

**Artículo No. 02:** Barrera, C., *et al.* (2015). Diagnóstico y diseño de propuestas de gestión mediante programación lineal - Programa "Basura cero - Escombros cero" - Bogotá D.C. Colombia - 2014. *Semilleros*, 2 (3), 17-24.

## **Diagnóstico y diseño de propuestas de gestión mediante programación lineal - Programa "Basura cero - Escombros cero" - Bogotá D.C. Colombia - 2014**

*Diagnosis and design proposals of management using linear programming - program "zero waste - debris zero" - Bogota D.C. Colombia - 2014*

Barrera Gutiérrez Camilo Andrés<sup>1</sup>, Salamanca García Jesús Alejandro<sup>2</sup>, Sotelo Rojas Hernando<sup>3</sup>, Chávez Porras Álvaro<sup>4</sup>

**Resumen.** Actualmente la población, según la ONU- Organización de las Naciones Unidas, se estima en 7.000 millones; lo que según los pronósticos aumentará en mil millones, en los próximos 12 años. Esto indica, la necesidad de implementar, cambiar o ampliar la infraestructura existente en lo que se refiere a industria, comercio, residencia y transporte, donde son generados a gran escala RS - Residuos Sólidos. Entre los cuales se encuentran los Residuos de Construcción y Demolición - RCD. Para el caso específico de la Ciudad de Bogotá D.C., Colombia, pujante y en aumento de la cantidad de pobladores, se crea el "Programa Basura Cero" con el fin de mitigar el efecto negativo que produce la mala gestión de los RS; teniendo como vertiente el programa "Escombros Cero". Partiendo del enfoque de eliminar progresivamente la necesidad de un "Relleno Sanitario"; donde deben manejarse actividades de tratamiento para los RCD. Fundamentando que las entidades gubernamentales encargadas del correcto funcionamiento de estos, carecen de mecanismos para efectuar un análisis verídico, donde se puedan tomar medidas de contingencia y mitigación. La propuesta presentada genera un diagnóstico y diseño de fórmulas de gestión mediante programación lineal al Programa "Basura Cero - Escombros Cero" de la Ciudad de Bogotá D.C. Colombia, en el año 2014.

**Palabras clave:** *Gestión, Propuesta, Escombros, Bogotá, Reutilización.*

**Abstract.** Currently the population, according to UN United Nations is estimated at 7,000 million; which are forecast to increase by one billion in the next 12 years. This indicates the need to implement, change or expand the existing infrastructure as it relates to industry, commerce, residence and transport, which are generated on a large scale RS - Solid Waste. Among which are the construction and demolition waste - RCD. In the specific case of the city of Bogota, Colombia, thriving and increasing the amount of people, the "Zero Waste Program" is created in order to mitigate the negative effect of the mismanagement of RS; as having shed the "Debris Zero" program. Based on the approach to phase out the need for a "Landfill"; where activities should be handled treatment for RCD. Basing that government entities correct operation of these, lack of mechanisms to make a true analysis, where they can take contingency measures and mitigation. The proposal creates a diagnosis and design management formulas using linear programming to "Zero Waste - Debris Zero" Program of the City of Bogotá Colombia, in 2014.

**Key Words:** *Management, Proposal, Rubble, Bogota, Reuse*

<sup>1</sup> Estudiante Ingeniería Industrial, Auxiliar de Investigación Grupo PIT, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia. [u2901767@unimilitar.edu.co](mailto:u2901767@unimilitar.edu.co)

<sup>2</sup> Estudiante Ingeniería Industrial, Auxiliar de Investigación Grupo PIT, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia. [alejo.salamanca@hotmail.com](mailto:alejo.salamanca@hotmail.com)

<sup>3</sup> Ingeniero Industrial, Asistente de Investigación Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C., Colombia. [Hernando.sotelo@unimilitar.edu.co](mailto:Hernando.sotelo@unimilitar.edu.co)

<sup>4</sup> Ingeniero Industrial, Ph.D., Profesor Asistente, Investigador Grupo PIT, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia. [alvaro.chavez@unimilitar.edu.co](mailto:alvaro.chavez@unimilitar.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

Con la globalización, el crecimiento demográfico y la industrialización de las ciudades se ha propiciado un incremento en la producción de RS - Residuos Sólidos. El impacto ambiental negativo que genera la mala gestión de estos, afecta la calidad de vida de las personas mostrando un deterioro del medio ambiente.

En la búsqueda de disminuir los impactos ambientales generados por el manejo y gestión, en Bogotá D.C. se creó el "Programa Basura Cero"; el cual está basado en experiencias en el tema, de países como Brasil, México, Italia, etc., adaptando y modificándolas de acuerdo con las necesidades y condiciones del entorno social municipal. Dentro del plan de desarrollo de la Ciudad, "Bogotá Humana", se contempla el compromiso ambiental con la Capital y su población, logrando aplicar la filosofía de trabajo de las Tres Rs (reducción, reutilización y reciclaje); disminuyendo los que se generan, considerando su manejo y definiendo el apropiado destino de disposición final.

A través del Programa se busca desviar los RS de los sitios de disposición final, minimizando así la necesidad de los rellenos sanitarios; ya que según informes de la UAESP - Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, de las 6.500 t/día que se producen en la Ciudad, 357 t/día están siendo tratadas para evitar que lleguen a este sitio.

Para el caso del "Programa Basura Cero - Escombros Cero" se carece de elementos para diagnosticar los factores que representan la incidencia en el cumplimiento de las metas planteadas; a su vez para la mitigación de los efectos ambientales negativos que se venían presentando por el mal manejo de los Residuos de Construcción y Demolición -

RCD. Lo que se puede lograr: mostrando datos cualitativos de los totales presentados; analizando las posibles causas que determinan los riesgos dentro del Programa para analizarlo; dando a conocer indicadores; y tomar medidas de contingencia. (Mario Romero, 2014)

La propuesta presentada muestra como a través de un diagnóstico, análisis y diseño de fórmulas y técnicas de gestión mediante programación lineal al Programa "Basura Cero - Escombros Cero" de la Ciudad de Bogotá D.C. Colombia, en el año 2014.

### Marco Teórico

Para el manejo de los RS se debe dar cumplimiento a normas básicas de separación; para incorporarles mayor valor mediante un mejor manejo; reduciendo su contaminación con sustancia que impiden o encarecen los procesos productivos de aprovechamiento.

Los RS pueden clasificarse según su destino, dependiendo del proceso, en (Tu basura, tu ayuda, 2007):

- Reciclaje (someterlos a un ciclo de tratamiento para obtener materia prima).
- Reutilización (utilizarlos como materia prima en otras actividades).
- Tratamiento especial (someterlos a ciclos de tratamiento más complejos para obtener materia prima no contaminada).
- Disposición controlada (efectuar la eliminación total y en el caso de los residuos peligrosos, bajo condiciones estrictas de seguridad).

Para Colombia, las regulaciones se rigen a partir de la Constitución Política Nacional; donde el Artículo 79 indica que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, afirmando que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, fomentando la educación en este tema; y un Artículo 80, que estipula que el Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos

naturales. Creándose el Ministerio de Medio Ambiente y aprobando Leyes y Decretos con el fin de salvaguardar el Medio Ambiente. (Alcaldía de Bogotá, 1995)

A causa del mal manejo de los RS en la Ciudad de Bogotá D.C., se crea el “Programa de Basura Cero”, considerado como un principio de vida, de compromiso ambiental con el planeta y la Ciudad, y todos los seres que la habitan; para sensibilizar y disminuir el impacto ambiental producto de este inadecuado manejo. Con la puesta en marcha de este programa (2012-2016) a cargo del Plan de Gobierno “Bogotá Humana”, se pretende eliminar progresivamente la necesidad de un relleno sanitario (lugar de mezcla y depósito de residuos); ya que si los generados son separados adecuadamente y se realiza un avance progresivo en la prestación del servicio de aseo, en función del aprovechamiento, se pueden reintegrar al ciclo productivo, como materia prima para reducción de costos. (Tu basura, tu ayuda, 2007)

Los RCD son materiales de desecho, generados en las actividades de construcción, demolición y reforma, de edificaciones, obra civil y espacio público. Son considerados inertes (no peligrosos) y poseen alta susceptibilidad de ser aprovechados mediante transformación y reincorporación en nuevos productos. (Alex Fernández Muerza, 2009)

En Colombia, con más de 45 millones de habitantes, se ha generado un gran crecimiento urbanístico, en especial en ciudades como Bogotá; implicando así, la adecuación de espacios que generan un incremento de los RCD en los últimos años.

La propuesta de gestión presentada al Programa “Basura Cero - Escombros Cero” de la Ciudad de Bogotá D.C. Colombia, en el año 2014, a través de un diagnóstico,

análisis y diseño de fórmulas fue realizado a través de la herramienta de la ingeniería, conocida como programación lineal (PL). PL es una técnica matemática comparativamente reciente (siglo XX), que consiste en una serie de métodos y procedimientos que permiten resolver problemas de optimización en el entorno, sobre todo, de las Ciencias Sociales. Ésta despliega un gran número de aplicaciones en ámbitos industriales, empresariales, distribución de factorías, almacenaje, planes de producción, de gestión y en general, de toma de decisiones. (Souce, 2012)

La PL ha indicado que es una de las herramientas más efectivas de la investigación de operaciones. Su éxito es debido a su elasticidad para describir un gran número de situaciones reales.

El método es un instrumento determinístico; es decir, todos los parámetros del modelo se suponen conocidos. Sin embargo, en la vida real, no es usual encontrar un problema donde prepondere una verdadera certeza respecto a los datos. La técnica remedia esta “insuficiencia”, proporcionando análisis sistemáticos post óptimos y paramétricos que permiten tomar decisiones y probar la sensibilidad de la solución óptima “estática” respecto a cambios circunscriptos o continuos de los parámetros del modelo. Esencialmente, estas técnicas adicionales agregan una dimensión dinámica a la propiedad de solución óptima de la PL. (Hamdy, 1995)

## METODOLOGÍA

Para el caso de estudio, con el fin de lograr los objetivos de analizar, a través del diagnóstico y logrando diseñar propuestas a la gestión, el tipo de juicio que se utilizó en el proyecto fue la investigación.

El cual tiene como derrotero principal proporcionar conocimiento, resultados a la fecha y comprensión del problema que enfrenta el investigador.

Recolectando y evaluando toda la información, documentos físicos y/o digitales, acerca de la importancia del manejo de los RS y su aprovechamiento.

En este caso, conocer los procedimientos que realizan la Alcaldía de Bogotá y la UAESP, para controlar la emisión de RS y

en este caso los RCD, luego de la visita a sitios de disposición en la Ciudad, escombreras y sitios de aprovechamiento o reciclaje. Lo anterior como soporte al Programa “Basura Cero - Escombro Cero”.

Se utilizó el método de “Programación lineal” entera para ubicar las escombreras que abarquen la mayor cantidad de localidades en la Ciudad, pero minimizando a su vez el número de ellas. Esta técnica matemática relativamente reciente (siglo XX), consiste en una serie de métodos y procedimientos que permiten resolver problemas de optimización en el ámbito, sobre todo, de las Ciencias Sociales. (Source, 2012)

Se utilizó el mapa de Bogotá, para darle lugar a las variables del modelo de programación lineal.



Figura 1. Mapa de Bogotá. Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá

- |                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| 1. Usaquén        | 11. Suba           |
| 2. Chapinero      | 12. Barrios Unidos |
| 3. Santafé        | 13. Teusaquillo    |
| 4. San Cristóbal  | 14. Los Mártires   |
| 5. Usme           | 15. Antonio Nariño |
| 6. Tunjuelito     | 16. Puente Aranda  |
| 7. Bosa           | 17. Candelaria     |
| 8. Ciudad Kennedy | 18. Rafael Uribe   |
| 9. Fontibón       | 19. Ciudad Bolívar |
| 10. Engativá      | 20. Usme           |

En este problema de optimización, se trata de minimizar una función objetivo (la cantidad de localidades en Bogotá), sujeto a varias restricciones. Por cada localidad existe una restricción y esta se crea con la sumatoria de las localidades vecinas; con la desigualdad menos o iguala uno.

A continuación se presenta la función objetivo y sus respectivas restricciones.

Función Objetivo:

$$\text{Max } Z = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20}$$

S.A.

- (1)  $x_1 + x_2 + x_{11} + x_{12} \leq 1$
- (2)  $x_2 + x_{12} + x_{13} + x_3 \leq 1$
- (3)  $x_3 + x_2 + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{17} + x_4 \leq 1$
- (4)  $x_4 + x_3 + x_{15} + x_{18} + x_5 \leq 1$
- (5)  $x_5 + x_4 + x_{18} + x_6 + x_{19} + x_{20} \leq 1$

- (6)  $x_{20} + x_5 \leq 1$
- (7)  $x_{19} + x_5 + x_6 + x_7 \leq 1$
- (8)  $x_7 + x_8 + x_{19} \leq 1$
- (9)  $x_6 + x_{19} + x_8 + x_{16} + x_{15} + x_{18} + x_5 \leq 1$
- (10)  $x_{18} + x_4 + x_5 + x_6 + x_{15} \leq 1$
- (11)  $x_{15} + x_4 + x_{18} + x_{16} + x_{14} + x_3 \leq 1$
- (12)  $x_8 + x_7 + x_6 + x_{16} + x_9 \leq 1$
- (13)  $x_{16} + x_8 + x_9 + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_6 \leq 1$
- (14)  $x_{14} + x_{13} + x_3 + x_{15} + x_{16} \leq 1$
- (15)  $x_9 + x_8 + x_{16} + x_{13} + x_{10} \leq 1$
- (16)  $x_{13} + x_{16} + x_9 + x_{10} + x_{12} + x_2 + x_3 + x_{14} \leq 1$
- (17)  $x_{10} + x_9 + x_{13} + x_{12} + x_{11} \leq 1$
- (18)  $x_{12} + x_{10} + x_{11} + x_1 + x_2 + x_{13} \leq 1$
- (19)  $x_{11} + x_{10} + x_{12} + x_1 \leq 1$
- (20)  $x_{17} + x_3 \leq 1$

## RESULTADOS

De acuerdo con el modelo de “Programación lineal”, la función objetivo maximiza el número de escombreras que cubran la mayor parte de las 20 localidades que existen en Bogotá y las 20 restricciones.

Se utilizó el software WinQSB, el cual es un sistema interactivo de ayuda a la toma de decisiones, que contiene herramientas muy útiles para resolver distintos tipos de problemas en el campo de la investigación operativa.

El sistema está formado por distintos módulos, uno para cada tipo de modelo o problema. En este problema el módulo que se utilizó fue el de *Linear programming (LP) and integer linear programming*

(*ILP*); en este módulo se encuentran los programas necesarios para resolver el problema de programación lineal gráficamente o utilizando el algoritmo del Simplex; también permite resolver los problemas de programación lineal entera utilizando un procedimiento de Ramificación y Acotación. (Source, 2012) WinQSB utiliza mecanismos típicos de la interface de *Windows*, es decir, ventanas, menús desplegables, barras de herramientas, etc. Por lo tanto el manejo del programa es similar a cualquier otro que utilice el entorno *Windows*. (Alfonso Mateos, 2006)

A continuación en la Tabla 1, se presenta la solución al problema propuesto. En la Tabla 1 se puede ver que, las variables  $x_3$ ,

$x_8, x_{11}$  y  $x_{20}$  respectivamente, se encuentran en 1, el resto de variables están en 0, y la función (Max.) está en cuatro, quiere decir que en la localidades de

Santafé, Ciudad Kennedy, Suba y Sumapaz es adecuado poner por lo menos una escombrera, para que logren abarcar la mayor cantidad de localidades en Bogotá.

**Tabla 1. Ventana de inicio WinQSB**

11-10-2014 23:09:55	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit C(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status
1	X1	0	1,0000	0	0	basic
2	X2	0	1,0000	0	-2,0000	at bound
3	X3	1,0000	1,0000	1,0000	-1,0000	at bound
4	X4	0	1,0000	0	-1,0000	at bound
5	X5	0	1,0000	0	0	basic
6	X6	0	1,0000	0	-1,0000	at bound
7	X7	0	1,0000	0	0	basic
8	X8	1,0000	1,0000	1,0000	0	basic
9	X9	0	1,0000	0	-1,0000	at bound
10	X10	0	1,0000	0	0	basic
11	X11	1,0000	1,0000	1,0000	0	basic
12	X12	0	1,0000	0	-1,0000	at bound
13	X13	0	1,0000	0	-1,0000	at bound
14	X14	0	1,0000	0	-1,0000	at bound
15	X15	0	1,0000	0	0	at bound
16	X16	0	1,0000	0	-1,0000	at bound
17	X17	0	1,0000	0	0	basic
18	X18	0	1,0000	0	0	at bound
19	X19	0	1,0000	0	0	basic
20	X20	1,0000	1,0000	1,0000	0	basic
	<b>Objective Function</b>		<b>(Max.) =</b>	<b>4,0000</b>		

La implementación de dichas escombreras, ayudaría al programa a mitigar los problemas que tiene con el tratamiento y disposición de los RCD, puesto que las localidades que muestra mayor contaminación en cuanto escombros es Engativá y Suba, y en ellas el modelo arroja la implementación de una escombrera. Otra de las localidades que evidencian abandono de escombros son Chapinero y Usme, junto a ellas también aparece la construcción de una escombrera

que son en la localidad de Santafé y Sumapaz.

Entre las metas del programa está en construir seis escombreras en toda la ciudad, esta propuesta nos acerca más a las metas establecidas por el Gobierno de Bogotá, en donde aún no se ha construido la primera escombrera, las únicas que existen son ilegales y no proporcionan los requerimientos necesarios para su funcionamiento. (Mario Romero Trigos, 2012).

## Conclusiones

De acuerdo con la información obtenida en el diagnóstico, evidenciamos que el programa “Basura Cero – Escombro

Cero”, establece unos objetivos y metas, lo cual a la fecha no se han cumplido a cabalidad.

Se observa que no se han realizado esfuerzos suficientes en la implementación y construcción de los parques industriales de reciclaje, ni centros de aprovechamiento de RCD (Escombreras), lo cual se evidencia tanto en los operadores privados como Agua Bogotá, siguen depositando aproximadamente 6300 toneladas diarias de basura en el relleno de Doña Juana.

La cantidad que se produce de RCD, es exageradamente grande, en comparación con el porcentaje de aprovechamiento por parte de las localidades.

Se ha realizado un trabajo importante para la divulgación y puesta en conocimiento del programa “Basura Cero – Escombro

Cero”, a través de diferentes medios de comunicación, pero es evidente que no cuenta con el incentivo suficiente en la población, para adquirir la importancia que tiene este aspecto en toda la logística de la cadena de RCD y en la calidad de vida de los ciudadanos.

A través de un modelo matemático de programación lineal entera, se establece una propuesta de implementación de 4 escombreras, que cubran la mayor cantidad de localidades en Bogotá.

La implementación de la propuesta sería una forma de reducir la mala disposición de los RCD, puesto que la ubicación de ellas colinda con las localidades con mayor producción de RCD.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP), (Enero 2012). Proyecto de Estudio del Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos en Bogotá D.C. Informe Final , Bogotá D.C. Recuperado el 14 de Febrero 2014 de [http://www.uaesp.gov.co/uaesp\\_jo/Alternatives.](http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/Alternatives.), G. A. (2013). Global Alliance for Incinerator Alternatives. Recuperado el 14 Febrero 2014 de <http://www.no-burn.org/on-the-road-to-zero-waste-successes-and-lessons-from-around-the-world>

Secretaría Distrital de Ambiente. (Julio 2012). Resolución 01115 de 2012. Recuperado el 15 de Marzo 2014 de [http://ambientebogota.gov.co/en/c/document\\_library/get\\_file?uuid=fb032331-8198-4f1b-8461-b6f398c6df40&groupId=10157](http://ambientebogota.gov.co/en/c/document_library/get_file?uuid=fb032331-8198-4f1b-8461-b6f398c6df40&groupId=10157)

Alfonso Mateos, Sixto Ríos Insua, Antonio Jiménez y Ángel Joaquín Fernández (Enero 2006). Departamento de inteligencia artificial Recuperado el 15 Marzo 2014 de [www.dia.fi.upm.es/~jafernan/teaching/operational.../WinQSB2.0.pdf](http://www.dia.fi.upm.es/~jafernan/teaching/operational.../WinQSB2.0.pdf)

Mario Romero Trigos, (Febrero 2014). “Caracterización Del Nuevo Esquema “Basura Cero” Transporte De Reciclaje En La Ciudad De Bogotá. Repositorio. Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia

Alex Fernandez Muerza (Septiembre 2009). Basura Cero. Recuperado el 15 Marzo 2014 de [http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/urbano/2009/09/07/187666.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2009/09/07/187666.php)

Ministerio Distrital de Planeación (2012). S Documento técnico de soporte de la modificación excepcional al POT. Recuperado el 20 Marzo de 2014 de [http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/POT\\_2020/Otros\\_Documentos/DTS\\_Final\\_1\\_mayo\\_Rev%20APP\\_1-parte2.pdf](http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/POT_2020/Otros_Documentos/DTS_Final_1_mayo_Rev%20APP_1-parte2.pdf)

Emilio Romero. (2007). Residuos de Construcción. Universidad de Huelva, España. Recuperado el 20 Marzo de 2014 de <http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf>

Secretaría Distrital de Ambiente. (2014). Texto reciclaje y reutilización de RS. Recuperado el 2014, de <http://www.ambientebogota.gov.co/Souce> .(Agosto 2012). Capitulo 8 Programación Lineal. (pp 127-140). Buenos Aires, Argentina.

Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos - UAESP. (Noviembre de 2013). Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, Volumen II, Informe Principal (1). Recuperado en Junio 2014, de <http://www.uesp.gov.co/>

Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos - UAESP. (Noviembre de 2013). Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, Volumen III, Informe Principal (2). Recuperado en Junio 2014, de <http://www.uesp.gov.co/>

I. Vidaud, T. Castaño y E. Vidaud (Agosto 2013). Concreto sustentable ¿mito o realidad? . Cyt. Recuperado el 17 Septiembre de 2014 en

[www.imcyc.com/revistacyt/agosto2013/pdfs/ingenieria.pdf](http://www.imcyc.com/revistacyt/agosto2013/pdfs/ingenieria.pdf)

Alcaldía de Bogotá. (1995). Recuperado el 22 Noviembre de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1208>

Tu basura, tu ayuda, (Julio 2007) Las tres R: Reducir, Reutilizar y Reciclar. Recuperado el 20 Diciembre 2014 de: <http://reciclayuda.blogspot.com/2007/11/las-tres-r-reducir-reutilizar-y.html>

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2006). Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos para Bogotá D.C. Decreto 312. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.