

**METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y  
COMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.  
METODOS APLICABLES AL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.**

**WILSON ORLANDO MATEUS ALMENDRALES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO – MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2016**

**METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y  
COMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.  
METODOS APLICABLES AL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.**

**WILSON ORLANDO MATEUS ALMENDRALES**

Trabajo de grado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Civil

Director:

**EDGAR RICARDO OVIEDO**

MSc. PhD. Ingeniero Civil  
Universidad Industrial de Santander

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
2016**

## *AGRADECIMIENTOS*

*El Autor desea expresar su más sincero agradecimiento al Director del proyecto el Ing. Edgar Ricardo Oviedo por su esfuerzo en la guía y construcción de este artículo de investigación, a la Universidad Industrial de Santander por el apoyo en la investigación.*

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
1. MATERIALES Y METODOS.....	13
1.1 ANÁLISIS DE LAS METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE RCDS.....	13
1.2 ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS.....	14
1.3 PROPUESTA METODOLÓGICA .....	18
2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
2.1 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS.....	19
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA.....	22
2.2.1 Enfoque y análisis.....	22
2.2.2 Etapas metodológicas.....	23
2.3 DISCUSIÓN.....	28
2.3.1 Monitoreo del proceso.....	28
2.3.2 Recopilación de datos.....	28
2.3.3 Listado de materiales generadores de residuos.....	28
2.3.4 Visita de sitio (VS).....	28
2.3.5 Cálculo de la tasa de generación de residuos (GRC).....	29
2.3.6 Cálculo del índice de generación de residuo MWR.....	29
2.3.7 Cálculo del índice de generación de residuo por superficie de Suelo WGA.....	29
3. CONCLUSIONES.....	30
BIBLIOGRAFIA.....	31

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Sumario de artículos analizados para la estimación de RCDs.....	15
<b>Tabla2.</b> Cuadro Evaluativo de las metodologías.....	20
<b>Tabla 3</b> Lista de materiales de mayor generación de residuos.....	25

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Esquema de clasificación de las metodologías seleccionadas a partir de su enfoque.....22
- Figura 2.** Esquema sistemático para la cuantificación y composición de los residuos de construcción y demolición.....23

## GLOSARIO

**Construcción:** Actividad o proceso realizado para construir o armar una edificación o una estructura; se usa en un sentido simbólico para hacer referencia a todo aquello que, de alguna forma, se edifica o se produce.

**Demolición:** Es el proceso mediante el cual se procede a tirar abajo o destruir de manera planificada un edificio o construcción.

**Escombros:** Conjunto de desechos propios de una obra de construcción, de un edificio u obras civiles.

**Reciclaje:** Proceso realizado por gestores especiales sobre los residuos generados, cuyo objeto es la transformación de éstos en insumos para el sector de la construcción.

**Reducción:** Estrategia de gestión que promueve el empleo mínimo y eficiente de los insumos de construcción, con miras a generar los menores volúmenes de residuos.

**Reutilización:** Acción de darle un siguiente uso a los residuos generados de las actividades de demolición, excavación y construcción, para efectos de alargar su ciclo de vida.

**Revalorización:** Estrategia de gestión dirigida hacia la caracterización química de los residuos, permitiendo así integrarlos al proceso a través de la re-potencialización de sus componentes.

**Transportador:** Cualquier persona natural o jurídica que preste servicios de recolección y traslado de RCD desde puntos de generación, asumiendo la titularidad de los mismos.

**Sitio de disposición final:** Lugar autorizado para recibir y acopiar de forma definitiva el material residual del aprovechamiento en las plantas y todo aquel RCD pétreo, que por sus características físicas no pudo ser objeto de aprovechamiento.

## RESUMEN

### TITULO:

METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN. METODOS APLICABLES AL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.

### AUTOR:

Wilson Orlando Mateus Almendrales

**Palabras Claves:** Construcción, demolición, escombros, residuos, gestión de residuos, reducción, clasificar.

La cuantificación y composición de residuos de construcción y demolición (RCDs), se considera un paso importante para la formulación e implementación de planes de gestión de estos residuos. Las metodologías para la estimación y cuantificación de residuos, proporciona información valiosa para seleccionar alternativas de diseño de los planes de gestión integral de residuos sólidos PGIRS, por eso, se considera un paso importante para caracterizar y cuantificar los residuos de construcción y demolición. La literatura describe los diversos métodos empleados para la cuantificación de RCDs, siendo necesario realizar una revisión analítica de dichos métodos para determinar criterios y características técnicas que se deben tener en cuenta para seleccionar un método de gestión de residuos en el contexto local, así como también, para un posible escenario local para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Este trabajo presenta una revisión de las distintas metodologías que existen en la literatura y propone un método para la estimación de la producción y composición de los residuos durante el proceso de construcción y demolición, considerando unos criterios claves y unas características técnicas, evaluadas bajo unas condiciones locales para el área metropolitana de Bucaramanga, además, este proyecto busca contribuir a direccionar futuras investigaciones en la gestión de estos residuos.

## ABSTRACT

**TITLE:**

METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN. METODOS APLICABLES AL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.

**AUTHOR:**

Wilson Orlando Mateus Almendrales

**KEYWORDS:** Construction, demolition, debris, waste, waste management, reduction, classify.

Quantification and composition of construction and demolition wastes (CDW) is considered an important step for formulation and implementation of management plans for these wastes. Methodologies for the estimation and quantification of waste, provides valuable information for choose alternatives design plans solid waste Management PGIRS, also, it is considered important a step to characterize and quantify the construction and demolition waste. Literature describes the various methods used for quantification of CDW, being required an analytical review of these methods to determine technical criteria and characteristics need to be taken in account for selecting a method of wastes management in the local context.

This paper presents a review of the different methodologies and proposes a method for estimation the production and composition of wastes during the construction and demolition process considering local conditions in the metropolitan area of Bucaramanga, also, this project contributing to address future researches in the management of these wastes

## INTRODUCCIÓN

La urbanización en los países en desarrollo es una característica definitiva del siglo XXI. Aproximadamente un 90% del crecimiento urbano mundial tiene ahora lugar en los países en desarrollo y se prevé que entre 2000 y 2030 toda el área urbana edificada en estos países se triplicará [1].

Actualmente los RCDs son un problema mundial que afecta no sólo a los gobiernos sino también a los actores involucrados en el campo de la construcción; por lo tanto, la estimación de la producción y composición de residuos es un elemento fundamental para diseñar los planes de gestión integral de residuos sólidos PGIRS [2]. Es importante señalar que la implementación de planes de manejo de toda clase de residuos, incluso los RCDs, ha llevado a varios países a lograr un manejo sostenible e integral de estos desechos con el fin de proteger y preservar en lo posible el medio ambiente [2].

Para la estimación de la cantidad y composición de RCDs, se han propuesto herramientas metodológicas que ayudan a generar alternativas de solución para la gestión de estos residuos. Además, estudios indican que la desviación de los RCDs de las escombreras a la reutilización y reciclaje, son alternativas de solución a la problemática del actual manejo de residuos, generando beneficios directos para la sociedad, la economía y el medio ambiente, la creación de nuevos puestos de trabajo, extensión de la vida útil de los sitios de disposición final, reducción de la demanda de materiales originarios de canteras, la conservación del suelo y el hábitat, la reducción de los costos globales de eliminación y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero[3]. Hay que reconocer que existen pocas aplicaciones de estas metodologías en países en vías de desarrollo, principalmente en países como Brasil [4]; Colombia no es ajena a este tema, pues existe una normativa de orden nacional en donde se exponen unas resoluciones y decretos para el manejo de los RCDs (Resolución 541 de 1994, decreto 1713 de 2002, ley 1259 de 2008) [5], pero tampoco ha desarrollado herramientas para determinar la composición y producción de estos residuos.

En el área metropolitana de Bucaramanga (AMB), aunque no se conocen las cifras precisas de producción de RCD, se estima una tendencia creciente asociada al crecimiento del 77% en la industria de la construcción [6]. De otro lado, los procesos de expansión y desarrollo urbano, el crecimiento demográfico, generan toneladas de RCDs en el AMB [7], también inciden en la producción de escombros. Por lo tanto, el propósito de este proyecto, es revisar las metodologías

aplicadas en otros contextos para así proponer una considerando las condiciones locales del área metropolitana de Bucaramanga. Es importante indicar que el AMB, tiene una población estimada de 1'240.864 habitantes, un área aproximada de 1479  $km^2$ , y está integrada por los municipios de: Bucaramanga, Girón, Floridablanca y Piedecuesta [6].

## **1. MATERIALES Y MÉTODOS**

Una revisión de literatura entra a jugar un papel fundamental como un mecanismo para recolectar, organizar, evaluar y sintetizar la evidencia disponible respecto a un fenómeno de interés, ya sea para mejorar la práctica actual (mostrar que es lo que realmente funciona) o para sugerir nuevas direcciones de investigación [9].

### **1.1 Análisis De Las Metodologías Para La Estimación De Producción Y Composición De RCDs.**

Para lograr una comprensión global acerca de las diferentes metodologías para determinar la caracterización y producción de RCDs, fue necesario realizar una revisión a la literatura, que incluyó el análisis de 15 artículos de investigación publicados entre el año 2005-2015.

Existen diversos métodos para la estimación de residuos en la literatura, que describen cómo países en desarrollo han optado estas metodologías para la caracterización y producción de RCDs. Algunos de estos métodos muestran el paso a paso para poder ser aplicados, estas pueden ser estimaciones en sitio o estimaciones para poblaciones en general. En la Tabla 1 se resume algunas características claves de los artículos.

La revisión bibliográfica se desarrolló en las bases de datos: ScienceDirect y Scopus (de ELSERVIER). También se incluyeron algunas búsquedas en las revistas: ICE y Asce.

## 1.2 Establecimiento De Criterios

Posteriormente a la revisión y análisis de las metodologías, se definieron unos criterios claves utilizados por cada metodología para su aplicación en diversos escenarios, estos métodos tienen características y criterios locales propios que se deben reconocer para su posterior aplicación y evaluación. Para la aplicación de estas metodologías en el AMB, se deben reconocer los siguientes criterios locales:

- Materiales de construcción
- Crecimiento poblacional
- Crecimiento económico
- Tecnología constructiva
- Propiedades físicas de los residuos
- Área de construcción
- Masa y volumen total de la construcción
- Tiempo
- Costo
- Población
- Crecimiento del sector de la construcción
- Datos estadísticos (si existen)

**Tabla 1** Sumario de artículos analizados para la estimación de RCDs.

Referencias	Título	Metodología	Criterios
Zezhou Wu, et al. (2014).	Quantifying construction and demolition waste: An analytical review.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Actividades generadoras de residuos</li><li>- Niveles de estimación residuos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Construcción de nuevos edificio</li><li>- Demolición de edificios</li><li>- Obras de Infraestructura</li></ul>
Tao Ding, et al.(2014).	Estimation of building-related construction and demolition waste.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Medición directa en obra relación directa entre el peso de residuos respecto al m2 construido</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Calculo de índices de generación de residuos toneladas/años</li></ul>
MartaGangoellls, et al (2014).	Analysis of the implementation of effective waste management practices in construction projects	<ul style="list-style-type: none"><li>- Creación de un marco legal para la regulación de la gestión de los RCDs</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Plantea una relación directa entre los actores principales (clientes, ingenieros, arquitectos, trabajador</li></ul>
Jingru Li, et al (2013).	A model for estimating construction waste generation index for building project in China.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Análisis de los índices generadores de residuos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Elaboración de un listado de materiales generadores de residuos</li></ul>
C. Llatas, (2011).	A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste	<ul style="list-style-type: none"><li>- Estimación de la cantidad de RCDs.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Clasificación de los residuos, Asignación de porcentajes</li></ul>
Ammon Katz, Hadassa Baum, (2011).	A novel methodology to estimate the evolution of construction waste in construction sites.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Monitoreo real de actividades generadoras de residuos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Observación del sitio</li><li>- Muestreo de campo</li><li>- Medición y cálculo de tasa generadora de residuos</li></ul>

Fuente:

**Continuación Tabla 1** Sumario de artículos analizados para la estimación de RCDs.

Referencias	Título	Metodología	Criterios
Weisheng Lu, et al, (2011).	An empirical investigation of and demolition waste generation rates in Shenzhen city, South china.	- Gestión y cuantificación de los RCDs	- Cálculo y análisis de aplicabilidad GRC.
Sergio Cirelli, Claudia Echevengúá, Alessandra et al (2009).	Construction and demolition waste: evaluation of quantification methods	- Estimación por medio mediciones directas o indirectas	- Considera el área construida de los edificios como criterio para cuantificar residuos de construcción
Jaime Solis-Guzmán, Et al, (2009).	A Spanish model for quantification and management of construction waste.	- Control y tratamiento de residuos en obra, crear una entidad reguladora	- Planta de tratamiento de RCDs, cobro de impuesto por tratamiento de los residuos
Lau, HH, Whyte, A. Law, P.L, (2008).	Composicion and characteristics of construction waste generated by residential housing project	- Medición directa de residuos de C&D	- Medición de residuos: masa, composición, tasa de generación de residuo.
Alessandra Buss Tessaro Jocelito Saccol de Sá Et al, (2012)	Quantificação e classificação dos residuos procedentes da construção civil e demolição no municipio de Pelotas, RS	- Sistemas de apoyo de software para información al usuario para disposición de RCDs	- Medida cuantitativa del peso de sus residuos acordado por NBR 10007 (ABNT,2004)

Fuente:

**Continuación Tabla 1** Sumario de artículos analizados para la estimación de RCDs.

Referencias	Titulo	Metodología	Criterios
Kimberly Cochran, Et al, (2007)	Estimation of regional building-related C&D debris generation and composition: Case study Florida, US.	- Generación de residuos por unidad de área construida	- tasas generadoras de residuos - actividades generadoras de residuos
K.M Cochran, T.C Townsend, (2010).	Estimating construction and demolition debris generation using a materials flow analysis approach	-Determinación de los materiales de construcción que más generan RCDs	- evaluar los procesos de construcción a partir de los materiales de mayor generación de residuos.
H.P Yuan, et al (2010)	A model for cost-benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain.	-Diseño y planteamiento de sistemas dinámicos de construcción	- manejo de residuos por medio de un diseño dinámico de construcción
Helena Dahlbo, Et al, (2015).	Construction and demolition waste management – a holistic Evaluation of environmental performance	- Gestión y cuantificación de residuos	- manejo de residuos para su cuantificación y composición, disposición final de los residuos.

Fuente:

A partir de los criterios locales anteriores, se evaluaron las metodologías para un escenario en el AMB, esto con el fin de poder clasificar, organizar, analizar y seleccionar cuales de las metodologías consultadas se ajustan para dicho escenario. Para su análisis y selección de las metodologías, se realizó un cuadro evaluativo en donde agrupa las características principales de cada metodología evaluadas a partir de los criterios locales mencionados anteriormente para el AMB, a criterio del autor, se seleccionaron 5 para su posterior evaluación:

- ✓ Materiales de construcción
- ✓ Datos estadísticos
- ✓ Propiedades físicas de los RCDs
- ✓ Crecimiento poblacional
- ✓ Masa y volumen total de la construcción

La evaluación de las metodologías, son un paso importante para visibilizar, seleccionar y argumentar cuales de las metodologías estudiadas son las de mayor potencial de aplicabilidad para AMB.

### **1.3 Propuesta Metodológica**

Para la selección de al menos una metodología con potencial de aplicación para una población en general o un proyecto de obra civil, se tuvo en cuenta sus características locales, estas características son un factor importante para la determinación del método evaluativo para la cuantificación y composición de los residuos de construcción y demolición. Siguiendo a la evaluación de las metodologías se seleccionaron los métodos que cumplan como mínimo con 2 de los 5 criterios locales claves propuesto por el autor.

Una vez evaluadas y seleccionadas las metodologías, se identificaron las principales actividades generadoras de RCDs, estas actividades se deben evaluar según el método que más se ajuste a la estimación de la cuantificación y composición.

## **2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la revisión literaria los artículos se evaluaron y se clasificaron con base en los criterios locales claves planteados en la metodología para un posible escenario en el Área Metropolitana de Bucaramanga. La propuesta metodológica planteada, recopila cada uno de los diferentes métodos usados para la estimación de la composición y cuantificación de los RCDs, los cuales tienen en común factores característicos y determinantes para su aplicación y evaluación para el AMB.

## **2.1 Análisis Y Selección De Las Metodologías**

De acuerdo al establecimiento de criterios y la propuesta metodológica planteada, se identifican tres etapas importantes dentro de los métodos revisados, los cuales, se tuvieron en cuenta para la organización, aplicación y evaluación de la metodologías para la estimación de la cuantificación y composición de los residuos de construcción y demolición, por consiguiente, el desarrollo de la propuesta se hará con base en los criterios claves establecidos por el autor en el ítem 2.2, se seleccionaron los métodos que cumplan mínimo 2 de los 5 criterios claves. Se realizó un cuadro evaluativo a partir de 5 criterios claves mencionados anteriormente para el AMB (ver Tabla 2).

Tabla2 Cuadro Evaluativo de las metodologías		ESTIMACIONES		CRITERIOS CLAVES LOCALES				
AUTORES	METODOLOGÍAS	EN SITIO	- POBLACIÓN EN GENERAL	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	DATOS ESTADISTICOS	PROPIEDADES FISICAS DE RCDs	CRECIMIENTO POBLACIONAL	MASA Y VOLUMEN
Zezhou Wu, et al. (2014)	Niveles de estimación	X		X		X		
	Monitoreo del proceso	X		X		X		
	Listado de materiales	X		X				X
	Visita de sitio (SV)	X		X		X		X
	Cálculo de la tasa GRC		X		X	X	X	X
	Cálculo del índice MWR		X	X		X	X	X
Tao Ding, et al. (2014)	Medición directa de RCDs	X		X		X		X
MartaGangoellls, et al (2014)	Marco legal para la gestión RCDs	-----						
Jingru Li, et al (2013).	Índices generadores de RCDs	X	X		X	X	X	
C. Llatas, (2011).	Porcentajes de producción de RCDs por material	X		X	X	X		X
Ammon Katz, Hadassa Baum, (2011).	Monitoreo del proceso Observación en sitio Calculo de la tasa GRC	X X	X	X	X	X	X	X
Weisheng Lu, et al, (2011).	Calculo y análisis de Aplicabilidad de la GRC		X		X	X	X	X

Fuente:

Tabla2 Cuadro Evaluativo de las metodologías		ESTIMACIONES		CRITERIOS CLAVES LOCALES				
AUTORES	METODOLOGÍAS	EN SITIO	- POBLACIÓN EN GENERAL	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	DATOS ESTADISTICOS	PROPIEDADES FISICAS DE RCDs	CRECIMIENTO POBLACIONAL	MASA Y VOLUMEN
Sergio Cirelli, Claudia, Echevengua Alessandra et al (2009).	Mediciones directas e indirectas	X		X		X		X
Jaime Solis-Guzmán, Et al, (2009).	Planta tratamiento local de tratamiento de RCDs	X		X		X		X
Lau, HH, Whyte, A. Law, P.L, (2008).	Medición directa de RCDs	X		X		X		X
Alessandra Buss Tessaro, Jocelito Saccol de Sá Et al, (2012)	Sistema de apoyo por software para información a usuarios generadores de RCDs	X						X
Kimberly Cochran, Et al, (2007)	Materiales generadores de RCDs	X		X		X		X
K.M Cochran, T.C Townsend, (2010).	Materiales generadores de residuos	X		X		X		X
H.P Yuan, et al (2010)	Diseño de sistemas dinámicos de construcción	X		X	X	X		X
Helena Dahlbo, Et al, (2015).	Gestión y control de RCDs	X	X	X	X	X	X	X

Fuente:

De acuerdo a lo expuesto en el establecimiento de criterios y la propuesta metodológica, son 7 metodologías que más se ajustan para un escenario en el AMB, cuyos autores son: i) Zezhou Wu, et al (2014), ii) Tao Ding, et al (2014), iii) Jingru Li, et al (2013), iv) C. Llatas(2011), v) Ammon Katz et al (2011), vi) K.M.Cochran T.C Townsend (2010), vii) Lau. HH Et al (2008). Cabe recordar que muchas de las metodologías expuestas, tienen en común factores característicos y determinantes para su aplicación y evaluación.

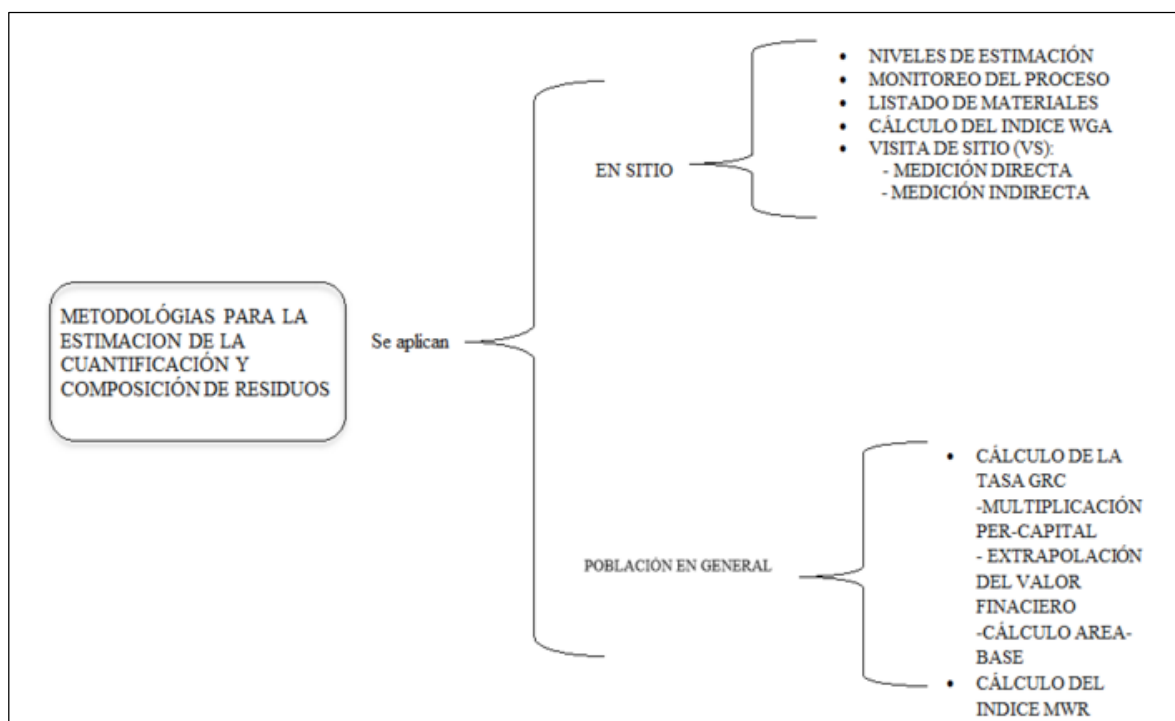
## 2.2 Descripción De La Metodología Propuesta

La metodología propuesta se debe desarrollar a partir de 2 enfoques de aplicación: (i) Estimaciones en sitio, (ii) Estimaciones para poblaciones en general.

### 2.2.1 Enfoque Y Análisis

Para la estimación de la cuantificación y composición de RCDs, es necesario reconocer cual es el enfoque aplicativo de las metodologías, por lo tanto, se propone un esquema de clasificación de las metodologías a partir de enfoque (ver figura 1)

**Figura 1** Esquema de clasificación de las metodologías seleccionadas a partir de su enfoque

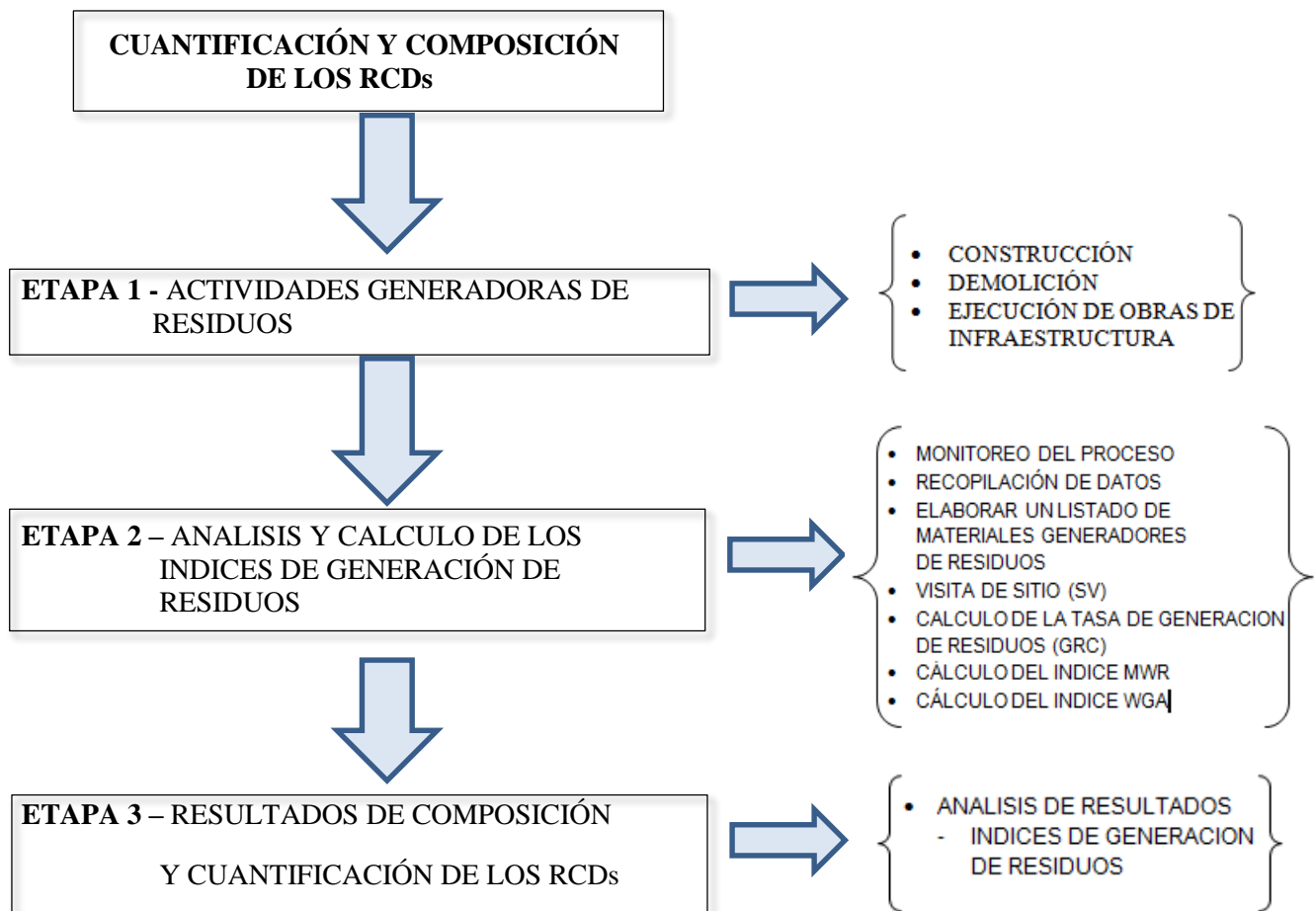


Fuente:

## 2.2.2 Etapas Metodológicas

La metodología propuesta para la estimación de la cuantificación y composición de los residuos de construcción se puede analizar por medio del esquema sistemático (ver figura 2), el cual, está compuesto por 3 etapas:

**Figura 2,** Esquema sistemático para la cuantificación y composición de los residuos de construcción y demolición



Fuente:

### • ETAPA 1: ACTIVIDADES GENERADORAS DE RESIDUOS

Las actividades primarias generadoras de residuos pueden clasificarse en: i) Construcción, ii) Demolición, iii) Ejecución de obras de infraestructura.

- i. Construcción: La generación de residuos en la etapa de construcción es inevitable [8], las actividades típicas que generan residuos en esta fase es el encofrado, trabajos en concretos, trabajos en albañilería, los cuales

representan 30%, 20% y 15% respectivamente. Mokhtar[9] señalan que el método de construcción empleado, el tamaño del proyecto, el tipo de proyecto, los materiales, los métodos de almacenamiento, los errores humanos y los problemas técnicos, son los principales factores generadores de residuos en el proceso de construcción. Además, estudios revelan que la actitud y comportamiento de los trabajadores en el sitio de trabajo juega un papel importante en la producción de residuos. En la construcción, los contratistas asumen generalmente la tasa de desperdicio entre el 1-10 % dependiendo del tipo de material. Estos porcentajes se determinan de acuerdo a las experiencias previas, producto de la medición directa en sitio [10].

- ii. Demolición: Las actividades de demolición son las que producen la mayor cantidad de residuos, casi el 100% de la demolición de estructuras terminan como residuos, excepto algunos materiales que tienen un mercado secundario (madera, metal etc),[11]. Sin embargo en países desarrollados, demuestran por medio de voladura, pues este método requiere menos tiempo y trabajo, pero su principal desventaja radica en la información disponible de la composición física de estos residuos de demolición.
- iii. Ejecución de obras de infraestructura: Se entienden por obras de infraestructura a: caminos, carreteras, puentes, aeropuertos, presas, etc. Este tipo de proyecto son de gran volumen y larga duración, por lo tanto producen residuos. Sin embargo, a menudo se omiten dentro de los planes de gestión de residuos según la literatura [12] se afirma que los estudios deberían aplicarse a todos los proyectos del sector de la ingeniería civil.

## **ETAPA 2: ANÁLISIS Y CÁLCULO DE LOS INDICES DE GENERACIÓN DE RESIDUOS**

En un proyecto de construcción, es importante determinar cuáles son los procesos que generan mayor cantidad de residuos, esto con el fin de tomar datos para determinar los índices de estimación de la cuantificación y composición de los RCDs. Por lo tanto, la segunda etapa que se identifica en las metodologías son: i) Niveles de estimación, ii) Monitoreo del proceso, iii) Listado de materiales generadores de residuos, iv) Visita de sitio (SV), v) Cálculo de la tasa de generación de residuos (GCR), vi) cálculo del índice de generación de residuo (MWR), vii) cálculo del índice de generación de residuo por superficie de suelo (WGA).

- i. Niveles de estimación: Para poder evaluar los niveles de estimación, es necesario determinar los niveles críticos del proyecto en donde existen actividades que generan la mayor cantidad de residuos.
- ii. Monitoreo del proceso: El propósito del monitoreo del proceso es hacer una observación visual con el fin de evaluar la composición de los residuos y poder determinar la etapa de construcción exacta en la que se generan residuos.
- iii. Listado de materiales generadores de residuos: El listado de los materiales generadores de residuos pueden variar de acuerdo al tipo de proyecto, país, técnica de construcción.  
Bossink y Brouwers[13], proponen un listado común a partir de experiencias de diferentes países y regiones. Por lo tanto, la Tabla 3 enlista estos materiales por categorías.

**Tabla 3** Lista de materiales de mayor generación de residuos.

<b>CATEGORIAS</b>	<b>MATERIALES</b>
1	- Hormigón - Ladrillo - Cerámica
2	- Madera - Vidrio - Plástico
3	- Mezclas Bituminosas - Alquitrán de hulla
4	- Metales
5	- Del suelo: Suelo contaminado por excavación, rocas, escombros
6	- Materiales de construcción que contiene amianto (tableros aislantes, relleno de fibras, Calorifugados)
7	- Materiales de construcción a base de yeso

Fuente:

- iv. Visita de sitio (SV): Este método requiere de la visita constante a la construcción o sitios de demolición, esto con el fin de poder recopilar datos reales de la generación de residuos. Los datos son esenciales para hacer más preciso la metodología.

Las mediciones de los RCDs pueden llevarse a cabo a través de pesaje de los materiales desperdiciados en el lugar donde se ejecuta el proyecto de construcción o demolición.

- ✓ Medición directa: Para realizar la medición directa, se debe disponer de un sitio depósito de residuos, este depósito debe suponer una pirámide de base rectangular esto con el fin de poder determinar el volumen y la masa, para aplicar la siguiente ecuación:

$$V_s = 1/3 * L * B * H$$

Donde;  $V_s$  es el volumen de residuo almacenado; L, B es la base y H es la altura de la pirámide.

Luego de obtener el volumen de residuo, se obtiene la masa del material, por consiguiente se obtiene su respectiva densidad. Para poder realizar esta medición, es importante que el material no sea una mezcla de otros materiales.

- ✓ Medición indirecta: Poon[14], emplearon para estimar el volumen de RCDs generados en el sitio, registrar el número de volquetas que transportan los residuos, haciendo sumatoria total de la cantidad de volquetas. Basado en esta información se realiza una sumatoria de volúmenes para poder estimar el volumen total de residuos generados en obra.
- v. Cálculo de la tasa de generación de residuos (GRC): La revisión de literatura reveló que la GRC es la metodología más popular para la estimación y composición de residuos de construcción y demolición RCDs, esta metodología se puede implementar para las actividades de construcción, renovación y demolición, tiene un amplia utilización en estudio anteriores, porque puede ser aplicada para calcular residuos en cualquier nivel de proyecto.

El fundamento de esta metodología es el cálculo de la tasa de generación de residuos para una unidad de actividad en particular, un ejemplo claro de aplicación de esta metodología es poder calcular en promedio cuanto residuo genera una persona por año, eso multiplicado por la población, da como resultado la cantidad de residuo por año de una población, cabe aclarar que los parámetros de esta metodología depende altamente del sector de la construcción, estos parámetros pueden ser medidos por

fuentes estadísticas como el DANE o por medio de registros emitidos por la Curaduría.

- ✓ Multiplicador per-capital: El multiplicador per-capital es la metodología más fácil de cuantificar RCDs en una región, sin embargo, esta metodología es directamente proporcional a la actividad de la construcción y demolición, al igual de otros indicadores como la economía y la población.
  - ✓ Extrapolación del valor financiero: Este método está basado en el número de permisos de construcción emitidos por la curaduría, esto con el fin de poder estimar la tasa de generación de residuos, basado en estos datos se calcula la relación entre la masa de los que se desperdicia respecto al metro cuadrado construido (kg/m<sup>2</sup>, \$/m<sup>2</sup>).
- vi. Cálculo del índice de generación de residuo MWR: El índice MWR se evalúa como el cociente del material desecho sobre el material adquirido Bossink y Brouwers[15]. Este índice ayuda a medir cuales son los porcentajes reales de residuos que genera cada tipo de material.
- vii. Cálculo del índice de generación de residuo por superficie de suelo WGA: Este índice calculo los residuos total de la construcción por medio dela siguiente ecuación:

$$WG = \sum_{i=1}^n M_i \times r_i + W_0$$

Donde, WG se refiere a la pérdida total de kg generados en la construcción  
Mi es la cantidad de material adquirido inicialmente en el proyecto  
en (kg)

Ri es el índice MWR

Wo es el residuo restante en (kg)

Siguiente, calcula el índice  $WGA = \frac{WG}{GFA}$  WGA;

Donde, GFA es la superficie bruta del proyecto de construcción (m<sup>2</sup>)

Cabe recordar que la metodología visita de sitio (SV), es una de las más importantes para los investigadores, ya que es una manera de hacer medición exacta, directa o indirectamente de los RCDs.

- **ETAPA 3 RESULTADOS DE COMPOSICION Y CUANTIFICACION DE LOS RCDs:**

El análisis de resultados, es la etapa más importante de la aplicación de estas metodologías, los índices de generación de residuos indican valores cualitativos y cuantitativos, que interpretados nos dan una caracterización y producción de residuos en diferentes etapas, ya sea en los procesos de construcción, demolición o remodelación. Es importante que en esta etapa final, se realice un seguimiento constante de la generación de residuos, este seguimiento nos indicara el comportamiento que tienen los residuos en los procesos anteriormente nombrados. Además, proporcionan una visión global acerca de si las metodologías aplicadas fueron las más apropiadas para la evaluación del escenario presentado en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

### **2.3 Discusión**

Para obtener información valiosa en los estudios, hay que desarrollar las metodologías planteadas basándose en los criterios identificados con el fin de direccionar la ejecución de la metodología, en este estudio se identificaron siete (7) fases metodológicas de cuantificación, con unas discusiones y limitaciones:

**2.3.1 Monitoreo Del Proceso:** El monitoreo del proceso es un eslabón importante en la toma confiable de datos, este ítem requiere altos costos de tiempo y dinero, así como también, requiere de una identificación precisa de las actividades que mayor generan residuos en obra.

**2.3.2 Recopilación De Datos:** Para poder aplicar muchas de las metodologías mencionadas, se debe tener una recopilación de datos reales de los procesos de construcción y demolición que mayor generan residuos, estos datos son importantes para poder medir que tanto y en que composición se generan los RCDs. Existe una ausencia de datos, lo cual limita la aplicación y evaluación de las metodologías seleccionadas en la revisión literaria.

**2.3.3 Listado De Materiales Generadores De Residuos:** Los listados de materiales generadores de residuos, varían de acuerdo al lugar, tipo de proyecto, tecnología de construcción, además dependen de los valores de desperdicio que especifica el fabricante del material. Estos listados requieren de una recopilación de datos a partir de diferentes tipos de proyectos de construcción, esto ayuda a precisar un poco los porcentajes reales de desperdicio de estos materiales, también ayuda a identificar cuáles son las etapas de construcción donde más se genera residuo y que tipo de residuo se genera.

**2.3.4 Visita De Sitio (SV):** Este método no es apropiado para la estimación de residuos de construcción y demolición a nivel regional, debido a la alta exigencia de tiempo, trabajo y dinero. Sin embargo, es esencial para ser implementado a nivel de proyecto, facilita la toma real de datos para apoyo y empleo de otras

metodologías. Además, este método es aplicable para medir los residuos producidos a partir de todas las actividades de generación de residuos, también facilita la medición directa de los residuos.

**2.3.5 Cálculo De La Tasa De Generación De Residuos (GRC):** Esta metodología tiene una amplia utilización, ya que puede ser implícita para estimar los residuos de todas las actividades, tanto a proyectos de nivel regional. Lo fundamental de esta metodología es determinar la tasa de generación por unidad de residuo y la cantidad de unidades totales. En práctica esta metodología es aplicada tanto a poblaciones en general como a nivel de proyecto.

**2.3.6 Cálculo Del Índice De Generación De Residuo MWR:** Este índice tiene ciertas limitaciones que son condicionadas de acuerdo al tipo de tecnología usada por el constructor, el tipo de proceso, los materiales y sus características locales propias de cada proyecto. Los porcentajes de desperdicio son propuestos por el fabricante de cada material o directamente por el constructor.

**2.3.7 Cálculo Del Índice De Generación De Residuo Por Superficie De Suelo WGA:** La limitación del método propuesto se basa en la exactitud del cálculo del índice WMR. El modelo sólo proporciona una estimación aproximada de la construcción la generación y composición de RCDs. Este índice depende directamente del índice de generación de residuo MWR.

Dentro del análisis de las diferentes metodologías se evidencia la falta de reglamentación para poder llevar a cabo la aplicación de estas metodologías para la gestión de residuos, por eso Marta Gangoells et al (2014) expone la importancia de crear un decreto que asigne responsabilidades para las autoridades públicas respectivas y el sector privado. Las empresas privadas, que son los principales generadores de este residuo, deben desarrollar proyectos de gestión específicos, por ejemplo, investigación en sitios de construcción. El gobierno también debe fortalecer la red de recolección y disposición para pequeños generadores de residuos. Cabe aclarar que existe una influencia directa entre las variables (Economía, socio-político-legales, gestión municipal, Ingenieros, arquitectos, clientes y trabajadores.). Teniendo en cuenta lo anterior, la gestión de estos residuos, es un paso clave para llevar a cabo un diagnóstico, que es capaz de identificar y cuantificar los diferentes agentes generadores de los RCDs, esta información es necesaria para elaborar planes de gestión de residuos de construcción y demolición.

### ✓ **Tiempos de ejecución**

La selección de la metodología de cuantificación apropiada es esencial e indispensable para hacer una gestión eficaz de los residuos de construcción y demolición, para así lograr dirección a una posible investigación.

De la revisión literaria puede concluirse que las actividades de cuantificación se centran principalmente en actividades de construcción y demolición de edificios, se deja de lado un poco las obras civiles. Para lograr una estimación exacta de los RCDs, se debe tener en cuenta los periodos de ejecución de un proyecto, entre más largos es más fácil lograr una medición más exacta, partiendo de la toma de datos reales en los momento de ejecución.

### ✓ **Falta de datos**

Los datos son muy importantes para lograr una cuantificación exacta o aproximada de la realidad. Sin embargo, en la actualidad no existe una toma de datos reales y confiables para lograr una estimación real de los residuos de construcción y demolición, también para lograr una estimación, hay que apoyarse en datos estadísticos como: población, crecimiento del sector de la construcción, área total en un periodo de construcción.

**Nota:** La literatura también evidencia que se han propuesto muchas metodologías para la cuantificación y composición de residuos de construcción y demolición, las cuales muchas se han implementado, pero estas metodologías carecen de un seguimiento de verificación para demostrar si una metodología es netamente apropiada o hasta qué punto su estimación es exacto o aproximada a la realidad.

## **3. CONCLUSIONES**

La revisión de literatura permitió identificar dos enfoques para determinar la producción y composición de los RCDs. Para la aplicación de los criterios y características claves de cada metodología, se identificaron unas condiciones técnicas de aplicabilidad y unas características propias del AMB, tales como: Crecimiento poblacional, crecimiento económico, tecnología constructiva, propiedades físicas de los residuos, área de construcción, masa y volumen de la construcción, tiempo, costo, población, materiales de construcción, crecimiento poblacional y datos estadísticos.

Se propuso una metodología para la estimación de estos residuos, esta metodología se compone de tres etapas como se muestra en la Fig 3. Se identificaron futuras líneas de investigación y se sugiere explorar más el campo de

la cuantificación y composición de los RCDs. Se requiere más atención a los trabajos de infraestructura y obras civiles.

## BIBLIOGRAFIA

- A SPANISH MODEL FOR QUANTIFICATION AND MANAGEMENT OF CONSTRUCTION WASTE, Jaime Solís-Guzmán, Madelyn Marrero, Maria Victoria Montes-Delgado, Antonio Ramirez-de Arellano, Department of building construction II, University of Seville, Spain, 2009. **[2]**.
- A MODEL FOR QUANTIFYING CONSTRUCTION WASTE IN PROJECTS ACCORDING TO THE EUROPEAN WASTE LIST, DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS I, Universidad de Sevilla, ets de Arquitectura, iuacc, avda. Reina Mercedes 2, 41012 Sevilla, Spain, C. Llatas, 2011. **[10]**.
- Bossink, B.A.G., Brouwers, H.J.H., 1996. Construction waste: quantification and source evaluation. J. Constr. Eng. Manage. 122 (1), 55–60. **[15]**.
- CAPITULO II. PROYECCIONES DE GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS EN EL AREA MEROPOLITANA DE BUCARAMANGA, Proyecciones demográficas del DANE e informe de la consultoría Distribución espacial de la población y de la demanda realizado en 1996 por el consorcio INGETEC S.A.-ETA S.A. para la Compañía del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga ESP, 2000. **[6]**.
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA. Boletín de prensa, Construcción y vivienda, censo de edificaciones, 2014. **[3]**.
- ECO2 CITIES: ECOLOGICALCITIES AS ECONOMIC CITIES. WORLD BANK, Suzuki, H., et al. (2010). **[1]**.
- ESTUDIO COMPARATIVO EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN BRASIL Y COLOMBIA- Nataly Guarín, Liseth Montenegro, Luis Walteros, Sandra Reyes. Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. 2014. **[4]**.
- Fatta, D., Papadopoulos, A., Avramikos, E., Sgourou, E., Moustakas, K., Kourmoussis, F., Mentzis, A., Loizidou, M., 2003. Generation and management of construction and demolition waste in Greece – an existing challenge. Resour. Conserv. Recycl. 40 (1), 81–91. **[12]**.

- Formoso, C.T., Soibelman, L., Claudia, Isatto, E.L., 2002. Material waste in building industry: main causes and prevention. *J. Constr. Eng. Manage.* 128 (4), 316–325. **[13]**.
  
- GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) EN OBRA, Secretaría distrital de ambiente, Alcaldía mayor de Bogotá D.C. 2014. **[5]**
  
- Mokhtar, S.N., Mahmood, N.Z., Hassan, C.R.C., Masudi, A.F., Sulaiman, N.M., 2011. Factors that contribute to the generation of construction waste at sites. *Adv.Mater. Res.* 163–167, 4501–4507. **[9]**.
  
- Poon, C.S., Yu, A.T.W., Jaillon, L., 2004a. Reducing building waste at construction sites in Hong Kong. *Constr. Manage. Econom.* 22 (5), 461–470. **[11]**.
  
- Poon, C.S., Yu, A.T.W., See, S.C., Cheung, E., 2004b. Minimizing demolition wastes in Hong Kong public housing projects. *Constr. Manage. Econom.* 22 (8), 799–805. **[14]**.
  
- REVISTA EL CRISOL, Wilfredo Sierra moreno, información Santander, 2014. **[7]**.
  
- Tam, V.W., Tam, C.M., 2006. A review on the viable technology for construction waste recycling. *Resour. Conserv. Recycl.* 47 (3), 209–221. **[8]**.