

Modelado de la red de recolección de aprovechamiento (micro rutas) a partir del servicio público de aseo en el municipio de Sogamoso

Ricardo Javier Pineda Melgarejo
Álvaro Javier Rojas Baracaldo
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería
Universidad Nacional Abierta y a Distancia,
Colombia
ricardo.pineda@unad.edu.co
alvaro.rojas@unad.edu.co

Edward Fernando Toro
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería
Universidad Nacional Abierta y a Distancia,
Colombia
edward.toro@unad.edu.co

Resumen – La investigación muestra los métodos y técnicas aplicadas desde la investigación de operaciones, para el “Modelado de la red de recolección de aprovechamiento (micro rutas) a partir del servicio público de aseo en el municipio de Sogamoso”, que abarca temáticas, tales como:

1. Diseño de la red de aprovechamiento para modelarse y resolverse desde las teorías de redes de investigación de operaciones, asumiendo que los nodos son los puntos de recolección y deben estar conectados por ramas (distancias entre puntos de recolección) para la actividad de recolección de los residuos sólidos en el municipio de Sogamoso. Las condiciones de la red se ajustan a la normatividad según el decreto 596 de 2016, en cuanto al diseño de micro rutas, tipo de contenedores, dirección de recogidas, capacidades, etc.
2. Análisis de las redes de recolección de aprovechamiento (micro rutas), para definir la ruta más corta que genere la optimización de los recursos que intervienen en las mismas.
3. Presentación de una herramienta basada en estudios de redes, optimización y simulación

a la empresa prestadora del servicio público de aseo para la reglamentación e implementación adecuadas de nuevos procedimientos ajustados a la norma para la recolección, el transporte y el aprovechamiento que garantice el desarrollo sostenible en el municipio.

Palabras clave— Aprovechamiento, microruta, modelado, recolección, residuos, red.

I. MATERIALES Y MÉTODOS

La información se tomó en campo, directamente de la empresa prestadora de servicio público de aseo de la ciudad de Sogamoso donde están definidas las macro rutas de servicio público de aseo, para poder cumplir con las siguientes etapas:

Etapa 1. Diagnóstico, inventario y procesamiento de la información existente. En esta etapa se efectuó un inventario y recogida de todos los datos locales del propósito de estudio y necesarios para el desarrollo del mismo.

Instrumentos: Libro de cálculo compuesto por varias hojas con la información de distancias

y nodos de las diferentes macro y micro rutas de servicio público de aseo de la ciudad de Sogamoso. Cartografía satelital obtenida de Google Maps y Google Hearts de la ciudad de Sogamoso de las macro y micro rutas del servicio público de aseo.

Etapa 2. Aplicación de los algoritmos de modelos de redes a las macro rutas del servicio público de aseo de la ciudad de Sogamoso para validar su eficiencia para el modelado de la red de recolección de aprovechamiento (micro rutas).

Instrumentos: Libro de cálculo compuesto por varias hojas con la aplicación de los algoritmos de los modelos de redes para validación de las macro rutas del servicio público de aseo. Área de trabajo para representación de las macro rutas del servicio público de aseo utilizando el Software de diseño AutoCAD.

Etapa 3. Aplicación de los algoritmos de modelos de redes a las micro rutas de la ciudad de Sogamoso para el diseño del prototipo de la red de recolección de aprovechamiento (micro rutas).

Instrumentos: Libro de cálculo compuesto por varias hojas con la aplicación de los algoritmos de los modelos de redes para diseñar el prototipo de las micro rutas de la red de recolección de aprovechamiento (micro rutas). Área de trabajo para representación de las micro rutas de la red de recolección de aprovechamiento (micro rutas) utilizando el Software de diseño AutoCAD.

Etapa 4. Optimización del modelo de la red de recolección de aprovechamiento (micro rutas) mediante el uso de los algoritmos de modelos de red y software de optimización.

Instrumento: Área de trabajo para optimización de las micro rutas de la red de recolección de aprovechamiento (micro rutas) utilizando Software especializado bajo alguna técnica de geo-concepto.

Etapa 5. Diseño y entrega del modelado de la red de recolección de aprovechamiento (micro rutas) y sus resultados.

Procedimientos: La información se tomó directamente de los inventarios de la empresa prestadora de servicio público de aseo de la ciudad de Sogamoso donde están definidas las macro rutas y micro rutas de servicio público de aseo.

Métodos y resultados de análisis de datos.

Se emplearon hojas de cálculo (Excel) para analizar y procesar la información de las macro y micro rutas del servicio público de aseo mediante la selección de funciones predeterminadas y no predeterminadas para encontrar los resultados del estudio con estadísticos descriptivos básicos, complejos y categóricos y diseño experimental de factores para proponer el modelo de la red de recolección de aprovechamiento (micro rutas).

En AutoCAD se diseñó el modelo de las macro y micro rutas de la red de recolección de aprovechamiento (micro rutas).

A partir del modelo de las macro y micro rutas se aplicaron los algoritmos de los diferentes problemas de redes, tales como el árbol de expansión mínima, la ruta más corta, flujo máximo y el problema del flujo capacitado con costo mínimo.

Una vez que el modelo de la red de recolección de aprovechamiento (micro rutas) se ha creado, se evaluó su comportamiento para encontrar valores óptimos con el uso de software de simulación animada.

Diseño metodológico.

El diseño metodológico para el proyecto de investigación fue el siguiente:

Tipo de estudio.

Estudio cuantitativo de acuerdo con la variable a estudiar: distancias entre nodos o distancia de la rama de las micro rutas del servicio público de aseo en el municipio de Sogamoso.

Población y muestra.

Población: Número de macro rutas del servicio público de aseo establecidas en el municipio de Sogamoso.

Muestra: Número de micro rutas del servicio público de aseo establecidas en el municipio de Sogamoso.

Definición de hipótesis.

Hipótesis nula: el comportamiento del modelo de la red de recolección de aprovechamiento (micro rutas) puede determinarse mediante los algoritmos de optimización para los problemas de redes, a partir de las micro rutas de servicio público de aseo de la ciudad de Sogamoso.

Hipótesis alterna: el comportamiento del modelo de la red de recolección de aprovechamiento (micro rutas) no puede determinarse mediante los algoritmos de optimización para los problemas de redes, a partir de las micro rutas de servicio público de aseo de la ciudad de Sogamoso.

Definición de variables

Variable dependiente: distancia entre nodos de las macro rutas de las rutas de servicio público de aseo de la ciudad de Sogamoso.

Variable independiente: distancia entre nodos de las micro rutas de las rutas de servicio público de aseo de la ciudad de Sogamoso.

Criterios de validez y confiabilidad.

Criterio de validez del instrumento, se determinan mediante una técnica de validez de contenido, de validez de criterio o de validez de constructo.

Criterio de confiabilidad del instrumento de medición, se determinan mediante un coeficiente de confiabilidad estadístico para medir el grado de error mínimo.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diagnóstico de la situación actual del servicio público de aseo en la ciudad de Sogamoso identificado mediante el estudio en campo y las encuestas a recicladores de oficio, muestra que el 95% de los encuestados aseguran que “al tener oportunidades en niveles altos de la gestión y tareas de aprovechamiento, desde el cumplimiento de la norma, se pueden optimizar los procesos de aprovechamiento de los residuos sólidos en la ciudad de Sogamoso donde la Macro ruta centro tendrá beneficios favorables a nivel económico, social y ambiental” y no existen actividades de clasificación y pesaje por parte de las personas productoras (domiciliarias, comerciales e industriales) según lo estipulado por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio & Departamento Nacional de Planeación, 2016 [1].

En el estudio de investigación aplicado en la ciudad de Sogamoso, las rutas se trazan mediante la cartografía satelital y son posteriormente modeladas por la teoría de redes; se incluyen prototipos y modelos de asignación, tales como: camino crítico, flujo máximo, camino más corto, transporte y costo mínimo de flujos, utilizando representaciones gráficas que muestran los nodos y los arcos como los caminos expresados en distancias entre cada uno de los mismos. Estas rutas permiten el cumplimiento eficiente de la asignación de recursos físicos y humanos para lograr la productividad de un servicio competitivo y sobre todo enmarcado en lo dispuesto por el Decreto 596 de 2016 que define los criterios para el servicio de Aprovechamiento de Residuos Sólidos en cada uno de los municipios del país.

Según la validación del principio de redes, “el camino más corto produce menos inversión de

recursos”, por lo cual se asume que la optimización de redes cumple condiciones de eficiencia y calidad, además, sus características de rendimiento en efecto satisfacen la producción promedio de residuos sólidos aprovechables en cada una de las micro rutas de la ciudad de Sogamoso.

[1] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Sistemas de Aseo Urbano (2016).

Según los datos establecidos por la empresa de servicios públicos de Sogamoso Coservicios S.A. E.S.P. existe una programación específica para la recolección de residuos sólidos no aprovechables (Ver Tabla 1). Estos datos sirven para el cálculo de las micro rutas, teniendo en cuenta que no pueden ejecutarse tareas de aprovechamiento a la par de las de No aprovechamiento.

Tabla 1. Cronograma de Recolección macro ruta sur Residuos No Aprovechables - Sogamoso

RECOLECCION Y TRANSPORTE DE RESIDUOS NO APROVECHABLES												
MACRO RUTA	CODIGO	MICRO RUTA	ACTIVIDAD (DIURNO/N OCTURNO)	FRECUENCIA							HORA INICIO	HORA FINALIZACION
				Lu	Mi	Ju	Vi	Sa	Do			
SUR (200)	S-201	Monquirá	Diurno	X		X					7:00	15:00
	S-202	Sugamuxi	Diurno	X		X					7:00	15:00
	S-203	El Rosario	Diurno	X		X					7:00	15:00
	S-204	Magdalena	Diurno	X		X					7:00	15:00
	S-205	U.P.T.C.	Diurno	X		X					7:00	15:00
	S-206	Venecia	Diurno	X		X					7:00	15:00
	S-207	Morcá - Cajas Estacionarias	Diurno	X		X					7:00	15:00
	S-208	Batallon	Nocturna	X	X	X	X	X	X	X	5:00	6:00

Fuente. Coservicios S.A. E.S.P.

Calculadas las rutas, se analizan las alternativas de redes de aprovechamiento desde el cálculo del número de nodos (puntos fijos de recolección), mediante las herramientas y las técnicas de redes, para finalmente simular el comportamiento de n propuestas, cada simulación muestra mejoras promedio entre una y otra alternativa del 5%, lo cual supone a su vez que deben hacerse n simulaciones para obtener ahorros significativos o por lo menos de 2 cifras porcentuales, la cuales son las que se presentan como alternativa final.

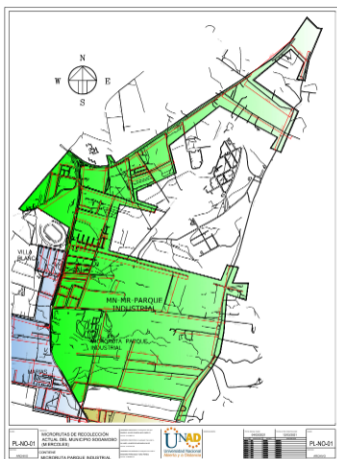


Figura 1. Ejemplo Micro ruta Sector Industrial de Sogamoso

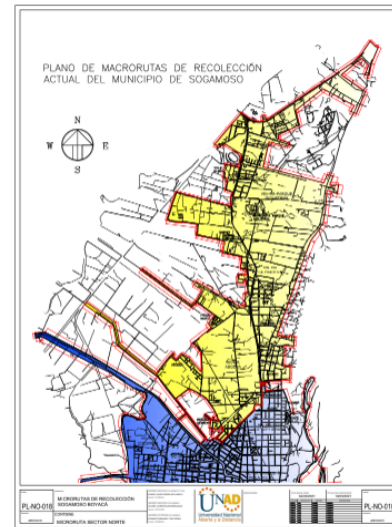


Figura 2. Ejemplo Macro ruta Sector Sur de Sogamoso

Finalmente, para las propuestas definitivas se aplican los cálculos matemáticos de la teoría de Redes y la programación dinámica para establecer la dirección del ruteo, distancias y distribución en zona de los nodos (contenedores) para el servicio público de aprovechamiento de los residuos sólidos producidos (Ver Figuras 3 y 4), utilizando en cada una de las micro rutas los coeficientes de:

1. Población actual y futura. La población de la localidad en estudio para el año 2021.
2. Producción media de RSU (Residuos Sólidos Urbanos - Pr). La producción per cápita, PPC, se define como la cantidad generada de residuos por un habitante por día (Kg/[habitante*día]).

3. Producción de diseño para la pre recogida y recogida. a. Factores punta de generación y b. Producción de diseño.
4. Diseño de los sistemas para la pre recogida (nodos o contenedores).

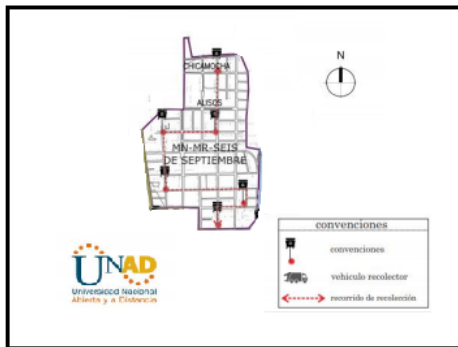


Figura 3. Ejemplo definición de nodos, distancias y dirección del ruteo en la Micro ruta Sector Seis de Septiembre de Sogamoso

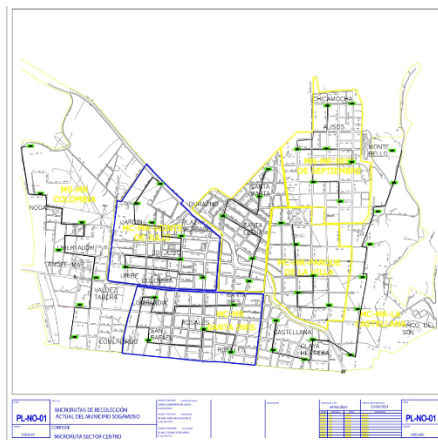


Figura 4. Simulación de redes en Promodel

Diseñadas las micro rutas y sus redes de aprovechamiento, cabe una discusión en el alcance y aplicación de los resultados, partiendo de la norma establecida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio & Departamento Nacional de Planeación, 2016, que indica: “En aquellos casos en que el aprovechamiento resulte viable, de acuerdo con los estudios y evaluaciones del PGIRS, el ente territorial tendrá la obligación de contar con los recursos para los proyectos que

se establezcan en los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS)”, sin embargo dadas las circunstancias y los gastos que esto implica y que además deben ser aprobados por el Concejo municipal se entra en una etapa de necesidad territorial para convencerse de su uso y aplicación sin que esto afecten otros intereses y planes municipales que se hayan proyectado en los planes de ordenamiento territorial y los de Gestión Integral de Residuos sólidos.

Además porque tiene que aplicarse planes de incentivos para aumentar la eficiencia de recolección en la fuente generando esto descuentos en facturas y otros gastos administrativos que igual deben ser considerados por el ente territorial, de acuerdo a la norma del propio Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio & Departamento Nacional de Planeación, 2016, que indica “Aquellas macro rutas de recolección de residuos aprovechables, que tengan niveles de rechazo inferiores al 20% de los residuos presentados, les será otorgado un incentivo a la separación en la fuente (DINC). Este incentivo se mantendrá siempre y cuando los porcentajes de rechazo no superen dicho valor”.

III. CONCLUSIONES

Se diseñan las rutas denominadas redes de aprovechamiento utilizando las técnicas y teoría de redes, encontrando para ellas el número de nodos (contenedores) que debe ser instalados según la satisfacción de su demanda, las distancias y la concentración poblacional sirven de apoyo en la determinación de su ubicación para interconectarlas según las condiciones de la norma de dirección y frecuencia de recogida.

Se simula el comportamiento de las propuestas, utilizando software de diseño y ubicación donde las distancias entre rutas y una y otra propuesta se reducen según las condiciones de optimización en porcentajes medios del 13% al 19%, considerados como ahorros promedio de distancia para justificar la inversión en dinero que se invierten para el desarrollo de las operaciones de recolección y transporte de los residuos sólidos.

Las técnicas de simulación realizadas en BatchGeocode y Promodel sobre la cartografía real de las condiciones de la ciudad de Sogamoso ofrecen una mejor planeación de actividades y una definición de ruta crítica más exacta, la cual se considera prioritaria en la culminación del proceso de recolección de los residuos sólidos, donde se conectan los nodos de mayores distancias entre sí y consideran los de menor distancias como actividades con holguras que están dentro de las primeras y deben realizarse simultáneamente.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a la UNAD por el aporte académico con asignación de recursos físicos, técnicos y financieros para el desarrollo del proyecto. A las autoridades territoriales del municipio de Sogamoso por facilitar información clave para el estudio de investigación y a la

REFERENCIAS

Alcaldía de Bogotá. (s.f.). *Documento técnico para la actividad de aprovechamiento en el marco del servicio público de aseo*. Recuperado de <http://www.uaesp.gov.co/sites/default/files/documentos/DTO%20Aprovechamiento%20Anexo%202%20Versio%CC%81n%20publicacio%CC%81n%20para%20comentarios%2002-04-2019.pdf>

Autodesk, (2019). *Autocad*. Recuperado de <https://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/overview>

Boada, A. (2003). *El reciclaje, una herramienta no un concepto*. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/reciclaje5.pdf>

García, M. (2015). *Actualización del plan de gestión integral de residuos sólidos- pgirs - del municipio de Sogamoso- Boyacá*. Recuperado de <https://sogamosoboyaca.micolombiadigital.gov.c>

Asociación de Recicladores por el Futuro de Sogamoso – ARFUSOG, por coadyuvar con recursos técnicos y operativos para la recolección y toma de datos en campo.

García, J. & Maheut, J.(2011). *Modelos y Métodos de Investigación de Operaciones. Procedimientos para Pensar*. Recuperado de https://www.academia.edu/13631735/Modelos_y_Metodos_de_Investigacion_de_Operaciones_Procedimientos_para_Pensar

García, E., García, H. & Cárdenas, L. (2013). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*. México, México: Pearson. Recuperado de <https://jrvargas.files.wordpress.com/2015/04/libro-simulacion-y-analisis-de-sistemas-2da-edicion.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio & Departamento Nacional de Planeación. (2016). *Decreto 596 de 2016*. Recuperado de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=69038

Taha, H. (2012). *Investigación de Operaciones*. México, México: Pearson educación.