

SIMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE OPERACIONES EN LA RED DE APROVECHAMIENTO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO DE SOGAMOSO

Ricardo Javier Pineda-Melgarejo¹, Álvaro Javier Rojas-Baracaldo², Edward Fernando Toro-Perea³, Sandra Milena-Patiño⁴

¹ Magister en Gerencia de Proyectos, ricardo.pineda@unad.edu.co

² Magister en Administración de Empresas, alvaro.rojas@unad.edu.co

³ Doctor en Ingeniería, edward.toro@unad.edu.co

⁴ Magister en Ciencia de datos, sandra.patino@unad.edu.co

^{1,2,3} Docentes de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería –ECBTI de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD,

RESUMEN

El objetivo principal en esta investigación es analizar alternativas de simulación considerando diferentes escenarios en las actividades de transporte, selección y clasificación de residuos aprovechables para la predicción, comparación, análisis y toma de decisiones en la optimización de los procesos, recursos, materiales y servicios mediante modelos dinámicos. Esto permitirá, en estudios posteriores, evaluar la viabilidad económica de las micro rutas y su optimización para mejorar la gestión de residuos a lo largo de la cadena de producción, desde la fuente hasta su transformación como productos nuevos en el medio ambiente. Es importante destacar que esta investigación está alineada con objetivos de desarrollo sostenible, específicamente los No. 11 y 12, relacionados con la gestión sostenible de residuos y el uso eficiente de los mismos. Para llevar a cabo este estudio, la población de interés son los recicladores que forman parte de la red de recolección de residuos en Sogamoso.

Palabras clave: Evaluación económica; Transporte, Selección, Clasificación de Residuos; Optimización.

Recibido: 03 de Septiembre de 2023. Aceptado: 09 de enero de 2024

Received: September 03, 2023. Accepted: January 09, 2024

CHARACTERIZATION OF OPERATIONS IN THE USE NETWORK OF THE SOGAMOSO PUBLIC SANITATION SERVICE

ABSTRACT

The main objective of this research is to analyze simulation alternatives considering different scenarios in the activities of transportation, selection and classification of usable waste for the prediction, comparison, analysis and decision making in the optimization of processes, resources, materials and services through dynamic models. This will allow, in subsequent studies, to evaluate the economic viability of micro routes and their optimization to improve waste management throughout the production chain, from the source to its transformation as new products in the environment. It is important to highlight that this research is aligned with sustainable development objectives, specifically Nos. 11 and 12, related to sustainable waste management and efficient use of waste. To carry out this study, the population of interest is the recyclers who are part of the waste collection network in Sogamoso.

Keywords: Economic evaluation; Transportation, Selection, Waste Classification; Optimization.

Cómo citar este artículo: R. Pineda, A. Rojas, E. Toro, S. Patiño. "Simulación y caracterización de operaciones en la red de aprovechamiento del servicio público de aseo de Sogamoso", *Revista Politécnica*, vol.20, no.39 pp.119-127, 2024. DOI: [10.33571/rpolitec.v20n39a8](https://doi.org/10.33571/rpolitec.v20n39a8)

1. INTRODUCCIÓN

Las asociaciones de recicladores legalmente reconocidas para el aprovechamiento de residuos necesitan caracterizar las operaciones de aprovechamiento para predecir la rentabilidad de sus operaciones a lo largo del tiempo. Actualmente, estas asociaciones operan de forma autónoma tanto en aspectos legales como operativos, en ocasiones clasificar y seleccionar resulta ser dos operaciones diferentes que se están haciendo de manera inadecuada. Sin embargo, dado que se trata de una población vulnerable, es importante que reciban el apoyo de autoridades e instituciones que posean conocimientos en legislación y técnicas de estudio. Las simulaciones, producto del estudio de investigación pueden brindar herramientas y metodologías para respaldar la labor social que realizan los recicladores de oficio y permitirles aumentar los ingresos por la comercialización del material recolectado, mejorar la gestión de residuos y cumplir con las normativas vigentes de recolección, selección y transporte del material aprovechable.

Según Russo (2003), la gestión de residuos se define como una disciplina asociada al control, producción, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento, tratamiento y destino final de los residuos sólidos de acuerdo con los mejores principios de preservación de salud pública, economía, ingeniería, conservación de los recursos, estética y otros principios ambientales. La gestión de residuos, comprende una interrelación de los aspectos administrativos, financieros, legales, de planeamiento y de ingeniería, donde las soluciones son interdisciplinarias de las ciencias y tecnologías provenientes de ingeniería, economía, sociología, geografía, planeamiento regional, salud pública, demografía, comunicación y conservación [1].

El Decreto 838 de 2005 es una normativa colombiana que establece direccionamientos para manejar de forma integral los residuos sólidos que pueden ser aprovechados y transformados. El decreto pretende determinar disposiciones generales para la prevención y el manejo correcto de los residuos aprovechables protegiendo la salud de las personas afectadas y el entorno donde se generan todos los residuos sólidos, según sus cantidades y tipo. Establece además la obligación de los municipios y distritos de formular, adoptar y ejecutar planes de gestión que contengan acciones para la prevención, reducción, reutilización, reciclaje, aprovechamiento y uso final de los residuos aprovechables. Establece las diferentes categorías de residuos, como residuos con algún grado de peligrosidad, aprovechables, ordinarios y/o residuos especiales, entre otros. También se definen los criterios para su clasificación y manejo [4].

En todo el mundo, especialmente en Latinoamérica, es un gran desafío atender las necesidades de manejo de los altos volúmenes de residuos que a diario se producen. Este problema se debe, en gran medida, a que los habitantes del mundo saben generar residuos por doquier, pero no comprenden el efecto para el planeta y por ello se preocupan muy poco por aprender a tratar los residuos y reaprovecharlos. Como no se manejan de forma eficiente, estos desechos generan impactos negativos para cada uno de los habitantes, afectando su entorno, su salud y en gran medida su economía. Es por lo anterior que resulta crucial abordar esta situación y entender cómo se gestiona actualmente una solución a la problemática de los residuos aprovechables en Latinoamérica. Además, es esencial conocer las acciones y estrategias que se están implementando para mejorar esta situación.

Las operaciones de selección, clasificación y transportes de los residuos deben optimizarse en cada lugar donde se produce y se genera, esto aumenta los volúmenes aprovechables sin afectar la materia prima para reproceso. Una forma de incentivar a uno de los mayores productores de residuos, en este caso los domiciliarios, es aconsejable clasificar los residuos caseros de alimentos, materiales como el cartón y el papel y los materiales aprovechables (metales, icopor, plásticos, pastas, tarros de productos de aseo, vidrios, entre otros) en la propia fuente de producción, para luego ser comercializados y recuperados finalmente, a pesar que esto requiera inversión del gobierno municipal en la educación y creación de una conciencia cultural/ambiental de sus habitantes.

Algunos autores como Silgado R, (2006), refiriéndose a los problemas en Latinoamérica, señala que solamente se recupera el 2,2% de los materiales que podrían ser aprovechables a partir de su reprocesamiento. De este porcentaje, aproximadamente el 1,9% son materiales inorgánicos, mientras tan solo el 0,3% son de materiales orgánicos, como los restos de podas y de alimentos. Por lo general, las tareas de separación de estos materiales valiosos para su aprovechamiento recaen en sectores informales, donde personas conocidas

como "segregadores" desempeñan esta labor. Desafortunadamente, estos trabajadores no cuentan con la capacitación adecuada para llevar a cabo esta tarea sin exponerse a riesgos.

Realizar correctamente las operaciones de selección, clasificación y transporte de residuos aprovechables es de vital aporte a la sociedad en general. Además de una contribución al cuidado ambiental si se realizan correctamente las operaciones de separar y clasificar los residuos aprovechables, evitando que se contaminen materiales que podrían ser reciclados o reutilizados y deban ser rechazados para reprocesamientos, las utilidades deben ser mayores para todos los actores que intervienen en esta cadena productiva. Lo anterior estará ligado con la disminución de los residuos que van a parar al relleno sanitario o incineradoras y por ende la reducción en el impacto ambiental y la contaminación del suelo, agua y aire; la sostenibilidad y la economía circular, el aprovechamiento eficiente de los residuos, la participación en la economía circular y sostenible de las operaciones de aprovechamiento de los residuos y por supuesto en la reducción de la huella ambiental por la selección y clasificación correcta de los residuos aprovechables. Al reciclar y reutilizar materiales, se requiere menos energía y recursos en comparación con la producción de nuevos productos a partir de materias primas vírgenes.

Además de los beneficios anteriormente descritos se da cumplimiento a regulaciones y normativas. Las autoridades y entidades gubernamentales establecen requisitos específicos para el manejo de residuos aprovechables, a lo largo del ciclo de vida de estos, que incluyen las operaciones de selección, clasificación, transporte y reprocesamiento. Al seguir estas regulaciones, se evitan sanciones legales y se contribuye al cumplimiento de los objetivos ambientales y de sostenibilidad establecidos.

La manera adecuada, entonces, de desarrollar las operaciones de selección, clasificación y transporte de material aprovechable es fundamental para proteger el medio ambiente, fomentar la economía circular, reducir la producción de materias primas, mejorar el manejo de residuos, cumplir con las normativas vigentes y contribuir a la construcción de un futuro más y mejor sostenible.

2. MATERIALES Y METODO

Durante la simulación de las operaciones mediante el Software Promodel se hace un análisis detallado de información en los puntos de recolección, registrando los datos que generan los mismos recicladores de oficio, durante su recorrido por las micro rutas de residuos aprovechables en la ciudad de Sogamoso.

Al ser un tipo de investigación descriptiva se tiene como objetivos definir, clasificar y caracterizar las operaciones en la red de aprovechamiento de Sogamoso. Así mismo su enfoque Cuantitativo nos permite utilizar información de tipo determinístico para un análisis de datos más preciso y detallado.

Análisis de las características de las operaciones. Para el análisis de la información es necesario realizar la simulación de las operaciones que intervienen en el proceso de transporte, selección y clasificación de residuos aprovechables de la red de aprovechamiento del servicio público de aseo.

La simulación realizada en este estudio es continua, en la cual las variables de tipo aleatorio cambian a la velocidad del tiempo y en relación a tasas de cambio permitiendo recrear situaciones para encontrar la optimización del sistema según el análisis y comparación de los resultados finales.

Los métodos de análisis utilizados en el proceso de simulación son:

Evaluación y diseño. En esta fase se desarrollan las siguientes actividades: • Identificación los responsables de los procesos de aprovechamiento en las asociaciones de recicladores de oficio. • Determinación de los objetivos y necesidades de simulación. • Caracterización de los procesos a simular, identificando las tareas y secuencias lógicas tasas de transacción, flujos directos, múltiples y complejos. • Estimación de los recursos que intervienen en los procesos y que requieren planes financieros y presupuestales de optimización. • Evaluación y selección de las entidades y recursos a simular para comparar los resultados finales de las alternativas de simulación y su optimización o alteración negativa a lo largo de estas.

Ejecución. Esta fase comprende las siguientes etapas: • Diseño del entorno de simulación para el análisis del funcionamiento del proceso de aprovechamiento de los residuos sólidos y las variables que intervienen en el mismo, utilización de recursos, rendimiento, tiempos de espera, etc.; análisis de la capacidad máxima de las tareas de procesamiento y análisis de optimización sobre las variables de decisión. Es importante resaltar que

para este estudio se simularon entre 12 y 14 simulaciones previas por cada micro ruta y que en este documento se presenta la de mayor y menor resultado, definiendo esto como una propuesta de optimización y que se presenta de las 16 micro rutas de aprovechamiento del municipio de Sogamoso la micro ruta del Parque Industrial, debido a su particular característica de tener los tres tipos de residuos sólidos aprovechables (residencial, comercial e industrial). • Definición de las restricciones que afectan la simulación. • Definición del campo de actuación de la alternativa de simulación, incluyendo la extensión (tiempo de simulación), el alcance, la precisión y la presentación de resultados. • Análisis de datos. Identificación de variables que dependen del tiempo y/o de los recursos diferenciando de cuáles son de entrada y cuáles son de salida para adaptar las decisiones al objetivo y alcance de cada una de ellas.

Verificación y análisis de resultados finales de las alternativas de simulación. Comparación de resultados, análisis, pruebas y categorización de resultados. Esta fase hace referencia a la lectura de resultados finales para adaptar las tareas de recolección y aprovechamiento con los procesos de mejora continua de las organizaciones que desarrollan dichas actividades, coadyuvando a la predicción, comparación y optimización de los resultados de los procesos que generan costos y riesgos dentro de dichas asociaciones de recicladores [4].

Los instrumentos obtenidos son: • Libro de cálculo con la identificación de operaciones de transporte, selección y clasificación de residuos aprovechables de la red de servicio público de aseo. • Encuestas aplicadas a Recicladores de oficio que ejercen las operaciones de selección, transporte y clasificación en las micro rutas. • Entorno de simulación en Promodel y resultados de análisis para la optimización del proceso [5].

3. RESULTADOS

Las simulaciones en Software Promodel resultan ser una herramienta muy útil para evaluar y analizar los sistemas y las variables que intervienen en el proceso de recolección y aprovechamiento de residuos sólidos previendo y validando los resultados de optimización en cada una de las operaciones de selección, clasificación y transporte de residuos aprovechables en la dieciséis (16) micro rutas de la red de aprovechamiento del servicio público de aseo de Sogamoso. Las simulaciones que hasta el momento no se habían realizado en el sistema, facilitan la caracterización de las operaciones de aprovechamiento en Sogamoso y permiten una toma de decisiones más eficiente por parte de los recicladores de oficio para que estos realicen una selección adecuada y manipulación óptima de los recursos aprovechables en los contenedores o puntos de extracción, adopten mejores formas de transporte y descargue en las bodegas para su clasificación y reduzcan el material perdido para su comercialización y reprocesamiento [6].

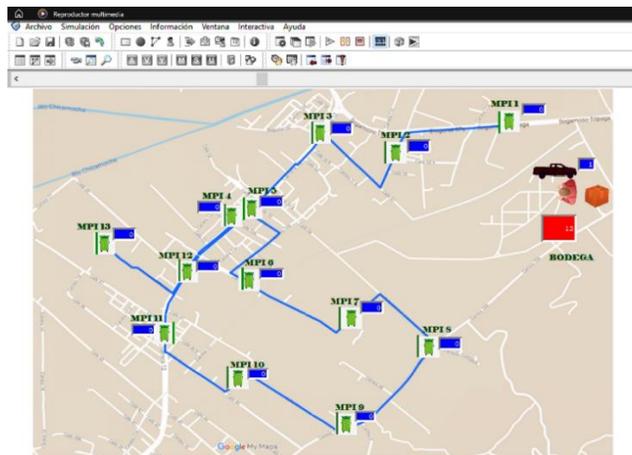


Figure 1. Alternativa simulada 1. Micro Ruta Parque Industrial.

Con la ayuda de ProModel se pueden simular diversos escenarios que permiten la evaluación de las variables y las operaciones en el manejo de residuos sólidos para la programación de las micro rutas de recolección, la capacidad de las instalaciones de selección y almacenamiento, los tiempos de empaque y clasificación y la gestión de recursos técnicos y humanos involucrados en todo el proceso de aprovechamiento. Al obtener los resultados de simulación e identificar las diferentes variables que interviene en el modelo, se pueden analizar sus impactos en términos de capacidad, costos, tiempos y optimización del sistema, a lo cual durante el análisis de resultados le denominaremos entidades. Una entidad son las variables que se pueden analizar durante la simulación, puede ser un operario, el material, un vehículo, o cualquier otro objeto

o variable que tenga influencia en el sistema que se está simulando y que interactúan con el modelo según las reglas y lógica de las operaciones establecidas, brindando información valiosa sobre el comportamiento y la eficiencia del sistema.

La tabla 1 muestra las estadísticas de la primera alternativa de simulación en una de las 16 micro rutas, en este caso la del Parque Industrial, donde se simulan los métodos tradicionales de selección y clasificación en el mismo punto de recogida identificando los tiempos de proceso y los métodos y formas de realizar cada operación en cada punto de operación. Esta ruta se muestra como ejemplo al lector porque es una de las micro rutas donde se presentan más demoras de selección por la complejidad de la misma. En el parque industrial se producen grandes cantidades de residuos de los diferentes tipos (metales, plásticos, químicos, chatarra, cobre, cartón, etc.). además de estar en una zona donde confluyen residencias familiares y negocios comerciales.

Tabla 1. Datos resumen de las simulaciones con métodos tradicionales de recolección y clasificación

Entidad Resume						
Nombre	Salidas totales	Tiempo en el Sistema Promedio (Hr)	Tiempo lógico de movimiento Promedio (Hr)	Tiempo Esperando Promedio (Hr)	Tiempo En Operación Promedio (Hr)	Tiempo de Bloqueo Promedio (Hr)
Material Aprovechable	13	6,090933	0,1476	0,814263	5,276667	0

Entidad Estado				
Nombre	% En Lógica de Movimiento	% Esperando	% En Operación	% Bloqueado
Material Aprovechable	2,423274	86,6315	10,94523	0

Resumen Recurso							
Nombre	Tiempo de Trabajo (Hr)	Número de Veces Utilizado	Tiempo Por Uso Promedio (Hr)	Tiempo Viaje Para Utilizar Promedio (Hr)	Tiempo Viaje a Estacionar Promedio (Hr)	% Bloqueado En Viaje	% Utilización
Carro Transportador	8,170933	13	0,480933	0,1476	0	0	65,34516

Nombre	Tiempo Programado (Hr)	% En Uso	% Viaje Para Utilizar	% Viaje a Estacionar	% Inactivo	% Down
Carro Transportador	12,50427	50	15,34516	0	34,65484	0

En las estadísticas lo que se observa como relevante se puede resumir en:

Entidad resumen (entidad se refiere al punto de recogida): de 6,090933 horas simuladas solamente 48,6 minutos se mantienen en descanso los operarios, es decir el 16.4% del tiempo.

Entidad estado (entidad se refiere al punto de recogida): el 10,94523% se mantiene en operación el punto de recogida, esto indica que los operarios o recicladores de oficio dedican mayor tiempo a la selección y clasificación que a desocupar los contenedores.

Resumen recurso (recurso se refiere al vehículo transportador): el porcentaje de utilización es del 65% a pesar que se selecciona y se clasifica en el mismo punto de recogida. Y el 50% del tiempo se mantiene en uso de llenado, el 50% restante es usado para el recorrido entre las bodegas y cada uno de los puntos de recolección.

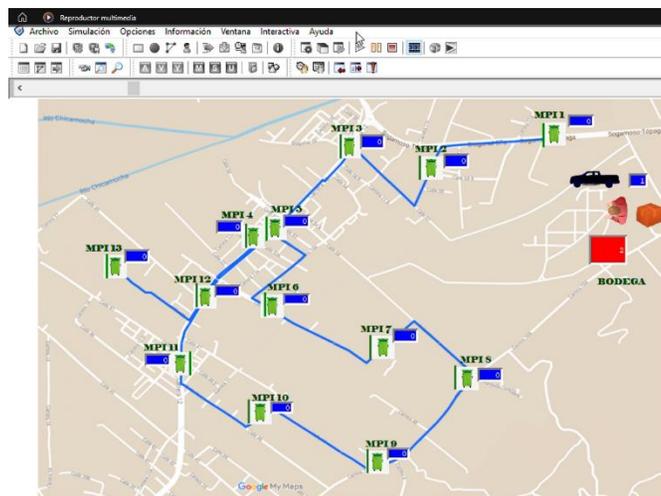


Figura 2. Alternativa simulada 2. Micro Ruta Parque Industrial.

La tabla 2 muestra las estadísticas de la primera alternativa de simulación en la misma micro ruta del Parque Industrial, donde se simula un método de únicamente selección para posterior clasificación en bodegas de acopio.

Tabla 2. Datos resumen de las simulaciones con métodos tradicionales de recolección y clasificación

Entidad Resumen						
Nombre	Total Salidas	Tiempo En Sistema Promedio (Hr)	Tiempo En lógica de movimiento Promedio (Hr)	Tiempo Esperando Promedio (Hr)	Tiempo En Operación Promedio (Hr)	Tiempo de Bloqueo Promedio (Hr)
Material Aprovechable	23	6,742504	0,036203	1,326157	5,416347	0

Entidad Estado				
Nombre	% En Lógica de Movimiento	% Esperando	% En Operación	% Bloqueado
Material Aprovechable	4,875783	80,28997	14,83425	0

Resumen Recurso							
Nombre	Tiempo de Trabajo (Hr)	Número de Veces Utilizado	Tiempo Por Uso Promedio (Hr)	Tiempo Viaje Para Utilizar Promedio (Hr)	Tiempo Viaje a Estacionar Promedio (Hr)	% Bloqueado En Viaje	% Utilización
Carro Transportador	1,473333	14	0,078524	0,026714	0	0	47,93926

Nombre	Tiempo Programado (Hr)	% En Uso	% Viaje Para Utilizar	% Viaje a Estacionar	% Inactivo	% Down
Carro Transportador	3,073333	35,77007	12,1692	0	52,06074	0

En las estadísticas lo que se observa como relevante se puede resumir en:

Entidad resumen (entidad se refiere al punto de recogida): se ha pasado de la alternativa 1 de 48,6 minutos a 1 hora y 20 minutos se mantienen en descanso los operarios, variando de un 16.4% a 21.8% del tiempo de operación simulado.

Entidad estado (entidad se refiere al punto de recogida): el 14,83425% se mantiene en operación el punto de recogida, esto indica que los operarios o recicladores de oficio aumentan la productividad en tareas de selección a pesar que tienen mayor tiempo de descanso, manteniéndolos en posiciones corporales diferentes a las que exige a la vez seleccionar y clasificar todo el tiempo.

Resumen recurso (recurso se refiere al vehículo transportador): el porcentaje de utilización pasa del 65% de la alternativa 1 al 47,94%. Y del 50% del tiempo en uso de llenado de la alternativa 1 al 35,77%, con solo actividades de selección.

4. DISCUSIÓN - ANÁLISIS DE RESULTADOS

Reflexionando sobre la idea de Jaramillo (1999) el aprovechamiento de los residuos comienza con la clasificación en los puntos de recogida, el transporte, clasificación y apile en las bodegas o centros de acopio, llámense estaciones de clasificación o simples talleres de almacenamiento. La simple definición de recolección que Jaramillo (2019) nos muestra como válida para asegurar que es suficiente saber recoger (seleccionar) y transportar a las bodegas o acopios para clasificar en un entorno más seguro y con mayor comodidad para los operarios [7].

Para estas tareas y para la transferencia final de aprovechamiento, las organizaciones destinan gran parte de su presupuesto, según Jaramillo (2002), en Latinoamérica entre el 60 y 70% del costo total del servicio se usa para ejecutar las operaciones de recolección y disposición final de residuos aprovechables. Así mismo vemos que estos porcentajes de operación se dedican a la selección y disposición final de transformación, sin considerar que la clasificación correcta conlleva tareas importantes como la limpieza, el embalaje, el apile y la organización de material para ser entregado a reprocesamientos futuros. Debemos tener cuidado que la contaminación de material puede afectar la calidad de reprocesamiento y los costos en estos nuevos procesos se verá afectado de manera negativa. Es por lo anterior que simulando tareas aparte de selección, clasificación y transporte se logra acercamiento a costos más exactos en esta simulación de operaciones.

Para el caso de Latinoamérica y El Caribe las tareas de recolección de residuos aprovechables se hacen de manera mecánica por las empresas de servicios públicos yendo de casa en casa o en puntos de recolección fijos, usando vehículos o camiones con capacidades máximas de 15 m³ que requieren ser asistidos o acompañados por entre 2 a 4 operarios (trabajadores del municipio). Mientras que los recicladores de oficio utilizan estos mismos días y rutas de la red del servicio público de aseo para recolectar los residuos aprovechables pero haciendo uso de vehículos de tracción animal y carritos manuales, generalmente con uno o dos recicladores que suelen ser de un mismo núcleo familiar. Este servicio de recolección puerta - puerta resulta mucho más costoso que sistemas semi - mecanizados o mecanizados, pero el nivel de tecnología aplicada a la actividad de recolección depende de la situación económica de cada país (Silgado, 2006). Además de lo que asegura Silgado (2016) depende también de la disposición de los contenedores o puntos de recolección, debido a que lograr ubicar mejor los contenedores da mayor eficiencia a su uso; no es muy eficiente tener contenedores de grandes capacidades y tenerlos el mayor tiempo desocupados a tenerlos de capacidades menores, pero con mayor utilización cuando se vayan a desocupar.

Como lo indica, Pineda (2022), el modelo KNN (el vecino más cercano) genera resultados más eficientes, respecto a otros modelos de ruteo. Este modelo que es utilizado en técnicas de ciencias de datos, se basa en la necesidad de identificar contenedores más cercanos a un centroide por cada micro ruta, según los volúmenes de producción de los residuos aprovechables y en proporción directa a los habitantes de dichas micro rutas. La instalación de contenedores no quedará entonces al azar, pues el modelo se basa en distancia óptimas y rutas de acceso para vehículos recolectores, cumpliendo con la normativa ambiental y el mejoramiento de la calidad de vida de recicladores de oficio que ejercen sus operaciones en los sistemas de aprovechamiento y de la población en general. Sin embargo es necesario que el gobierno local y sus entes de control entiendan que no pueden ser ajenas a la adaptación de la norma y de nuevas técnicas de recolección y aprovechamiento, por lo cual deben adaptar las políticas y servir de apoyo para asegurar con recursos que la ciudad tenga puntos modernos para la recolección de los residuos y se ejecuten los planes de concientización, capacitación y motivación a la ciudadanía en general para ajustarse a dichos planes. Este modelo ha sido probado en otras investigaciones resultando de gran utilidad para la ubicación de contenedores en las micro rutas a lo largo de la ciudad de Sogamoso, solo falta dar el paso más importante y es pasar del estudio técnico a la realidad de implementación por el gobierno local [8].

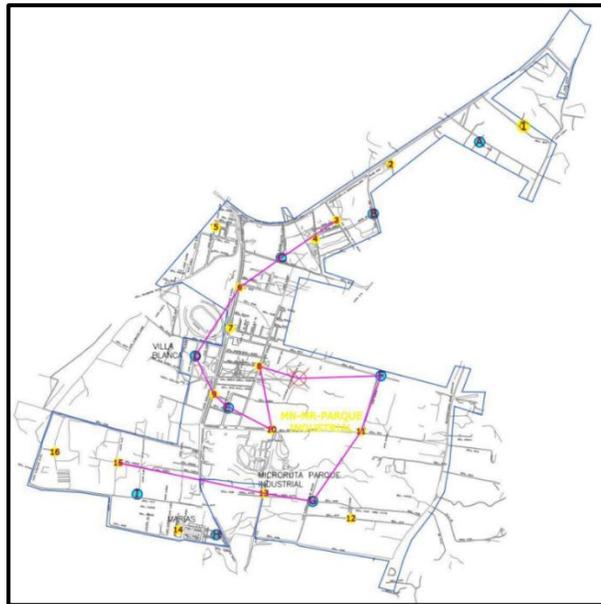


Figura 3. Modelo KNN Micro Ruta Parque Industrial, a partir de un centroide geoespacial.

5. CONCLUSIONES

La simulación de alternativas de las operaciones en la red de aprovechamiento del servicio público de aseo asegura un mejor análisis de variables y la optimización de los recursos usados en las operaciones de aprovechamiento de residuos. Además, sirve como herramienta de apoyo para definir métodos y modelos de trabajo más precisos. Hemos observado que dedicar tiempo a seleccionar y clasificar en el propio punto de recogida para el posterior traslado a las bodegas de acopio, invierte mayores recursos, como tiempo y posible uso de combustible en caso de usarse vehículos motorizados, teniendo incluso que repetir las operaciones de reclasificación antes de apilar el material que se deja listo para comercializar y reprocesar. Basta entonces con hacer una tarea de selección más detallada y eficiente en los puntos de recolección y transportar, con la seguridad que los empleados encargados de clasificar agilizarán las tareas de apile y orden en las bodegas de las asociaciones de recicladores de oficio. Observamos según el análisis de las alternativas que los operarios dedican entre el 10% y el 17% en operaciones de recogida, es decir tomar el material de las bolsas o puntos de recolección y verificar su estado físico para el aprovechamiento futuro, el tiempo restante se utiliza en tareas de selección y clasificación en las bodegas o sitios de trabajo.

Simulando las alternativas y los tiempos de tareas y operaciones es posible asegurar lo indicado por Jaramillo (1999) "La recolección de residuos sólidos se define como el conjunto de actividades que incluye la recogida y transporte de los residuos sólidos desde los sitios destinados para su depósito o almacenamiento por parte de los generadores hasta el lugar donde serán descargados", mostrando que el trabajo eficiente puede lograrse con métodos sencillos, pero precisos de selección y transporte y que el valor agregado de la calidad de los materiales finales se logrará con la correcta manipulación en la clasificación, apile y orden de material a reutilizar. Es donde los operarios se especializarían en las tareas y el error en los procesos y operaciones dentro de la red de aprovechamiento disminuirían o se controlarían notablemente. Un ejemplo de lo anterior es el porcentaje de utilización de los vehículos el cual oscila entre las alternativas simuladas del 43% al 65% para el recorrido entre las bodegas y cada uno de los puntos de recolección, sin embargo es el recurso que más dinero utiliza para costos fijos y variables de uso.

Ejecutar las operaciones de selección, clasificación y transporte de manera correcta de los residuos aprovechables es de gran importancia en los objetivos de sostenibilidad y gestión de dichos residuos. Esta labor se traduce en diversos beneficios tanto a nivel ambiental como socioeconómico. En primer lugar, realizar una adecuada selección y clasificación de los residuos aprovechables permite maximizar su valor y potencial de reciclaje. Al separar y categorizar los materiales de manera adecuada, se facilita su posterior procesamiento y reutilización, evitando así que acaben en los rellenos sanitarios sin lograr reprocesarse. Esto contribuye a minimizar los residuos destinados a la disposición final, disminuyendo los efectos negativos en el medio ambiente. Además, un transporte eficiente y seguro de estos materiales garantiza que lleguen a los centros de

reciclaje o plantas de aprovechamiento en condiciones óptimas. La correcta manipulación y embalaje de los residuos aprovechables evita posibles derrames, roturas o contaminaciones, asegurando la calidad de los materiales y su posterior procesamiento, esto puede estar directamente relacionado con la carga de trabajo de los operarios. Con la optimización de las simulaciones se obtiene la mejora de descanso de los operarios de 48,6 minutos a 1 hora y 20 minutos (80 minutos), variando de un 16.4% a 21.8% del tiempo de operación simulado, lo cual aumenta positivamente las condiciones de trabajo de los recicladores de oficio.

Asimismo, el adecuado manejo de estos residuos fomenta la generación de empleo en el sector de la economía circular. Las asociaciones de recicladores y empresas dedicadas al aprovechamiento de materiales pueden obtener beneficios económicos a partir del transporte, selección, recolección, procesamiento y comercialización de los residuos aprovechables. Esto contribuye a fortalecer la economía local y promover el desarrollo sostenible. Por último, la correcta gestión de los residuos refuerza la conciencia y compromiso ambiental y promueve la participación ciudadana en la reducción, reutilización y reciclaje de materiales. Cuando los ciudadanos observan que sus intervenciones generan un impacto positivo en el medio ambiente, se sienten motivados a seguir adoptando prácticas responsables en la separación de residuos y el consumo sostenible.

6. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional, Abierta y a Distancia por facilitarnos los recursos técnicos y financieros para las investigaciones y a ARFUSOG por su compromiso con el proyecto apoyando la recolección de datos e información facilitando el tiempo y conocimiento de los recicladores de oficio a lo largo de las micro rutas de la ciudad de Sogamoso.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Russo, M. (2003). Tratamiento de residuos Sólidos. (pp. 8-11) Portugal. Faculdade de Ciências e Tecnologia: Universidade de Coimbra.

[2] Ministerio de Vivienda, Ambiente y Desarrollo Territorial. (2005). Decreto 838 de 2005. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=16123>

[3] Silgado, J. (2006). La gestión de residuos sólidos urbanos en la ciudad histórica y sostenible: el ejemplo de Andalucía. <http://hdl.handle.net/2099/2234>

[4] Fullana, C. & Urquia, E. (2009). Los modelos de simulación: una herramienta multidisciplinar de investigación. https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/679256/EM_32_3.pdf

[5] ProModel Corporation (2019). ProModel. <http://promodel.com.mx>

[6] García, E., García, H. & Cárdena, L. (2013). Simulación y análisis de sistemas con ProModel Segunda edición. Tecnológico de Monterrey. Editorial Pearson.

[7] Jaramillo, J. (1999). Gestión integral de residuos sólidos municipales-GIRSM. Seminario Internacional Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos, Siglo XXI. Medellín.

[8] Pineda, R., Rojas, A., & Toro, E. (2022). Modelado de la red de recolección de aprovechamiento en el municipio de Sogamoso. Revista Politécnica. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v18n36a3>