

DESARROLLO DE UN SISTEMA LOGÍSTICO PARA LA GESTIÓN EFECTIVA DE LA FLOTA VEHICULAR EMPLEADA PARA LA RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE LA UNIÓN

Samuel Enrique Orellana Paz

Máster en Logística Internacional y Supply Chain Management. Docente Investigador. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional La Unión. Correo electrónico: samuel.orellana@itca.edu.sv

Edgardo Antonio Claros Quintanilla

Máster en Dirección de Empresas. Docente Coinvestigador. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional La Unión. Correo electrónico: edgardo.claros@itca.edu.sv

Recibido: 18/04/2023 - Aceptado: 25/07/2023

Resumen

El Centro Regional MEGATEC La Unión de ITCA-FEPADE, a través de las carreras Ingeniería en Logística y Aduanas y Técnico en Ingeniería de Desarrollo de Software, realizó en el año 2022 una investigación de campo en asocio con la alcaldía municipal de La Unión, la cual incluyó el diagnóstico de la gestión logística actual para la recolección de desechos, análisis del diagnóstico y el diseño del Sistema Logístico. Se realizaron visitas de campo a la alcaldía municipal para recolectar información referente a los recursos, rutas de recolección, control de costos, gestión de mantenimientos y control de disposición. Se monitorearon las rutas de recolección haciendo uso de una aplicación GPS y se elaboró el mapa de cada ruta, detallando tiempos y distancias. Se corrió una encuesta a 240 habitantes del municipio, la cual tuvo como objetivo identificar la percepción de la población respecto al servicio de recolección de desechos sólidos, conocer la cantidad de desechos generados según el área, urbana y rural. Los resultados del diagnóstico se presentaron a la Alcaldía consolidando la información de la gestión en un análisis FODA. Entre los resultados encontrados se identificó que en el municipio se generan más de 24 toneladas de desechos sólidos al día. Emplean 4 vehículos recolectores de distintas capacidades distribuidos en 7 rutas. El 72% de la población tiene acceso al servicio de recolección brindado por la comuna, el 22% quema la basura y el 4% deposita la basura en un predio baldío. Solamente el 2% de la población recicla la basura que genera. Sobre la base del análisis del diagnóstico y el FODA se diseñó un Sistema Logístico para la gestión efectiva de la flota vehicular recolectora de basura, lo cual permitirá optimizar y mejorar el servicio comunitario de recolección de desechos sólidos efectuado por la Alcaldía.

Palabras clave

Administración de flota de vehículos, control de residuos – La Unión - transporte, desechos sólidos, programación orientada a objetos (computadores), rutas de recolección, desarrollo local – La Unión.

DEVELOPMENT OF A LOGISTIC SYSTEM FOR THE EFFECTIVE MANAGEMENT OF THE VEHICLE FLEET USED FOR SOLID WASTE COLLECTION IN THE CITY OF LA UNIÓN

Abstract

The Centro Regional MEGATEC La Unión of ITCA-FEPADE, through the Logistics and Customs Engineering and the Software Development Engineering Technician degree programs, conducted field research in 2022 in collaboration with the municipal government of La Unión. This research included the diagnosis of the current logistics management for waste collection, analysis of the diagnosis, and the design of the Logistics System. Field visits were made to the town hall to gather information regarding resources, collection routes, cost control, maintenance management, and disposal control. Collection routes were monitored using a GPS application, and maps were created for each route detailing times and distances. A survey was conducted among 240 residents of the municipality to identify the population's perception about the solid waste collection service and to determine the amount of waste generated in both urban and rural areas. The results of the diagnosis were presented to the municipal government, consolidating the management information into a SWOT analysis. Among the findings, it was identified that the municipality generates more than 24 tons of solid waste per day. There are four collection vehicles of different capacities distributed across seven routes. 72% of the population has access to the collection service provided by the municipal government; 22% burns their trash, and 4% deposits the garbage in vacant lots. Only 2% of the population recycles the waste they generate. Based on the evaluation of the SWOT analysis, a Logistics System was designed for the effective

management of the waste collection vehicle fleet, which will optimize and improve the community solid waste collection service provided by the municipal government.

Keyword

Vehicle fleet management, waste control – La Unión - transportation, solid waste, object-oriented programming (computers), collection routes, local development – La Unión

Introducción

La poca conciencia por parte de la población para desalojar sus desechos sólidos, hacen que diariamente se generen botaderos no autorizados, sumado a que no existe una óptima distribución de los recursos para la recolección. Esto incrementa los focos de contaminación, afectando directamente la salud pública, el turismo, el comercio, y en consecuencia el medio ambiente.

Según el Ministerio de Salud, solo en el año 2019 los registros de muertes relacionadas a enfermedades causadas en parte por la contaminación suman 1,131 entre mujeres y hombres, lo cual nos brinda un panorama de los efectos que tiene la contaminación en la salud pública. [1]

Una de las preocupaciones de las municipalidades es la recolección de los desechos sólidos generados en zonas urbanas, rurales, hospitales, empresas, industrias y otros. Dicha preocupación exige atención y soluciones eficientes, para la protección de la salud pública y el medio ambiente, al menor costo posible.

Es común que el servicio de recolección de desechos sólidos no se brinde con regularidad y la eficiencia que la población espera, esto se debe entre otras cosas, a la deficiente gestión de la flota vehicular, mantenimientos oportunos, sustitución de vehículos, rutas de distribución y control de los costos, entre otros.

Este proyecto de investigación estudió la estrategia logística empleada para la recolección actual de los desechos sólidos que realiza la Alcaldía Municipal de La Unión. Se planteó la pregunta problema: ¿De qué manera la gestión actual de la flota vehicular empleada para la recolección de desechos sólidos, reduce la eficiencia del servicio que brinda la Alcaldía Municipal de La Unión? Como resultado del análisis del diagnóstico se diseñó para la Alcaldía un Sistema Logístico para la gestión efectiva de la flota vehicular que permita optimizar los recursos y mejorar el servicio de recolección de desechos.

Desarrollo

METODOLOGÍA

El proyecto de investigación se desarrolló utilizando el método descriptivo, tal como lo indica su nombre, el objetivo

es describir el estado y/o comportamiento de una serie de variables, en este caso: la flota vehicular, los desechos sólidos, los recursos, las rutas de recolección, entre otras.

El enfoque utilizado fue cualitativo, ya que permitió recopilar información sobre la logística aplicada en la gestión de la flota vehicular empleada en la recolección de desechos sólidos, a través de diferentes técnicas de recolección de información, observación, entrevistas y encuestas, permitiendo tener un punto de referencia de la situación actual, para plantear las estrategias necesarias para el diseño del Sistema Logístico.

Los datos se obtuvieron de 2 unidades de análisis, empleados de la Alcaldía Municipal de La Unión relacionados a la gestión de recolección de desechos sólido y los habitantes del municipio.

La metodología implementada se desarrolló en tres fases por un periodo de doce meses: 1. Diagnóstico de la gestión logística actual para la recolección de desechos. 2. Análisis del diagnóstico y 3. El diseño del Sistema Logístico.

RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS

Promedio anual en toneladas de desechos sólidos recolectados.

Según el registro de toneladas depositadas en el relleno sanitario de ASINORLU, los promedios mensuales de toneladas de desechos sólidos recolectadas desde año 2018 a la fecha son los siguientes [2]:

TABLA 1. Promedio en toneladas de desechos sólidos recolectados por la Alcaldía Municipal de La Unión desde el año 2018 hasta febrero 2022.

Año	Promedio mensual en toneladas	Promedio diario toneladas
2018	542	18.06
2019	558	18.60
2020	575	19.16
2021	658	21.93
Hasta febrero 2022	674	22.46

Disposición Final

El único lugar donde se disponen de los desechos sólidos recolectados es el relleno ASINORLU, ubicado en el municipio de Santa Rosa de Lima, a 49 kilómetros de la ciudad de La Unión.

RESULTADOS DE ENCUESTA REALIZADA LA POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE LA UNIÓN RESPECTO A LA RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS

La encuesta realizada a 240 habitantes del municipio de La Unión tuvo como objetivo, identificar la percepción de la población respecto al servicio actual de recolección de desechos sólidos. Además, conocer la cantidad de desechos generados según el área urbana y rural. La encuesta se desarrolló en el periodo del 30/03/2022 al 30/04/2022.

Los resultados muestran que el 74% corresponde a personas que viven en el área urbana y el 26% a personas que viven en el área rural.

Destino final de la basura que se genera

TABLA 2. Destino final que da la población a los desechos sólidos.

OPCIÓN	RESPUESTA	PORCENTAJE
Se deposita en el camión recolector	172	72%
Se quema	52	22%
Se deposita en otro lugar "predio baldío"	10	4%
Se recicla	5	2%
TOTAL	240	100%

Acceso al servicio de recolección de desechos sólidos

TABLA 3. Resultados acceso al servicio de recolección de desechos sólidos

OPCIÓN	RESPUESTA	PORCENTAJE
SI	172	72%
NO	68	28%
TOTAL	240	100%

Promedio de personas por hogar y basura generada por sector

TABLA 4. Promedio de basura (kg) que se genera diariamente por casa, según área.

ÁREA	BASURA EN KG
URBANA	3.1
RURAL	2.9

TABLA 5. Promedio de personas que habitan en los hogares, según área.

ÁREA	PERSONAS
URBANA	4
RURAL	5

TABLA 6. Promedio de basura generada diariamente por habitante (producción per cápita), según área

ÁREA	BASURA EN KG
URBANA	0.78
RURAL	0.58
PROMEDIO	0.68

TABLA 7. Comparativo de producción per cápita de desechos sólidos.

FUENTE	PRODUCCIÓN PER CÁPITA KG	PRODUCCIÓN TOTAL TONELADAS DIARIO
Segundo Censo Nacional de Desechos Sólidos Municipales MARN-BID 1209/OC-ES. 2007 [3]	0.65	22.12
Unidad de Servicios Municipales de La Unión 2021	0.66	23.17
Encuesta realizada a los habitantes del municipio de La Unión 2022	0.68	24.22

Resultados

SISTEMA LOGÍSTICO PROPUESTO

En respuesta al análisis del diagnóstico realizado sobre la estrategia actual de la gestión de la flota vehicular empleada en la recolección de desechos sólidos del municipio de La Unión, se diseñó el Sistema Logístico.

Este sistema puede ser replicado en otras comunas, tomando en cuenta que hay variables únicas de cada municipio, por ejemplo: el tamaño, población, calles, entre otros, las cuales han de tenerse en cuenta.

El sistema logístico está acompañado de una plataforma informática que permite gestionar y controlar las actividades. Esta plataforma puede ser utilizada de manera remota a través de una conexión a Internet.

A continuación, se presenta la estructura del sistema logístico desarrollado:



Fig. 1. Sistema logístico propuesto para ser aplicado a la Alcaldía Municipal de La Unión.

A. Logística de Entrada

La logística de entrada se refiere al conjunto de actividades y procesos que involucran la planificación, gestión y control de los recursos y materiales necesarios para que la comuna de La Unión pueda llevar a cabo sus operaciones de flota vehicular de manera eficiente y efectiva.

En esta parte del sistema logístico se establecen los recursos necesarios y la forma de utilizarlos para realizar las operaciones de recolección de desechos sólidos, por ejemplo: cálculo del número óptimo de vehículos, cálculo del recurso humano y capacitaciones, control de recambios y combustibles, y diseño de rutas de recolección. En este último punto, se realizaron las nuevas rutas de recolección considerando los siguientes parámetros:

TABLA 8. Parámetros de diseño para rutas de recolección.

Sector	Población	Área (Ha)	Densidad poblacional (Hab/Ha)	Producción per cápita por sector (PPC)
Urbano (Su)	16,332	544.19	29.99	0.78 kg
Rural (Sr)	15,999	3,357.73	4.76	0.58 kg
Comercial (Sc)	1,724	7.08	243.50	1.62 kg

Las rutas se diseñaron en 2 pasos:

- 1.Sectorización:** dividir la ciudad en sectores, de manera que cada sector asigne a cada equipo de recolección una cantidad más apropiada de trabajo, utilizando toda su capacidad.
- 2.Diagramación:** crear una ruta de recorrido para cada subsector, de manera que permita a cada equipo llevar a cabo el trabajo de recolección de basura en menor cantidad de tiempo y recorrido, y finalmente la digitación que es

plasmar en mapa todos los detalles y distancias (recorrido) que conforman cada ruta.

Cada ruta se diseñó tomando en consideración los detalles indicados en la Tabla 9.

TABLA 9. Datos ruta #1 sector urbano.

RUTA 1 (LUNES)			
Puntos		Demanda en toneladas	Km
Desde	Hacia		
Centro de Acopio	Sector La Palma	0.36	4.50
Sector La Palma	Barrio El Centro	2.79	0.80
Barrio El Centro	Barrio San Carlos	0.96	0.45
Barrio San Carlos	Sector La Playa	4.75	0.20
Sector La Playa	Relleno Sanitario	0.00	48.90
Relleno Sanitario	Centro de Acopio	0.00	54.70
TOTAL		8.86	109.55



Fig. 2. Mapa Ruta 1 sector urbano.

B. Operaciones

La segunda parte del Sistema Logístico diseñado establece la forma de monitorear las rutas de recolección. Además, incluye el diseño de la metodología para controlar todos los costos asociados a ésta. Otra parte importante es la programación de los mantenimientos preventivos y correctivos los cuales permiten optimizar la disponibilidad de los camiones, prolongar la vida útil, obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas.

Los principales objetivos que busca el realizar el mantenimiento en los equipos de transporte son los siguientes:

- ✦ Evitar, reducir y reparar las fallas.
- ✦ Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- ✦ Alcanzar o prolongar la vida útil de los camiones.

- ✦ Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- ✦ Evitar accidentes.
- ✦ Conservar los camiones en condiciones seguras y preestablecidas de operación.

C. Logística de Salida

En esta parte del sistema logístico, se sugieren algunas estrategias para utilizar una estación de transferencia según lo establece la legislación vigente en materia medio ambiental.

Se detalla el lugar donde se debe realizar la disposición final. La disposición final es la operación controlada y ambientalmente adecuada de los desechos sólidos, según su naturaleza, para ello se utilizan los “Rellenos Sanitarios”, el cual es el sitio construido y operado mediante la aplicación de técnicas de ingeniería sanitaria y ambiental, en donde se depositan, acomodan, compactan y cubren con tierra diariamente los desechos sólidos; contando con drenaje de gases, líquidos percolados y lixiviados.

El relleno sanitario es el último elemento funcional de la gestión; el método más comúnmente utilizado es el vertido en la tierra.

PLATAFORMA INFORMÁTICA PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DE LA FLOTA VEHICULAR

El sistema logístico integra una plataforma informática que permite de forma remota a través de Internet gestionar y controlar las actividades.

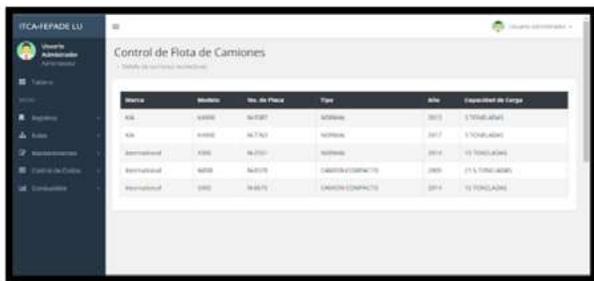


Fig. 3. Interfaz de plataforma informática.

La Plataforma Informática tiene las siguientes funcionalidades:

- ✦ Registro de datos de camiones que conforman la flota.
- ✦ Registro de datos de motoristas y auxiliares de recolección.
- ✦ Elaboración de rutas de recolección.
- ✦ Asignación de vehículos, motoristas y auxiliares y a rutas de recolección.
- ✦ Registro y control de vales de disposiciones.
- ✦ Control de cumplimiento de rutas de recolección.
- ✦ Control de repostajes de combustible.
- ✦ Reporte de repostajes por periodos.
- ✦ Registro de mantenimientos preventivos y correctivos.

- ✦ Control de costos de la flota vehicular.
- ✦ Medición de los procesos por medio de indicadores, como los siguientes:
 - Toneladas recolectadas al día por camión
 - Toneladas recolectadas al día por toda la flota
 - Toneladas recolectadas al mes por toda la flota
 - Costo de disposición al mes por camión
 - Costo de disposición al mes por toda la flota
 - Total de kilómetros recorridos al mes por camión
 - Consumo de combustible por kilómetro recorrido al mes por camión
 - Consumo de combustible por kilómetro recorrido al mes por toda la flota
 - Consumo de combustible al mes por camión
 - Consumo de combustible al mes por toda la flota
 - Costo de combustible al mes por camión
 - Costo de combustible al mes por toda la flota
 - Costo de mantenimiento preventivo al mes por camión
 - Costo de mantenimiento preventivo al mes por toda la flota
 - Costo de mantenimiento correctivo al mes por camión

Estos indicadores se pueden filtrar por mes o por rango de fechas específicas. La herramienta tiene la funcionalidad de imprimir los reportes de indicadores.

Beneficios del Sistema Logístico para la Alcaldía de La Unión.

Algunos de los beneficios que impactan el medio ambiente y que obtendrá la Alcaldía de La Unión al implementar el sistema logístico son los siguientes:

- ✦ Optimizar los recursos, es decir, minimizar los costos operativos al evitar recorridos innecesarios y maximizar la utilización de los recursos disponibles.
- ✦ Controlar las operaciones de la flota vehicular: rutas de recolección, motoristas, auxiliares, entre otros.
- ✦ Controlar y gestionar el consumo de combustible.
- ✦ Gestionar los costos ocasionados por la operación de la flota vehicular.
- ✦ Digitalizar los datos derivados de las operaciones de la gestión de la flota vehicular.
- ✦ Mejorar el servicio de recolección de desechos sólidos.
- ✦ Cumplir con la normativa medioambiental en materia de desechos sólidos.
- ✦ Mejorar imagen y reputación de la comuna.
- ✦ Mejorar la imagen de la ciudad para promover el comercio y turismo.

Beneficios para la comunidad.

- ✦ **Reducción de contaminación ambiental:** al contar con

una recolección oportuna de los desechos sólidos, se evita la acumulación y dispersión de basura en lugares no adecuados. Esto ayuda a prevenir la contaminación del suelo, agua y aire, contribuyendo a la preservación del medio ambiente.

- ♦ **Mejora de la salud pública:** la recolección regular y adecuada de los desechos sólidos reduce la proliferación de plagas y enfermedades transmitidas por vectores como moscas y roedores. Esto contribuye a mantener un entorno más saludable para la población.
- ♦ **Reducción de olores y contaminación visual:** la recolección oportuna y frecuente de desechos sólidos evita la acumulación excesiva de basura en áreas públicas, reduciendo los olores desagradables y la contaminación visual que afecta negativamente la calidad de vida de los residentes.
- ♦ **Reducción de riesgos naturales:** la acumulación de basura en lugares inapropiados puede aumentar los riesgos de inundaciones y otros desastres naturales, ya que los desechos pueden obstruir sistemas de drenaje y causar bloqueos.

Conclusiones

- El 72% de la población del municipio de La Unión tiene acceso al servicio de recolección brindado por la comuna. Sin embargo, el 22% realiza quema de basura, el 4% deposita la basura en un predio baldío, estos últimos porcentajes son perjudiciales para el medio ambiente. Es importante recalcar que solamente el 2% de la población recicla la basura que genera. La población que no tiene acceso al servicio de recolección representa el 26% la cual corresponde al área rural.
- El promedio de desechos sólidos (kg) que se generan diariamente por casa según el área, corresponde a 3.1 kg en el área urbana y 2.9 kg en el área rural. Considerando que en promedio en el área urbana viven 4 personas por hogar y el área rural 5 personas, la producción per cápita diaria corresponde a 0.78 kg para el área urbana y 0.58 kg para el área rural, obteniendo un promedio de 0.68 kg.
- Se diseñó y se desarrolló un Sistema Logístico para la gestión efectiva de la flota vehicular empleada para la recolección de desechos sólidos que permita optimizar los recursos y mejorar el servicio en la Alcaldía Municipal de La Unión.

Recomendaciones

- Para que el presente proyecto tenga el impacto esperado se debe renovar la flota vehicular, capacitar al personal y poner en práctica el Sistema Logístico diseñado.
- Es necesario capacitar permanentemente a los empleados responsables de la recolección y contar dentro de la comuna con personas que conozcan el nuevo Sistema Logístico de

recolección, a fin de aclarar procedimientos.

- Registrar en la Plataforma Informática la información derivada de la operación de los vehículos empleados para la recolección de desechos sólidos, de tal forma que los indicadores puedan ser medidos y mejorar el impacto positivo a la gestión.
- Realizar campañas informativas para concientizar a la población, en el buen uso del servicio de recolección y evitar los focos de infección por colocar desechos en zonas no autorizadas.
- Implementar programas de educación comunitaria con las ADESCO, para mejorar la disposición de los desechos sólidos, tal como la separación de los mismos, aprovechar los recursos reutilizables y disminuir la cantidad que se deposita en el relleno sanitario.
- Atender el programa de mantenimiento preventivo de la flota vehicular, para poder proporcionar adecuadamente el servicio de recolección y disminuir desperfectos mecánicos durante la jornada de trabajo.
- Considerar a futuro el diseño una estación de transferencia, que permita almacenar temporalmente los desechos sólidos recolectados, de tal forma que los camiones recolectores disponibles sean divididos, en los que realizarán las rutas hasta la estación de transferencia y otros que transportarán los desechos de la estación de transferencia al lugar de disposición final, esto permite utilizar los camiones más grandes para la disposición final y optimizar recursos.
- Es importante que a través de la Alcaldía y la población se conozca en qué medida las nuevas rutas propuestas satisfacen las expectativas de recolección y se identifiquen nuevas necesidades.

Agradecimientos

Agradecimientos especiales a la Alcaldía Municipal de La Unión por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación. Agradecimientos a los estudiantes de la carrera Ingeniería en Logística y Aduanas que contribuyeron a la investigación: Misael Nahúm Cañas Tijerino, Jonathan Enoc Cruz Vásquez, Oscar Antonio González Bonilla, José Sebastián Ortega Ramírez, Alejandra Gabriela Ramírez Palacios y Henry Josué Guevara Estrada.

Referencias

- [1] Ministerio de Salud, «Principales causas de mortalidad ocurridas en la Red de Hospitales del MINSAL,» El Salvador: MINSAL, 2019.
- [2] U. d. S. Municipales, Interviewee, Cantidad de toneladas recolectadas por mes. [Entrevista]. 20 Febrero 2022.
- [3] El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales ; BID 1209/OC-ES, «Segundo Censo Nacional de Desechos Sólidos Municipales,» El Salvador: MARN- BID, 2007.