



ISBN: 978-85-67169-04-0

## SIBRAGEC ELAGEC 2015

São Carlos / SP - Brasil - 7 a 9 de outubro

### IMPACTOS DEL TRANSPORTE DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES, ESTUDIO DE CASO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ

**PARADA, Camilo(1); VARGAS, Hernando (2)**

(1) Universidad de los Andes, 3203337174, e-mail: co.parada53@uniandes.edu.co (2) Universidad de los Andes, e-mail: hvargas@uniandes.edu.co

#### RESUMEN

El crecimiento de la actividad constructora en la ciudad de Bogotá ha traído consigo un aumento en la generación de residuos de construcción y demolición. Esta situación se ha acompañado por la aparición desde 2009 de restricciones a la movilidad de vehículos de carga con limitación en sitios de disposición final en la periferia urbana, ampliando recorridos, aumentando costos de producción y transporte e impactos ambientales asociados. En el estudio de caso, a partir de registros de una empresa edificadora sobre los RCD o residuos de construcción y demolición producidos en nueve proyectos de la misma situados en varias zonas del área metropolitana, con la ayuda de herramientas de recolección de datos implementadas por la empresa encargada del transporte y recolección final de RCD, se analizaron impactos sobre los tiempos de ciclo y costos de proceso de disposición en función de la ubicación de los proyectos, analizando características de los residuos generados en varias tipologías constructivas, cuantificando emisiones producidas en transporte. La información disponible a partir de georeferenciación incluye registros detallados de todos los desplazamientos realizados, el tipo de materiales transportados, la ubicación geográfica del origen y destino, distancias recorridas, tiempos para cada ciclo de trabajo y consumos promedio de combustible. El análisis se centró en los RCD que por su condición no pueden ser aprovechados y que no contengan residuos peligrosos y por lo tanto deban ser transportados a sitio de disposición final autorizado. Los resultados demuestran alto impacto en el decreciente rendimiento del transporte dependiendo de la ubicación de los proyectos, incongruencia entre sitios autorizados de disposición y centros de áreas generadores de residuos, crecientes tiempos de viaje y contaminación aérea y aumento en costos de construcción de viviendas.

**Palabras claves:** Residuos de construcción y demolición RCD. Impacto de movimiento de residuos de construcción; Costos de movimiento de residuos.

#### ABSTRACT

*Building activity growth in Bogota has determined increasing generation of construction and demolition material wastes. This has been complicated by new traffic constraints and limiting final disposal sites in the urban periphery extending routes, affecting operating costs and environmental impacts. This study case considers construction waste registers from a housing building firm in nine projects within the metropolitan area. Impacts on transportation cycles, disposal costs and vehicle emissions were developed and analyzed considering project locations.*

**Keywords:** *Construction and demolition wastes, waste transportation impact, waste transportation costs*

#### 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el auge de la actividad constructiva en la ciudad de Bogotá ha traído consigo entre otros una problemática inherente a la misma, el aumento en la generación de Residuos de Construcción y Demolición ó RCD.

Según cifras de la UAESP, (Coambiente, 2009) que se describen en la tabla 1, la generación de RCD en la ciudad de Bogotá para el año 2008 fue de 10.634.860 metros cúbicos proyectándose que para el año 2020 la producción de RCD será del orden de 24 millones de metros cúbicos.

**Cuadro 1 – Cantidad de RCD generados en la ciudad de Bogotá en metros cúbicos, proyección hasta el año 2020.**

AÑO	SECTOR PUBLICO	SECTOR PRIVADO	TOTALES
2008	3.830.628	6804232	10634860
2009	4.505.842	7103618	11609460
2010	4.944.864	7416177	12361042
2011	5.424.885	7742489	13167374
2012	5.949.600	8083159	14032759
2013	6.523.070	8438818	14961887
2014	7.149.754	8810126	15959879
2015	7.834.553	9197771	17032324
2016	8.582.849	9602473	18185322
2017	9.400.558	10024982	19425540
2018	10.294.179	10466081	20760260
2019	11.270.856	10926589	22197445
2020	12.338.440	11407358	23745798
<b>TOTALES</b>	<b>98.050.077</b>	<b>116023872</b>	<b>214073949</b>

Fuente: datos UAESP, elaboración propia

Con este panorama, acompañado de restricciones vehiculares aplicadas a vehículos de carga pesada, se establecieron en el Registro de Proveedores del Instituto de Desarrollo Urbano desde enero de 2014, cuatro sitios de disposición final de RCD autorizados en la Ciudad de Bogotá y sus alrededores, ubicados en la periferia de la ciudad o fuera de ella, con distancias significativas para realizar la disposición final. Esto ha significado un aumento en costo de la disposición final de RCD y disminución considerable en el rendimiento de sus actividades generalmente producidas por residuos de obras situadas en el extremo opuesto de la ciudad. Por lo anterior, se plantea evaluar los impactos que este panorama trae para la disposición final de RCD de una empresa constructora en la ciudad de Bogotá.

## 2. ANTECEDENTES

Toda actividad de construcción puede generar residuos, producto de los sobrantes de la actividad constructiva propiamente y de movimientos de tierras y otros materiales necesarios para llevar a cabo los proyectos. Estos son llamados Residuos de Construcción y Demolición y son una de las “salidas” o “outputs” que genera el proceso constructivo. Inicialmente, estos RCD se transportaban y vertían de cualquier manera en lotes baldíos o terrenos donde eran acumulados sin ningún orden, control técnico, clasificación u organización, compactación o conformación adecuada.

Esto formaba gran problemática, al conformarse rellenos ilegales inadecuadamente conformados, con todo tipo de materiales, algunos no aptos para conformar rellenos. El resultante eran terrenos sin configuración adecuada, totalmente heterogéneos, sin registro de cómo fueron conformados, que incumplen con las características propias de un suelo, careciendo de comportamiento geotécnico predecible, inaptas para su posterior uso en ninguna otra actividad, aparte de consecuencias ambientales.

## 2.1 Definición de RCD

Se presentan en la literatura como residuos que surgen de las actividades de construcción, remodelación y demolición (Wang *et al*, 2010) (Kofoworola y Gheewala, 2008). Igualmente, se les considera como materiales no deseados generados durante la construcción, incluyendo estructuras y materiales rechazados, materiales que han sido sobre ordenados o son excesos de los requeridos, y materiales que han sido utilizados y se han dañado (Deng *et al*, 2008). Por último, se les describe como suelo, material y otros generados por cualquier clase de actividades de construcción, incluyendo el desarrollo, rehabilitación y remodelación de proyectos de construcción (Zhao *et al*, 2009).

## 2.2 Normatividad vigente – Marco legal

Desde el año 2009 la alcaldía de Bogotá ha expedido decretos que restringen la libre movilidad de los vehículos de carga con capacidad mayor a 7 toneladas. En el presente trabajo se considera un resumen de los aspectos más relevantes de los mismos, así como los horarios y zonas a las que afecta la medida, para analizar los efectos que estas restricciones tienen sobre la actividad de disposición final de RCD en la ciudad de Bogotá, tanto en el aspecto económico y de rendimiento de la actividad misma, así como en la emisión de sustancias contaminantes.

Las restricciones son de estas disposiciones respecto a movilidad de vehículos de carga muestran que el Decreto 690 de 2013 divide la ciudad en 4 zonas y define horarios en los que no pueden transitar vehículos de carga, en cada una de estas zonas. A su vez, el Decreto 034 de 2009 sobre Restricción Ambiental. Establece que en toda la ciudad está prohibida la circulación de vehículos de carga de Lunes a Viernes entre las 09:00 a.m. y 10 a.m.

**Cuadro 2 – Afectación de la jornada laboral por las restricciones a la movilidad de vehículos pesados**

Proyecto	Zona decreto 690 de 2013	Restricción horario mañana		Restricción ambiental decreto 034 de 2009		Restricción horario Tarde (no afecta )		horas totales de restricción al día
		hora inicio	hora fin	hora inicio	hora fin	hora inicio	hora fin	
M	3			9:00	10:00			1:00
L	3			9:00	10:00			1:00
T	3			9:00	10:00			1:00
A	2	6:30	8:30	9:00	10:00	17:00	19:30	5:30
S	2	6:30	8:30	9:00	10:00	17:00	19:30	5:30
V	3			9:00	10:00			1:00
D	3			9:00	10:00			1:00
P	2	6:30	8:30	9:00	10:00	17:00	19:30	5:30
C	3			9:00	10:00			1:00

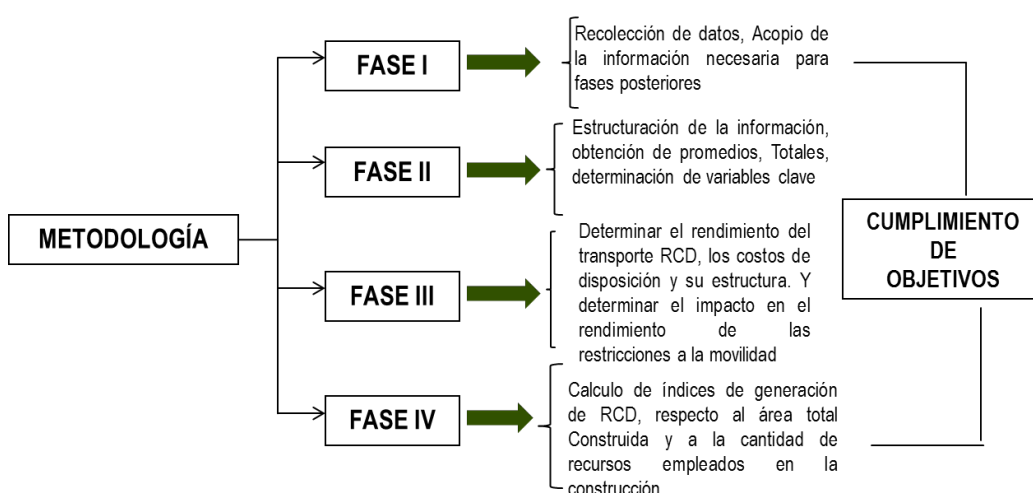
Fuente: elaboración propia

Respecto a la gestión de RCD, la Resolución N° 01115 del 26 de septiembre del 2012 define cada uno de los actores involucrados y sus roles y responsabilidades en generadores de RCD, transportadores de RCD, sitios de disposición final de RCD, así como Gestores y centros de reaprovechamiento de RCD.

### 3. METODOLOGIA

Del análisis de conjunto de datos obtenidos en los orígenes de los RCD, su lugar de destino y el medio usado para transportarlos, se analizan índices que se proponen, con la finalidad calificar el rendimiento comparativo en función de distancias y el impacto de las nuevas condiciones reglamentadas. Finalmente, se resumen índices de generación de RCD respecto de áreas edificadas.

Figura 1 – Fases de la investigación del proyecto.



Fuente: elaboración propia

Para el caso de estudio se seleccionaron una constructora de la ciudad de Bogotá y una empresa contratista de la anterior encargada de realizar el manejo y disposición final de los RCD. Usando las bases de datos de estas dos firmas y sus actividades en materia de disposición final de RCD, se obtuvo la información necesaria para poder responder a la investigación.

Los datos se recolectaron en los lugares donde se generan los RCD utilizando las herramientas que la empresa contratista encargada de la gestión de RCD tiene para tal fin, con información sobre ubicación del origen de los RCD (ubicaciones de proyectos), destino de los RCD (ubicación de escombrera), clasificación por tipo de RCD (por proyecto), volumen de cada tipo de RCD a los que se hace disposición final en escombrera (por proyecto), distancias recorridas en el transporte hasta el sitio de disposición, combustible consumido en los trayectos y, finalmente, tiempos de viaje desde el origen hacia el lugar de disposición y regreso, incluyendo cargue y descargue, en ciclo completo.

Con base en la información obtenida en la recolección de datos, así como su digitalización, categorización y clasificación, se obtuvieron otros datos producto de las variables estudiadas. Por ejemplo, se calcularon velocidades medias de desplazamiento,

## SIBRAGEC - ELAGEC 2015 – del 7 al 9 de Octubre – SÃO CARLOS – SP

consumos promedio de combustible, tiempos promedio de ciclo para los vehículos, volúmenes de RCD despachados en cada obra, entre muchos otros.

### 4. RESULTADOS

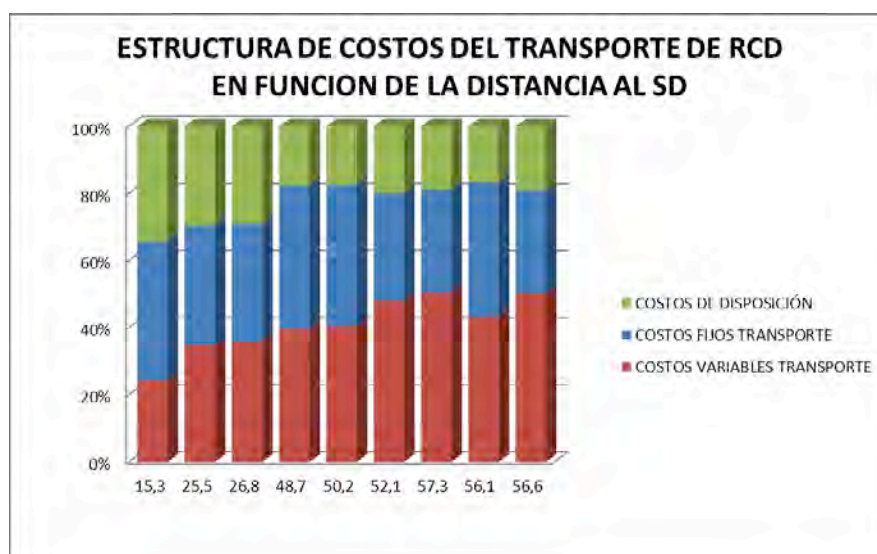
**Cuadro 3 – Afectación del rendimiento de la actividad de disposición final de RCD**

#### Afectación del rendimiento Ciclos adicionales

AFECTACIÓN PORCENTUAL AL RENDIMIENTO CAUSADA POR LAS RESTRICCIONES					
Proyecto	Distancia Total (km)	Ciclos totales jornada efectiva	Ciclos totales jornada sin restricciones	Ciclo adicionales realizados sin restricción a la movilidad	Diferencia porcentual
M	15,3	4,40	4,95	0,55	13%
L	25,5	3,90	4,39	0,49	13%
T	26,8	3,78	4,25	0,47	13%
A	48,7	2,09	3,14	1,05	50%
S	50,2	1,97	2,95	0,98	50%
V	52,1	2,64	2,97	0,33	13%
D	57,3	2,51	2,83	0,31	13%
P	56,1	1,76	2,63	0,88	50%
C	56,6	2,57	2,89	0,32	13%

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos de la investigación.

**Grafico 1 – Estructura de costos del transporte de RCD por proyectos**



Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos de la investigación.

**Cuadro 4 –Material particulado generado por el transporte de RCD al sitio de disposición final (g/m<sup>3</sup>)**

EMISIONES GENERADAS POR EL TRANSPORTE DE LOS RCD DE CADA PROYECTO A LA ESCOMBRERA EN GRAMO/M<sup>3</sup> TRANSPORTADO DESDE EL PROYECTO A LA ESCOMBRERA Y REGRESANDO A LA OBRA  
MASA DE MATERIA PARTICULADA (g/cm<sup>3</sup>)

Proyecto	distancia total (km)	Tiempo promedio ciclo Volqueta (horas)	potencia Motor tipo Volquetas (kW)	m <sup>3</sup> en banco o compactos por ciclo	Masa de materia Particulada (g/k Wh)	Masa de materia Particulada (g/m <sup>3</sup> )
M	15,3	1,7	261,0	11,5	0,02	0,8
L	25,5	1,9	261,0	11,5	0,02	0,9
T	26,8	2,0	261,0	11,5	0,02	0,9
A	48,7	2,7	261,0	11,5	0,02	1,2
S	50,2	2,9	261,0	11,5	0,02	1,3
V	52,1	2,9	261,0	11,5	0,02	1,3
D	57,3	3,0	261,0	11,5	0,02	1,4
P	56,1	3,3	261,0	11,5	0,02	1,5
C	56,6	3,0	261,0	11,5	0,02	1,3

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos de la investigación.

#### 4.1 Índices de generación de RCD

Con base en los datos recopilados se calcularon dos índices de generación de Residuos de construcción y demolición: el primero de ellos relaciona la masa total de recursos empleados en la construcción del proyecto, con la masa total de RCD generados (Cuadro N° 5) y el resultado obtenido es la proporción de los mismos que requieren disposición final en escombrera.

**Cuadro 5 – Índice de Generación de RCD como porcentaje del total de materias primas (tres proyectos)**

Calculo del indice de RCD generados como porcentaje de materias primas			
PROYECTO	VENTTO	MADELENA	CAPRIANI
peso total recursos utilizados (ton)	80689,0	28159,8	49257,9
Peso Total de escombros generado (ton)	15462,4	5947,2	19422,4
Indice (toneladas de RCD generado por cada tonelada de materiales comprado para las principales actividades que generan RCD)	19%	21%	39%

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos de la investigación.

Bossink y Brouwers (1996) reportaron que en Holanda los residuos son entre el 1% y el 10% (en peso) de los materiales comprados. De acuerdo a Pinto y Agopyan (1994), el porcentaje de residuos, a nivel de proyecto de construcción en Brasil, es del 20% al 30% del peso de los materiales que se encuentran en la obra. Por su parte, Poon et al, (2001) reportan que los residuos son del orden del 10% al 20% del peso total de los materiales entregados en la obra. En el presente estudio se obtienen porcentajes entre el 19 y 39 % que supera levemente los porcentajes obtenidos en otros países de la región como Brasil. En algunos casos se puede notar que son elevados, lo que puede deberse a que la

separación de residuos en la fuente no es óptima, y se podrían recuperar aún más RCD susceptibles de reaprovechamiento.

El segundo índice relaciona el área total construida de cada uno de los proyectos de construcción con el volumen de RCD generados (m<sup>3</sup>) (Cuadro N° 6). En este cálculo se incluyen también los RCD generados en el movimiento de tierras de cada uno de los proyectos. Por lo tanto, el índice se ve considerablemente afectado, ya que algunos cuentan con grandes sótanos y cimentaciones, que hacen que el índice sea más elevado por la gran cantidad de volumen excavado. Para obtener un índice más significativo sería necesario hacer una mejor separación de residuos en obra ya que debido al proceso constructivo se mezclan muchas veces los sobrantes o desperdicios con las excavaciones y movimientos de tierras.

**Cuadro 6 – Índice de Generación de RCD; volumen generado por m<sup>2</sup> de área construida.**

Calculo del indice de RCD generados por m2 de area construida					
NOMBRE PROYECTO:	VENTTO	MADELENA	CAPRIANI	CASTELLO	DIMONTTI
Area total construida (m <sup>2</sup> )	22907,06	45123,98	53452,06	66528	82125
Volumen Total de escombros y movimientos de tierras generado (m <sup>3</sup> )	26090,88	12311,85	44944,269	21102,69	11903,86
Indice (m <sup>3</sup> de rcd generados por cada m <sup>2</sup> de Area Construida.)	1,14	0,27	0,84	0,32	0,14

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos de la investigación.

## 5. CONCLUSIONES

La afectación causada por las restricciones a la movilidad es muy significativa, llegando a ser del 50% del rendimiento para los proyectos ubicados en la zona 2 delimitada en el Decreto Distrital 690 de 2013. La afectación causada por las restricciones a la movilidad de los proyectos ubicados en la zona 3, aunque no tan importante como los de la zona 3, es muy significativa para los costos de la actividad, alcanzando el 13%. La inadecuada distribución de los sitios de disposición final trae como consecuencia que las volquetas tengan que recorrer grandes distancias, con un mayor consumo de combustible, mayor cantidad de gases contaminantes emitidos, gran afectación de la movilidad, disminuciones en el rendimiento y aumento en los costos. Conforme aumenta la distancia al sitio de disposición final, los costos variables del transporte van creciendo su peso específico dentro de la estructura de costos totales de la actividad. Pasan de un 24 % en el proyecto más cercano, con distancia total de ciclo de 15 km, hasta un 50% en el más lejano con una distancia total de ciclo de 57,3 km. A medida que disminuye la distancia al sitio de disposición final, los costos fijos del transporte aumentan su peso específico pasando de un 34 % en el proyecto más cercano, con distancia total de ciclo de 15 km a un 19% en el más lejano con una distancia total de ciclo de 57 km.

Los centros de reaprovechamiento de RCD (lugares en los cuales se pueden disponer y almacenar los RCD susceptibles de reaprovechamiento, para luego mediante algunos procesos, convertirlos en materias primas aptas para otros procesos de construcción), son una muy buena alternativa, y sus costos pueden ser menores a los de la disposición final en una escombrera autorizada, sin mencionar la ventaja de utilizar su potencial de reaprovechamiento; Para hacer uso de la opción del centro de reaprovechamiento debe

hacerse una apropiada separación de los residuos en la fuente, evitando residuos contaminados, que afecten su potencial de revalorización.

## **REFERENCIAS**

BOSSINK, B.A.G., & BROUWERS, H.J.H. Construction Waste: Quantification and Source Evaluation. *Journal of Construction Engineering and Management*, v 122 (1), p 55-60, 1996.

COAMBIENTE ASESORÍA Y CONSULTORÍAS TÉCNICAS Y AMBIENTALES.

*Anteproyecto para la Gestión Integral de los RC&D en el Distrito Capital – Bogotá*. Bogotá, Nov 2009. Disponible en :

<[http://uaesp.gov.co/uaesp\\_jo/attachments/317\\_ANTEPROYECTO%20COAMBIENTE.PDF](http://uaesp.gov.co/uaesp_jo/attachments/317_ANTEPROYECTO%20COAMBIENTE.PDF)>

DENG, X., LIU, G., & HAO, JA study of construction and demolition waste management in HONG KONG. INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIRELESS COMMUNICATIONS, NETWORKING AND MOBILE COMPUTING, WICOM pp 1-4, 2008.

KOFOWOROLA, O.F, & GHEEWALA, S.H.. Estimation of construction waste generation and management in Thailand. *Waste Management*, v 29, pp 731-738, 2008.

PINTO, T.P., & AGOPYAN, V. Construction waste as raw materials for low-cost construction products. PROCEEDING OF THE FIRST CONFERENCE OF CIB TG 16 ON SUSTAINABLE CONSTRUCTION. TAMPA, FLORIDA, pp 335-342, 1994.

POON, C.S., YU, A.T.W., & NG, L.H. On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. *Resources, Conservation and Recycling*, v 32 (2), pp 157-172, 2001.

WANG, J., YUAN, H., KANG, X., & LU, W. Critical success factors for on-site sorting of construction waste: A China study. *Resources, Conservation and Recycling*, v 54, pp 931-936, 2010.

ZHAO, W., LEEFTINK, R.B., & ROTTER, V.S.. Evaluation of the economic feasibility for the recycling of construction and demolition waste in China – The case of Chongqing. *Resources, Conservation and Recycling*, v 54 (6), pp 377-389, 2009.