valor; la CBA, mejora en las decisiones he informes tipo A3, los cuales contribuyen a comunicar y documentar decisiones en la enseñanza constante.

Finalizando la mezcla de los métodos de diseño de Lean, otorgando alternativas singulares al equipo de trabajo. La colaboración obtuvo como resultado un proyecto de construcción acelerado y costos limitados, ciertos componentes estuvieron prefabricados para disminuir colaboraciones y así mismo los tiempos de instalación estuvieron compartidos como limpieza, manejo, alce y división de materiales mejorando la calidad de la construcción este proceso fue efectivo gracias a la implementación directa del VSM o mapeo del proceso, la cual permitió diseñar un proceso y su productividad (Salgin et al., 2016).

El último proyecto se ubica en San Francisco, California, Aplica los métodos de diseño Lean, busca la clasificación LEED para convertirse en uno de los mayores proyectos hospitalarios, pero en especial busca tener un ambiente sostenible, incluyendo la disminución de residuos de construcción y demolición. Se presentaron cuatro ejemplos de reducción en RCD, el primer ejemplo es disminuir el uso de materiales relacionado con la altura de losas en el piso lo cual si se tiene una altura menor se ahorra materiales, recursos, tiempo y dinero (Arroyo et al., 2012).

En el segundo ejemplo se relaciona la innovación del diseño estructural usando procedimientos de diseño Lean, y lograr una edificación estable, primeramente efectuaron un estudio de manera táctil, empleando un modelo informático y así formar un experimento del diseño en el proyecto y diferentes alternativas para la estructura, una aplicación incluía instalar muros densos, viscous damping wall (VDW), descubrimiento antisísmico japones que todavía no era empleado en EE.UU, a manera de progreso este proyecto estructural los amortiguamientos viscosos producirán un sistema estructural eficiente con una conducta antisísmica mejor que los convencionales este dispositivo antisísmico redujo el peso del edificio de un 30lb/pie² a ser de 20lb/pie², logrando una reducción neta en la tonelada de acero y lo más importante ahorrando recursos, materiales y economía (Salgin et al., 2016).

En este tercer ejemplo reducir espacio general para aumentar el valor y la cantidad del cuidado de las personas hospitalizadas, estos traslados deben ir en las prioridades organizadas y de planificación para lograr mayor eficiencia, rompiendo con los límites tradicionales, tanto como físicos como funcionales, el método promueve en hacer más con los mismos recursos en enfocarse en el nivel del diseño permitiendo aprovechar áreas con menor cantidad de materiales, se apuesta por un efecto funcional en la disminución de residuos de construcción y demolición (Salgin et al., 2016).

Finalmente, el último ejemplo se basa en la selección de material acústico, ya que los hospitales tienden hacer lugares con ruidos, HerreroBoldt Partners contribuyo con especialistas en el área de sonido para crear un hospital de eficacia económica y cumplir con las condiciones acústicas de la organización, se presentan clases diferentes de paredes, complaciendo el requerimiento acústico: la transmisión sonora de STC 40, 45 y 50, esta transmisión sonora indica un rango alto y que hay mejor atenuación del sonido transmitido por aire. Inicialmente la pared de clase STC 45 contaba

con tres capas de cartón yeso estándar. La pared STC 40 fue elaborada con cuatro capas de drywall. Los investigadores opinan que el resultado fue posible gracias al equipo de diseño por innovar y tomar decisiones apoyadas en la utilidad de TVD, SBD, CBA y A3, y sugieren que este método de diseño Lean apoya la innovación, mejora proyectos y principalmente incluye la simplificación de los desechos de construcciones y demoliciones y que a su vez apoya para reciclar materiales de construcciones (Salgin et al., 2016).

El diseño de Lean se entiende como métodos que logran disminuir los residuos generados en obras de construcción y demolición y dan el primer paso para entender los beneficios que trae consigo la reducción de los residuos de obras y demolición de igual modo se evidencio la reducción de materiales en RCD por utilizar la menor cantidad de materiales y prevenir su desperdicio además de esto elegir material para disminuir el impacto ambiental y facilidad de reciclar de igual modo los autores creen que reducir costos y tiempo puede disminuir indirectamente los RCD, sin embargo los residuos de construcción y demolición con modelos de diseño de Lean pueden beneficiar los resultados eficientemente.

9.2 Planes de Gestión de RCD

Por otra parte se presentan propuestas de planes de gestión de RCD enfocadas solamente en proyectos de edificación, el origen de este sistema es intensificar la recuperación de materiales para aprovechar y reducir la generación de residuos en lugares futuros (McGrath, 2001).

SmartWaste Waste Management además permite medir, informar y gestionar los desechos provenientes de los sitios de construcción, buscando beneficios ambientales y ahorros en costos, esta plataforma es ideal para la reutilización y el reciclaje en el sitio, garantiza informes completos

de RCD y excavación, tiene información detallada de cada de material mejorando la tasa de reciclaje de una empresa (SmartSite, 2020).

El Waste Management Mapping Model WMMM proporciona una herramienta alternativa que planifica los procedimientos de gestión de residuos en los sitios de construcción (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles, 2004). Las prácticas adecuadas incorporadas en Hong Kong sobre la manipulación de residuos, este modelo trajo consigo un plan de gestión de residuos antes de iniciar actividades de edificaciones. El plan se encargaría de especificar los recursos para manipular correctamente residuos y mitigar las grandes cantidades de residuos a través de la determinación oportuna del material que debe ser reutilizado (Shen et al., 2010).

Una aplicación del sistema de código de barras (Incentive Reward Program) para reducir los desechos de la construcción, para calcular el tiempo real del intercambio de materiales entre el almacén y las cuadrillas y de este modo evaluar el nivel de emplear los materiales, este programa recompensa de incentivos grupales que indica a trabajadores a minimizar los residuos de materiales de construcción (Chen et al., 2002)

El modelo de información de construcción (BIM) actualmente uno de los desarrollos más recientes y favorables en la industria de la construcción, ingeniería y arquitectura (Shujaa et al., 2014). Este método consiste en la optimización de la planificación, construcción y gestión de edificios que incluye toda la información relativa a sus ciclos de vida y que a su vez conecta a todos los actores del proceso de construcción a lo largo de las diferentes etapas de esta.

Principalmente se basa en un modelo virtual donde se simula un proyecto de construcción con la tecnología BIM, contiene geometría precisa, información geográfica, cantidad y propiedades de elementos de construcción, estimación de costos, registro de materiales y cronograma del proyecto.

Este modelo digital equivale a una estructura física que denota y evita su demolición una vez finalizando su ciclo útil, de esta manera el diseño garantiza que el modelo sea lo más preciso posible antes de llevar a cabo el proyecto físicamente (Azhar, 2011).

Tabla 6

Propósitos de un modelo de información de construcción

Visualización	Representaciones en 3D,4D,5D,6D,7D
Dibujos de Fabricación	Detalles del sistema de Construcción en conductos como chapas metálicas que se pueden presentar rápidamente cuando el modelo esta completo
Revisión de códigos	Los departamentos de bomberos, funcionarios y otros pueden usar modelos para revisar los proyectos en construcción
Costos	El software BIM tiene funciones integradas de estimación de costos, es decir cantidades de materiales que se extraen y se actualizan automáticamente cuando se realizan cambios en el modelo
Secuencia de construcción	El programa permite usar de manera efectiva los programas de pedido, fabricación y entrega de materiales para todos los componentes de la construcción
Detección de Conflictos e interferencias	Este modelo en 3D permite de forma instantánea y automática identificar y verificar si las tuberías se cruzan con vigas, conductos o paredes de acero.
Análisis Forenses	Un modelo BIM de construcción se puede adaptar fácilmente para demostrar gráficamente posibles fallas, fugas, planes de evacuación y otros.
Gestión de Instalaciones	Pueden ser utilizados por los departamentos de gestión de instalaciones para renovaciones, planificación de espacios y operaciones de mantenimiento.

Fuente: (Azhar, 2011).

Este modelo matemático basado en BIM, es una herramienta que podría ser utilizado en la etapa de diseño para evaluar la cantidad de material que puede ser reutilizable y recuperado de un edificio durante su vida útil, también suministra información sobre la cantidad de residuos que pueden ser reciclados, se espera que BWPE sea utilizado por personal capacitado de la industria de construcción para evitar acabar con el ciclo de vida de un edificio,(Akanbi et al., 2018), mediante los datos suministrados este modelo indica que los edificios con estructura de madera son el 65% reutilizables y el 35% reciclables, es decir que desarrolla una excelente capacidad para evaluar diseños de edificios y que a su vez busca favorece la economía, el medio ambiente y la parte social.

9.3 Aprovechamiento en residuos de construcción y demolición

A continuación, se exponen alternativas que se encuentran viables en manejo de residuos de construcción y demolición y que están basados en la economía circular favoreciendo factores ambientales, ayudando a presentar cambios positivos para las nuevas generaciones, así como conocimientos y gestiones en los residuos de obras de construcción y demolición.

La secretaria distrital de ambiente regula lineamientos para tratamientos y aprovechamiento de residuos de construcción y demolición los cuales son sitios donde se llevan a cabo selección selectiva, procedimiento y acopiar de los RCD, introduciendo parámetros ambientales que utilizan generadores con el fin de medir la eficiencia de producción en construcción, así mismo como el decreto 586 – 2015 de Bogotá que acoge un modelo eficiente y sostenible en la gestión de los residuos de construcción y demolición (Secretaría Distrital de Ambiente, 2016).

El escombros reciclado es el concreto conocido como material de construcción universal, se conoce por su proceso constructivo y sus propiedades de resistencia, este residuo está compuesto

por cemento, agregado, aire y agua, lo cual presenta una mejor función en actividad como reciclaje, en la actualidad se recicla por medio del método de trituración, esta máquina tiene la capacidad de convertir el material en trozos gruesos y pequeños con el fin de garantizar mejores agregados (WBCDS, 2012).

El concreto reciclado utilizado como agregado grueso comúnmente se utiliza en base vial, pavimento y subbase granulares viales, por sus propiedades de compactación y características en calidad y composición este agregado reciclado presenta una mejor fuerza brindando muy buenas bases de construcción para nuevo pavimento (Keifer & Effenberger, 2020).

Podemos analizar que el concreto reciclado es un material aprovechable, que sirve como producto primario para la generación de nuevo concreto, favoreciendo la reducción de costos, materiales, reduciendo impactos ambientales y cumpliendo de manera eficiente y sostenible la reutilización de materiales RCD.

Tecnología Constructiva con Plásticos Reciclados consiste en reciclar residuos de plásticos para fabricar elementos constructivos favorece de manera positiva el medio ambiente, debido a que se disminuye la cantidad de residuos depositados de manera inadecuada en diferentes lugares como rellenos sanitarios, acumulaciones a cielo abierto, donde se busca dar una solución a estos por medio de selección que son triturados con un molino especial, y de esta manera son incorporados a mezclas cementicias, sin necesidad de lavado previo ya que su estado es óptimo y son encontrados en acopios.

Durante el proceso para la obtención de este material es por medio de mezcla de hormigón que es vertida en máquina de fabricar ladrillos, cuenta con bajos costos en mano de obra, ahorro de material ya que en su mayoría se utilizan plásticos reciclados, la obtención de este elemento

constructivo tienen una baja densidad, resistencia, excelente aislación térmica, baja absorción de agua y beneficios ecológicos. Los envases de polietileno tereftalato (PET) son molidos con tapas, además se aceptan la presencia de envases de tipo PVC (Gaggino et al., 2008).

Con esta tecnología se favorece la contaminación de residuos sólidos debido a que se le da un valor agregado al material, además porque pasa a ser un subproducto u materia prima y un proceso simple que beneficia a diferentes ámbitos ya sea económico, social y ecológico garantizando las buenas prácticas y concientizando a las personas para realizar una selección selectiva y dar oportunidad y aprovechamiento a estos residuos que impacta el medio ambiente de manera negativa.

Por último, se encontró una tecnología que busca reducir la generación de residuos de construcción el proceso de impresión 3D es capaz de imprimir piezas prefabricadas, fachadas, casas, mobiliario urbano y componentes de concreto reforzado para incorporarlos a los procesos de edificaciones, el proceso de impresión 3D está diseñado con anterioridad en computador que traduce en diferentes trayectorias implicando capas de material que se impriman un elemento urbano, pared divisoria, casa (Concreto, 2021).

Este proceso es una tecnología innovadora utilizando la imaginación del ser humano, a su vez reduciendo costos de fabricación, disminuyendo tiempo, minimizando residuos de material, prefabricación de piezas de concreto con figuras geométricas sin necesidad de acudir a nuevos productos y principalmente siendo amigable y sostenible con el medio ambiente (Concreto, 2021).

El resultado de esta impresora presenta una casa origami que está ubicada en la Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia, que obtuvo excelentes resultados con un tiempo de 27 horas

en culminar, la metodología de este diseño tuvo como modelo colaborativo esquemas BIM encargado de diseñar planos horizontales acotados, redes y arquitectura que fueron a la impresora 3D para su elaboración (Mesa, 2020), esta compañía se encuentra encaminada a minimizar los impactos ambientales aportando proyectos innovadores que avancen hacia un futuro más eficiente y sostenible (Construdata, 2021).

Figura 2

Casa Origami con Impresora 3D



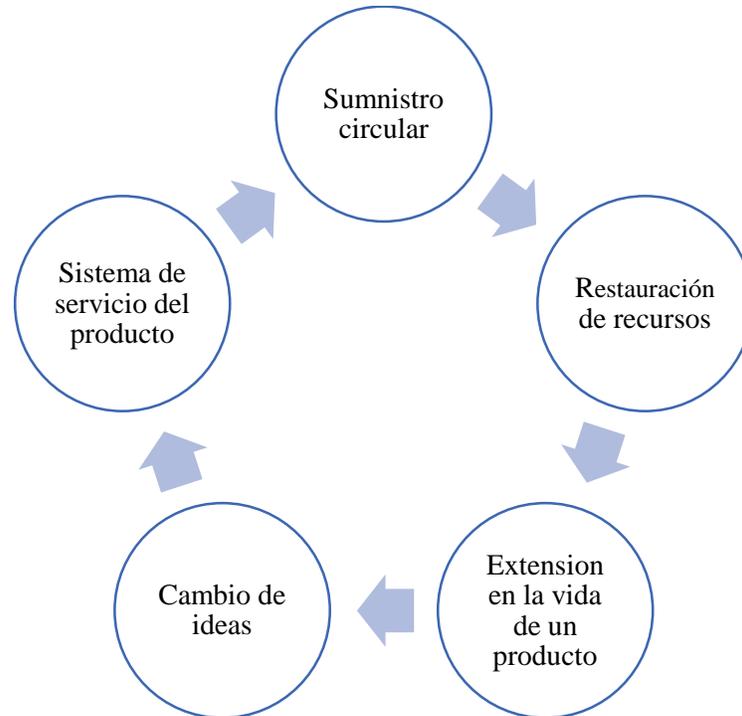
Fuente: (Construdata, 2021)

9.4 Modelo de Negocios Circulares

Inicialmente no se evidencia un concepto claro para saber en que se basa un negocio circular (Om, 2020), ya que los modelos circulares negocio y producción, presentan una actividad importante que pueden realizar transformaciones hacia una economía circular competente por medio del uso moderado en los recursos naturales.

Figura 3

Modelo de negocio para la Economía Circular



Fuente: (Autor)

Modelo de Suministro Circular, estos modelos toman decisiones estratégicas dejando a un lado los materiales tradicionales, las empresas pueden reducir los impactos al ambiente provenientes de abastecimiento, en el periodo que realiza el material agregado para que en su producción no halla generación en desechos, en contexto el suministro circular se ve como una manera de recuperar los medios naturales, modelo que implica la producción del componente principal secundario a partir de los flujos de residuos, esto trae consigo la transformación del material proveniente de metales, plásticos, papel, vidrios, etc., vendiéndose a otras empresas como simbiosis industrial, continuando el modelo de extensión de vida del producto, busca ampliar su vida útil de manera que los mecanismo a tener en cuenta son su durabilidad, reutilización,

reparación y la remanufacturado logrando obtener una nueva vida útil, seguido a estos los modelos de intercambio que buscan compartir modelos de plataforma es decir que estos productos reducen el costo de convenio y los riesgos de intercambio de activos y finalmente los sistemas de servicio del producto los cuales intercambian un beneficio físico con un integrante del servicio, siendo de esta manera se tienen modelos orientados al producto, usuario y a resultado (OCDE, 2019).

Un ejemplo que se encontró relacionado a los modelos de negocios circulares es de una empresa Danesa que posee una tecnología patentada, Advance Nonwoven, donde su objetivo es establecer capacidades comerciales y así mismo tener productos sostenibles y renovables elaborados en fibras textiles o de materiales aprovechados, la compañía abastece el grupo de fabricación, ofreciendo soluciones sostenibles a varias ofertas como aislamiento para edificios, maquinas, tapicerías, tapiz para creación de agricultura, envase para alimento y material de elaboración duradera (Om, 2020).

10. Conclusiones

La gestión de los residuos de construcción y demoliciones (RCD) es un tema que aún se debe fortalecer con la tecnología del modelo de información de construcción (BIM), por parte de las entidades encargadas por falta de cumplimiento en la normatividad y procesos de reutilización.

Para obtener un buen manejo y aprovechamiento de los (RCD) se debe realizar desde su etapa inicial de planeación en un proyecto, pues generalmente estos residuos son provenientes por falta de conocimiento en la normativa, procesos de reciclaje y reutilización en el lugar, clasificación en acopios, acumulación de estos ocasionan incrementos en los residuos de obras, lo mejor que se puede realizar en estos casos es hacer cumplir la normativa y el aprovechamiento de cierta cantidad de estos, así como se ha realizado en los estudios de casos.

Las construcciones sostenibles son el primer paso para aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD), incentivar a los constructores a realizar la reutilización de edificaciones, materiales reciclados permite generar un impacto positivo con el ambiente y su entorno, reduciendo el consumo de los recursos naturales.

La cantidad de materiales de RCD son generadores de impactos negativos por ello es adecuado realizar una separación de residuos que permitan su proceso de recuperación y aprovechamiento dentro de las edificaciones, construcciones u obras.

Para terminar las alternativas de aprovechamiento en los residuos de RCD demuestran que es posible mejorar la problemática ambiental con métodos cualitativos y modelos de información de construcción como BIM que es utilizado en la etapa de diseño para evaluar la cantidad de material que puede ser reutilizado y recuperado durante su vida útil.

11. Referencias

- Acuña Garrido, F., & Muñoz Yi, V. (2011). Ingeniería y Desarrollo. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 10(10), 94–104.
<http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/1584/4490>
- Akanbi, L. A., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Ajayi, A. O., Davila Delgado, M., Bilal, M., & Bello, S. A. (2018). Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. *Resources, Conservation and Recycling*, 129(November 2017), 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026>
- Aldana, J., & Serpell, A. (2012). Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: Un metaanálisis. *Revista de La Construcción*, 11(2), 4–16. <https://doi.org/10.4067/s0718-915x2012000200002>
- Altamira, C., Sosa, M. E., & Zega, C. (2018). *RECYCLING OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTES*.
- Arroyo, P., Tommelein, I. D., & Ballard, G. (2012). “ Choosing By Advantages ” in the AEC. *Proceeding of 20th Annual Conference of IGLC*, 1(510).
- Ashish Kothari, Ariel Salleh, A. E., & Acosta, F. D. y A. (2019). Economía Circular. In *Ayan* (Vol. 8, Issue 5).

Azhar, S. (2011). *.d., a.m.asce. 11(Bazjanac 2006), 241–252.*
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)

Bustos, C., Pumarejo, L., Cotte, E., & Quintana, H. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión Construction demolition waste (CDW), a perspective of achievement for the city of Barranquilla since its manageme. *Ingeniería de Desarrollo, 35(2), 533–555.*
<https://www.redalyc.org/pdf/852/85252030015.pdf>

Chen, Z., Li, H., & Wong, C. T. (2002). An application of bar-code system for reducing construction wastes. *Automation in Construction, 11(5), 521–533.*
[https://doi.org/10.1016/s0926-5805\(01\)00063-2](https://doi.org/10.1016/s0926-5805(01)00063-2)

Conconcreto. (2021, 21 abril). *Impresora 3D – Constructora Conconcreto.*
<https://conconcreto.com/impresora-3d/>

Construdata. (2021). *Impresora 3D gran formato de concreto en Colombia* [Ilustración].
construdata. <https://www.construdata.com/noticias/impresora-3d-gran-formato-de-concreto-en-colombia-1862>

Construdata. (2021, 21 abril). *Impresora 3D gran formato de concreto en Colombia.*
<https://www.construdata.com/noticias/impresora-3d-gran-formato-de-concreto-en-colombia-1862>

Construction, D. (2021, 12 marzo). *Sutter Health Eden Medical Center.* DPR Construction.
<https://www.dpr.com/projects/sutter-medical-center-castro-valley>

- Ellen MacArthur Foundation. (2014). *Hacia una Economía Circular - Resumen Ejecutivo*. 9. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/EMF_Spanish_exec_pages-Revise.pdf
- Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014). An evaluation of environmental impacts of construction projects. *Revista Ingenieria de Construccion*, 29(3), 234–254. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732014000300002>
- Ferma Corporation. (2010). *Demolition | Ferma Corporation*. Fermacorp. <http://www.fermacorp.com/services/demolition/>
- Ferreira J. Sebastián. Serrano María F. (2009). Aprovechamiento de los escombros para la producción de concreto. *II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*, 2.
- Fundación Conama, Council Green Building, & RCD Asociación. (2018). Economía Circular en el ámbito de la construcción. *Congreso Nacional Del Medio Ambiente 2018*, 1–63. [http://www.conama.org/conama/download/files/conama2018/GTs 2018/6_final.pdf](http://www.conama.org/conama/download/files/conama2018/GTs%2018/6_final.pdf)
- Gaggino, R. ; Berretta, H. ; Gatani, M. ; & Arguello, R. (2008). Nueva Tecnología Constructiva con Plástico Reciclado. New constructive technology with recycled plastic. *Ciencia*, 3, 109–123.
- Gap, C. (2020). *Circularity gap*.
- Garzón, E., & Sánchez-Soto, P. J. (2013). Planificación de recogida y flujo de residuos sólidos (de construcción y demolición, hormigón, cerámica y otros) mediante la utilización de una herramienta informatizada para su gestión sostenible. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 52(5). <https://doi.org/10.3989/cyv.2013.v52.i5.1231>

- Giesekam, J., Densley, D., Adams, N., Stief, P., Dantan, J., Etienne, A., & Siadat, A. (2018). ScienceDirect ScienceDirect Barriers and drivers in a circular economy : the case of the built France of the built Barriers and drivers circular economy : the case environment environment b analyze the functional A new and physical architecture Katherine . *Procedia CIRP*, 80, 619–624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>
- Gutiérrez, C. J. O., Rodríguez, F. S. G., Ramírez, J. A. S., Gómez, K. J. R., Fajardo, N. A. P., Echeverría, V. A. Z., Alarcón, W. A., López, Y. A. E., García, Y. X. F., & Aguirre, A. A. (2014). *Guía para la elaboración del Plan de Gestión Integral de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en obra*. 52.
- Hollander, D., Version, D., & Hollander, D. (2018). *MANAGING*. <https://doi.org/10.4233/uuid>
- IGAC. (2017). *CARTILLA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) EN OBRA IGAC*.
- Jaramillo H, Z. L. (2008). Aprovechamiento de los residuos organicos en colombia. *Aprovechamiento de Los Residuos Organicos En Colombia*, □ 49(Gestion Ambiental), 69–73.
- Keifer, G., & Effenberger, F. (2020). LA ECONOMIA CIRCULAR COMO ALTERNATIVA PARA EL RECICLAJE DE CONCRETO (RCD) EN UNA OBRA CIVIL. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Martín, D., Aparicio, P., & Galán, E. (2018). Mineral carbonation of ceramic brick at low pressure and room temperature. A simulation study for a superficial CO₂ store using a common clay as sealing material. *Applied Clay Science*, 161(April), 119–126.

<https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.04.021>

McGrath, C. (2001). Waste minimisation in practice. *Resources, Conservation and Recycling*, 32(3–4), 227–238. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(01\)00063-5](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00063-5)

Mesa, A. M. (2020). ¿CÓMO NACE LA IMPRESIÓN 3D DE GRAN FORMATO EN COLOMBIA? 360 en concreto.

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/categoryid/168/categoryname/innovacion-y-tendencias/como-nace-la-impresion-3d-en-colombia>

Mejia, Erica; Giraldo Jim; Martinez, L. (2013). Residuos de Construcción y Demolición: Revisión Sobre su Composición, Impactos y Gestión. *Cintex*, 18, 105–130. <https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/download/52/54>

National Council of Economic and Social Policy. (2018). National Sustainable Building Policy. *Consejo Nacional de Política Económica y Social*, 39. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3919.pdf>

Om, O. N. (2020). Hoja de Ruta. *Carreteras*, 4(206), 4.

OCDE. (2019). “Business Models for the Circular Economy: Opportunities and Challenges for Policy”. *OCDE*, 1–112. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/g2g9dd62-en/index.html?itemId=/content/publication/g2g9dd62-en>

Perspectives, P. (2020). *Improving resource efficiency and the circularity of economies for a greener world*. 20.

Pr, B., Historia, B., Construcci, D. E. L. O. S. R. D. E., Luego, E. N. A., Mundial, G., Legislativo,

- M., & Rcyd, P. L. O. S. (2014). *Gestión de residuos de construcción y demolición en alemania*. 1–7.
- Reutilizar, R., & Valorizar, R. (2015). *Gestión integral de residuos de construcción y demolición*.
- Salgin, B., Arroyo, P., & Ballard, G. (2016). Explorando la relación entre los métodos de diseño lean y la reducción de residuos de construcción y demolición: tres estudios de caso de proyectos hospitalarios en California. *Revista Ingeniería de Construcción*, 31(3), 191–200. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732016000300005>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2016). Lineamientos ambientales para los centros de tratamiento y/o aprovechamiento – cta de residuos de construcción y demolición. *Bogotá D.C.*
- Shen, L. Y., Tam, V. W. Y., Tam, C. M., & Ho, S. (2010). *Authors : Address : Department of Building & Construction City University of E-mail address : 7*, 1–7.
- Shujaa, S., Gardezi, S., Shafiq, N., & Nurudinn, M. F. (2014). *Challenges for Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Challenges for Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Malaysian Construction Industry. June*. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.567.559>
- Silva, R. V., De Brito, J., & Dhir, R. K. (2014). Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials*, 65, 201–217. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117>
- SmartSite. (2020, 21 mayo). *Construction Site Waste Management | SmartSite construction software*. SmartSite | Software for Better Site Safety, Health, Environmental and Quality Performance. <https://www.bresmartsite.com/how-we-help/waste-management/>

Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles. (2004). Enfoque de mapeo para examinar la gestión de residuos en sitios de construcción. *ASCE*, 130(4), 130–104.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:4\(472\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:4(472))

Tapias, J. (2017). *Guia de intervención sostenible de los residuos de la construcción*.

WBCDS. (2012). Reciclando Concreto. *Cement Sustainability Initiative*, 56.

Zheng, L., Wu, H., Zhang, H., Duan, H., Wang, J., Jiang, W., & Dong, B. (2017). Characterizing the generation and flows of construction and demolition waste in China. *Construction and Building Materials*, 136, 405–413. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.055>

