

# SARA: Environmental Collection and Cleaning System

Carlos G. Rodríguez Ch.<sup>1</sup>, Samuel D. Castro R.<sup>2</sup>, José L. Camarena A.<sup>3</sup>, Ramfis Miguelena, PhD<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), Panamá, carlos.rodriguez45@utp.ac.pa, samuel.castro1@utp.ac.pa, jose.camarena5@utp.ac.pa, ramfis.miguelena@utp.ac.pa.

**Abstract--** *The general objective of this article is to propose a solution that contributes to mitigating the environmental impact derived from poor garbage collection in Panama City. In this research, we describe the problem through direct observation and use surveys as a data collection method. Subsequently, we propose a solution that involves the implementation of a software prototype to improve the waste collection and management system in the city.*

*For the development of the prototype, we used ultrasonic sensors to determine the real-time capacity of the garbage tanks, sending this information through the Arduino Uno R4 development board that includes an internet connection module. Additionally, we used the web-based prototyping tool “Figma” to create the visual part of the software and added the MapQuest Application Programming Interface (API) services with the Python programming language to calculate the different routes that can make a collection truck. As a result, we obtained a functional prototype of a sensor that measures the real-time capacity of garbage containers, a visual prototype of the web application and a functional algorithm that calculates the best route and displays it through an interactive map.*

**Keywords--** *garbage collection, containers, efficiency, routes, monitoring.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

# SARA: Sistema ambiental de recolección y aseo

Carlos G. Rodríguez Ch.<sup>1</sup>, Samuel D. Castro R.<sup>2</sup>, José L. Camarena A.<sup>3</sup>, Ramfis Miguelena, Phd<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), Panamá, carlos.rodriguez45@utp.ac.pa, samuel.castro1@utp.ac.pa, jose.camarena5@utp.ac.pa, ramfis.miguelena@utp.ac.pa.

**Resumen--** Este artículo tiene como objetivo general proponer una solución que contribuya a mitigar el impacto ambiental derivado de una deficiente recolección de la basura en la Ciudad de Panamá. En esta investigación, describimos la problemática a través de la observación directa y utilizamos encuestas como método de recolección de datos. Posteriormente, planteamos una solución que implica la implementación de un prototipo de software para mejorar el sistema de recolección y gestión de residuos en la ciudad.

Para el desarrollo del prototipo, empleamos sensores ultrasónicos para determinar la capacidad en tiempo real que poseen los tanques de basura mandando esta información a través de la placa de desarrollo Arduino Uno R4 que incluye un módulo de conexión internet. Además, utilizamos la herramienta de generación de prototipos basados en la web “Figma” para crear la parte visual del software y añadimos con el lenguaje de programación Python los servicios de Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) de MapQuest para calcular las diferentes rutas que puede hacer un camión de recolección. Como resultado, obtuvimos un prototipo funcional de sensor que mide la capacidad en tiempo real de los contenedores de basura, un prototipo visual de la aplicación web y un algoritmo funcional que calcula la mejor ruta y la muestra a través de un mapa interactivo.

**Palabras claves--** Recolección de basura, contenedores, eficiencia, rutas, monitoreo.

## I. INTRODUCCIÓN

### A. Problemática

En la Ciudad de Panamá existen múltiples puntos donde las personas que residen alrededor depositan su basura, y estos lugares no son precisamente los destinados para esto, usualmente ocurre en lugares donde es complicado que un camión de basura tenga acceso, donde las calles son muy angostas o simplemente solo se puede acceder a pie. Por lo que estas personas optan por acumular su basura en aceras y zonas cercanas a las vías principales. Estas acumulaciones de basura, coloquialmente conocidas en Panamá como “pataconcitos” que contaminan visualmente el paisaje y contaminan el ambiente por la descomposición, traen enfermedades a la población circundante e incrementan la proliferación de plagas. La “crisis de la basura” en la capital panameña está originada en el fracaso de un modelo operativo ineficaz y atrasado para la recolección y disposición de desechos, destacó la Cámara de Comercio, Industria y Agricultura de Panamá (CCIAP).[13]

Al investigar sobre esto nos percatamos de que la Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario (AAUD) no tiene a su disposición una herramienta informática que le ayude a conocer si hay exceso de basura en algunos de estos puntos antes mencionados y por ende no existe un buen sistema que elimine estos desperdicios que afectan al ambiente y la salud de los ciudadanos. Dado lo anterior, formulamos la siguiente

interrogante: ¿De qué manera las TIC pueden ayudar a mejorar los sistemas de recolección de basura?

### B. Estado del Arte

Esta investigación se basa en el caso de estudio de la situación actual del sistema de recolección de basura en Panamá y la creación de una solución en Tecnología de la Información y Comunicación (TIC) que contribuya a mitigar el impacto ambiental del país a través del uso de un sistema que permita conocer la capacidad que tiene los contenedores de basura en tiempo real y nos devuelva la mejor ruta posible para recolectar la basura en los diferentes puntos donde se encuentran los contenedores.

Existen proyectos parecidos al que hemos planteado como solución para esta problemática en la Ciudad de Panamá:

En primer lugar, el proyecto *Smart garbage monitoring system using sensors with RFID over internet of things* realizado por Dhana Satyamanikanta y Narayanan Madeshan. En este proyecto utilizan sensores infrarrojos, sensores de peso, sensores fotoeléctricos y un lector de tarjeta de identificación por radiofrecuencia, el cual utilizaron para aquellas personas que lleven una tarjeta RFID se puedan identificar y recibir información de los sensores. [1]

Segundo, el artículo *Waste management system using IoT-based machine learning in university* realizado por Ahn Khoa. En este proyecto se optimiza la recolección de basura en una universidad. Además de usar sensores de peso y ultrasónicos, usa un módulo LoRa para transferir los datos a un servidor. Adicional, utiliza Machine Learning y teoría de grafos para identificar la ruta más eficiente.[2]

### C. Objetivo y contribución

El objetivo de este artículo es proponer una solución que haga más eficiente el proceso de recolección de basura en Panamá a través de contenedores de basura equipados con sensores ultrasónicos de capacidad, una aplicación web que recopile la información y un algoritmo que defina rutas óptimas y eficientes de recolección.

Recordando que el Objetivo #11 de la Agenda 2030 que pretende lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Por esto, es de suma importancia que todas las áreas de las comunidades estén limpias y agradables, ya que estas son el pilar de la sociedad. La principal meta que apoyamos de esta Agenda y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible es que “De aquí a 2030, las naciones deben asegurar el acceso de todas las personas a tener viviendas y servicios básicos adecuados, asequibles y seguros y mejorar los barrios marginales” [14] con su indicador en “La proporción de la población urbana que vive en barrios marginales, o viviendas inadecuadas.” [14]

A diferencia de otros proyectos relacionados en esta área, nuestra solución incorpora un sistema en tiempo real para seguir la capacidad y localización de los contenedores con sensores, además de calcular la mejor ruta utilizando algoritmos para encontrar la ruta más corta con grafos, como el algoritmo del vecino más cercano y la optimización por intercambio.

## II. MARCO TEÓRICO

### A. Acumulación de basura en la región

La acumulación desmedida de residuos sólidos en diversos puntos de la Ciudad de Panamá ha emergido como un problema ambiental y de salud pública de proporciones significativas. La disposición inapropiada de desechos, caracterizada por la formación de acumulaciones conocidas localmente como "pataconcitos," no solo degrada estéticamente el entorno urbano, sino que también plantea amenazas considerables para la salud de la población y el equilibrio ecológico. Este fenómeno, observado en áreas donde el acceso de los camiones recolectores es limitado o inexistente, ha dado lugar a consecuencias visuales y sanitarias perjudiciales, incluyendo la proliferación de plagas y la generación de focos de enfermedades. La urgencia de abordar esta crisis de acumulación de basura se fundamenta en la necesidad de preservar la calidad de vida de los ciudadanos y mitigar los riesgos ambientales asociados con la descomposición de los desechos. La situación actual demanda estrategias efectivas y soluciones innovadoras para revertir este problema arraigado y restaurar un entorno urbano más saludable y sostenible en la Ciudad de Panamá.[3]

### B. Sistema de Monitoreo

#### 1. Ventajas

El implementar un sistema de monitoreo o de información para recopilar los datos del estado de la capacidad actual de los tanques de basura trae como ventaja el poder trazar rutas más eficientes a los camiones de recolección lo que hacen que se produzca menos cantidad de CO<sub>2</sub> haciendo reducción del impacto ambiental.

También se trae como ventaja la programación predictiva que hacer referencia el poder usar datos históricos con los cuales el sistema es capaz de prever los momentos en los cuales hay mayor generación de residuos, permitiendo la programación de recolección más eficiente para evitar desbordamientos de los contenedores eliminando así la posibilidad de albergar plagas y enfermedades.

Estos sistemas traen consigo una mejora en la calidad de vida contribuyendo a entornos más limpios y ordenados creando así comunidades más saludables. [4], [5]

#### 2. Desafíos

Dentro de los desafíos que tenemos para el éxito de una futura implementación el primero sería el coste de la transformación de los basureros ya existentes con la equipación del equipo necesario para el monitoreo de la capacidad de almacenamiento que poseen en tiempo real.

Los costes de implementación del sistema web y el uso de un monitoreo con GPS para la recopilación de comportamiento de los sectores que más producen basura y en cuanto tiempo, obligan que el sistema sea escalable y que soporte una gran cantidad de datos día tras día.

Otro punto para tomar a consideración es que el monitoreo constante y mantener los equipos en buen estado en todo momento con una sociedad que no posee la mejor educación y el respeto a la propiedad ajena pueden jugar en contra en ciudades de difícil acceso para los camiones de basura al igual que no tener una buena conectividad para el monitoreo constante podría impedir la correcta implementación de este sistema.

### C. Soluciones tecnológicas para la recolección de basura

La información recopilada para informar el diseño de nuestro propio prototipo se derivó de estudios previos que exploraron soluciones tecnológicas para la gestión eficiente de residuos sólidos. En particular, se examinaron investigaciones que abordaban el uso de sensores, como los ultrasónicos, infrarrojos y de movimiento, para medir el nivel de desechos en contenedores de basura. Estos estudios proporcionaron datos cruciales sobre la asequibilidad y eficacia de diferentes tipos de sensores, destacando el sensor ultrasónico como la opción más rentable, con una distancia máxima de detección de 100 cm y una precisión que oscila entre el 90% y el 97%. Además, se extrajeron aprendizajes significativos sobre la definición de distancias apropiadas para notificaciones a los equipos de limpieza, con 6 cm identificados como la distancia óptima para una recolección eficiente y la prevención de desbordamientos. [6], [7], [8], [9], [10]

El análisis de la implementación de estos sensores en un "smart dustbin" también se basó en la revisión de estudios que demostraban la eficacia de dichos prototipos. En particular, se estudiaron proyectos similares que utilizaban tecnologías como Arduino Uno, sensores ultrasónicos y módulos Wi-Fi para enviar notificaciones en tiempo real cuando los niveles de desechos alcanzan umbrales críticos. La evaluación del rendimiento de estos prototipos en restaurantes locales proporcionó perspectivas valiosas sobre la aceptación y las áreas de mejora, resaltando la importancia de la eficiencia y eficacia del diseño [11], [12]

Así, la síntesis de estos conocimientos de estudios anteriores informó de manera integral el desarrollo de nuestro propio prototipo, brindando una base teórica sólida y práctica para abordar la problemática específica de la acumulación de basura en la Ciudad de Panamá.

### D. Algoritmo generador de mejor ruta

#### 1. Problema del viajante de comercio

El problema del "viajante de comercio" (Traveling Salesman Problem o TSP) es un problema de optimización combinatoria en teoría de grafos.

Normalmente su enunciado es más o menos así: “*Dado un conjunto de ciudades y las distancias entre cada par de ciudades, el objetivo es encontrar el recorrido más corto que visite cada ciudad exactamente una vez y regrese al punto de partida.*”

El TSP es un problema complicado, por lo que no se conoce un algoritmo eficiente para encontrar la solución óptima. Por lo tanto, se recurre a algoritmos heurísticos y métodos de aproximación.

## 2. API

“API”, por sus siglas en inglés, “Application Programming Interface”, que significa “Interfaz de Programación de Aplicaciones”. Es un conjunto de reglas y herramientas que permite a diferentes aplicaciones de software comunicarse entre sí.

Las API son esenciales en el desarrollo de software porque permiten la integración de diferentes sistemas y servicios. Además, proporcionan una capa de abstracción que permite a los desarrolladores interactuar con funcionalidades específicas de una aplicación o servicio sin necesidad de entender su implementación interna completa.

Existen diferentes tipos de API, pero la que utilizaremos y haremos énfasis son las APIs web: estas permiten la comunicación entre sistemas a través de Internet. Utilizan protocolos como HTTP para la transferencia de datos y suelen devolver respuestas en formato JSON o XML.

Cuando un desarrollador utiliza una API, envía una solicitud a través de la interfaz proporcionada y recibe una respuesta. La documentación de la API describe cómo se deben realizar estas solicitudes y qué se puede esperar como respuesta.

## III. DISEÑO Y METODOLOGÍA

### A. Instrumento de recolección de Datos

Como parte de la metodología usada realizamos 2 encuestas en línea a personas del distrito de Panamá y el distrito de San Miguelito utilizando la aplicación web de encuestas de Formularios de Google. Al realizar estas encuestas podremos conocer la opinión popular del estado actual del sistema de recolección de basura en estos distritos que poseen grandes acumulaciones de basuras que llegan a ser criaderos de mosquitos y alimañas aparte de los fuertes olores y contaminación visual que pueden traer graves consecuencias a las comunidades contaminando el ambiente donde viven, como se muestra en la Fig.1 y Fig. 2.



Fig. 1. Ejemplo de calle del distrito de San Miguelito repleta de basura.  
Fuente: La Prensa, Panamá.



Fig. 2. Ejemplo de acumulación de basura en la vía Panamá Norte.  
Fuente: Elaboración propia, 2023

El propósito de la primera encuesta es evaluar la satisfacción que tienen los habitantes con la eficiencia del sistema de recolección de desechos en el distrito de Panamá y el distrito de San Miguelito. Para ello, la encuesta pregunta a la ciudadanía sobre su satisfacción con respecto al manejo, constancia y eficiencia del sistema actual.

El objetivo de esta primera encuesta es obtener información sobre la percepción de la ciudadanía sobre el sistema de recolección de desechos actual. Esto incluye conocer su nivel de satisfacción con el manejo y eficiencia del sistema.

La segunda encuesta tiene como propósito evaluar la opinión de los habitantes sobre un sistema de monitoreo de basura, que incluye realizar rutas que se adapten para una recolección más eficiente y amigable con el ambiente. Para ello, la encuesta pregunta a la ciudadanía sobre su opinión sobre los beneficios y aceptación de estos sistemas.

El objetivo de esta segunda encuesta es determinar la aceptación que tiene la ciudadanía con un sistema de rutas de recolección de basura según la capacidad de almacenamiento que poseen los contenedores de desperdicios como alternativa.

## B. Herramientas de desarrollo e implementación

Para el diseño de la interfaz utilizamos el software de prototipo de interfaz web “Figma” que está especializado para realizar prototipos de interfaces interactivos.

Después usamos la herramienta de Arduino IDE, propia de todas las placas de desarrollo Arduino, para poder cargar el programa de medición de la capacidad de los contenedores.

Finalizando, usamos el lenguaje de programación “Python” junto con sus librerías, ya que estas nos brindaban una mejor precisión para crear el algoritmo de recomendación de rutas. La versatilidad y compatibilidad con otros lenguajes y software muy usados hacen que Python sea nuestra elección.

## C. Metodología de Desarrollo

### 1. Sensor

Como primer punto en nuestra metodología de desarrollo tenemos el sensor ultrasónico para medir la capacidad de los contenedores.

Para crear este sensor utilizamos un Arduino Uno R4 que incluye un módulo de conexión internet, un sensor HC SR04 ultrasónico para medir la capacidad de los basureros y una protoboard de 30 pines. Además 4 cables cocodrilos para realizar las conexiones, tal como se observa en la Fig. 3.

La programación completa del sensor fue realizada en el Arduino IDE.

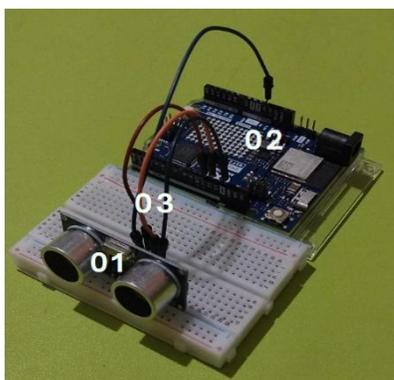


Fig. 3. Prototipo de sensor.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

### 2. Algoritmo ruta eficiente

Los algoritmos que empleamos como base conceptual para la solución al problema del viajante son el algoritmo del vecino más cercano y la optimización por intercambio.

El algoritmo del vecino más cercano es un algoritmo heurístico comúnmente utilizado para resolver este problema. Este algoritmo comienza en un nodo arbitrario y construye el recorrido seleccionando en cada paso el nodo no visitado más cercano al nodo actual.

Se selecciona un nodo inicial como punto de partida. Mientras haya nodos no visitados se selecciona el vecino más cercano que aún no ha sido visitado. Mueve al algoritmo al nodo seleccionado y lo marca como visitado. Una vez que todos los

nodos han sido visitados, regresa al nodo de inicio para cerrar el ciclo.

Es importante destacar que el algoritmo del vecino más cercano no garantiza encontrar una solución óptima definitiva para el problema del viajante de comercio. Puede producir soluciones bastante buenas, pero no necesariamente la mejor. Por ejemplo, cuando se encuentra con varios nodos a la misma distancia, en cuyo caso procede con uno aleatorio. Es por eso por lo que implementamos también la optimización por intercambio.

La clave de esta optimización es seleccionar pares de ubicaciones para intercambiar y evaluar si el intercambio mejora la longitud total de la ruta. Este proceso se repite hasta que no se encuentren más mejoras significativas.

Para la implementación utilizamos el lenguaje Python. Para conocer el tiempo que toma llegar entre cada nodo utilizamos la función “*Optimized route*” de la “*Directions API*” de MapQuest Developer. Y para mostrar en pantalla la ruta usamos la librería Folium de Python.

### D. Costos

Esta propuesta esta diseñada de tal forma que es asequible para poder ser replicada de manera sencilla y a bajo costo como se aprecia en la Tabla 1. A continuación, veremos los precios, en término de dólares, en los que oscilan de los diferentes componentes:

Componente	Precio	Cantidad
Arduino UNO R4	\$20-\$30	c/U
Sensor HC-SR04	\$3-\$10	c/U
Placa de Prototipo	\$5-\$15	c/U
Cables conectores	\$3-\$5	Paquete de 20
Total	\$31-\$60	Sensor completo

Tabla. 1. Precio de los componentes para armar el sensor.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

### 3. Prototipo de diseño de aplicación web

Como siguiente paso, desarrollamos un prototipo de página web, la misma cumpliría con el objetivo de unificar las funcionalidades identificadas en los formularios, mismas que fueron aplicadas en el desarrollo del prototipo de sensor de llenado y el desarrollo del algoritmo de rutas optimizadas. La página web se encuentra dirigida a las entidades encargadas de la recolección de basura, por lo que se mantuvo una interfaz amigable y directa, que muestre las funciones específicas que se pueden realizar, tal como se observa en la Fig. 4.

Unificando todos los componentes desarrollados para su uso en la página web, creamos el Sistema ambiental de recolección y aseo (SARA), el mismo consiste en mantener un control sobre las rutas que se establecen, llevar un cronograma sobre los puntos a visitar por las distintas zonas cada día, recibir las señales del porcentaje de llenado de la red de basureros a lo largo de la región comprendida, realizando esto último utilizando las aplicaciones del IoT, enviando dichas señales por

medio de internet hasta el sistema central donde se recibirán y manejarán estas alertas de llenado. Otra funcionalidad integral es el cálculo de la ruta óptima, esta trabaja de forma conjunta a las alertas, permitiendo que el usuario del sistema agregue al cálculo de la ruta los distintos basureros que necesitan ser recogidos, luego de esto el algoritmo retornaría cuál es la ruta más eficiente encontrada entre los distintos puntos agregados.



Fig. 4 Página principal de la interfaz de SARA.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### A. Primer Encuesta

Esta encuesta se realizó con una muestra de 160 habitantes entre el distrito de Panamá y San Miguelito.

Al recopilar la información de la primera encuesta podemos darnos cuenta de que no hay un nivel alto de satisfacción con el servicio del sistema de recolección de basura que existe actualmente en los distritos de Panamá y San Miguelito teniendo un porcentaje 31% de neutralidad, un 36% de insatisfacción y tan solo un 33% de satisfacción como se muestra en la Fig. 5.

En la Fig. 6 podemos darnos cuenta de una insatisfacción con la frecuencia de recolección de los residuos sólidos con 41%.

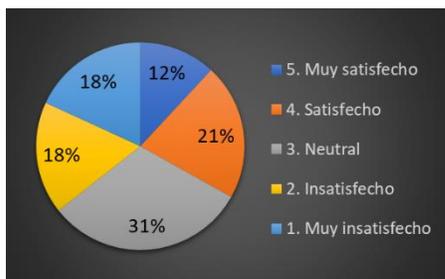


Fig. 5 Satisfacción sobre el servicio de recolección de residuos sólidos de sus comunidades

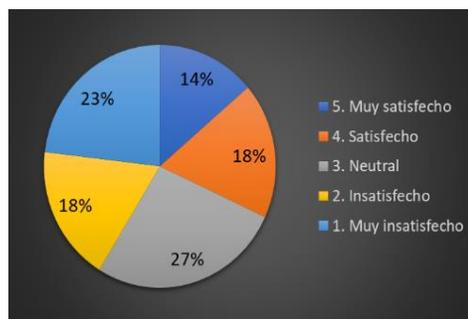


Fig. 6 Satisfacción sobre la frecuencia de la recolección de residuos sólidos de sus comunidades.

##### B. Segunda Encuesta

La segunda encuesta la realizamos con una muestra de 60 personas entre el distrito de Panamá y San Miguelito comprobando la aceptación de los habitantes con un 58,3% de acuerdo con la implementación de un sistema de monitoreo para optimizar la recolección de basura, como se aprecia en la Fig. 7. También con un 60% de aceptación sobre monitorear los contenedores de residuos sólidos que podemos ver en la Fig. 8, y un 40% de que están totalmente de acuerdo que los camiones recolectores utilicen la ruta más adecuada, como se observar en la Fig. 9.

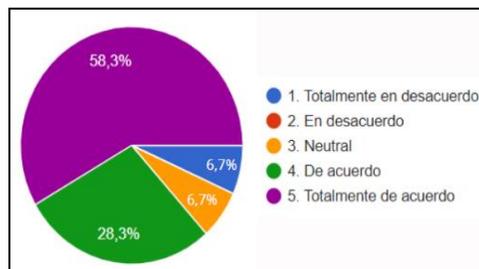


Fig. 7. Porcentaje de acuerdo sobre la implementación de un sistema de monitoreo para optimizar la recolección de basura en las comunidades.

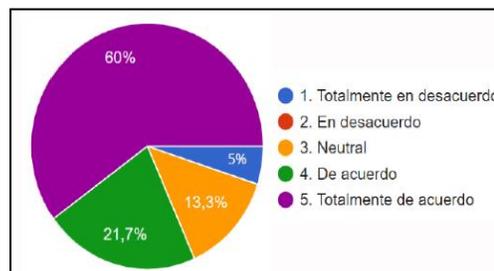


Fig. 8. Porcentaje de acuerdo sobre la monitorización de los contenedores de basura de las comunidades.

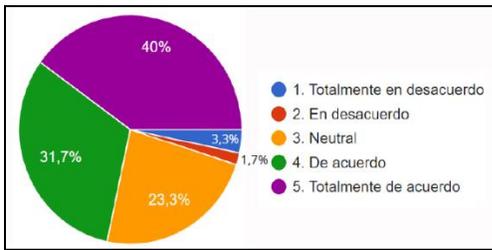


Fig. 9. Porcentaje de acuerdo para que los camiones recolectores de residuos sólidos no tengan una ruta fija, sino que utilicen la más adecuada según data recopilada anteriormente.

### C. Resultados en laboratorio del prototipo

Logramos de forma exitosa diseñar una solución que es capaz de notificar el estado actual de los contenedores y calcular la ruta más eficiente para la recolección de los residuos sólidos, como se puede apreciar en la Fig. 10. A pesar de no poder correr el prototipo a nivel de campo, las pruebas de laboratorio fueron satisfactorias logrando el diseño de la interfaz que se puede ver en la Fig. 11. y el correcto uso del sensor ultrasónico.



Fig. 10. Capacidad de contenedor medida por el sensor  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

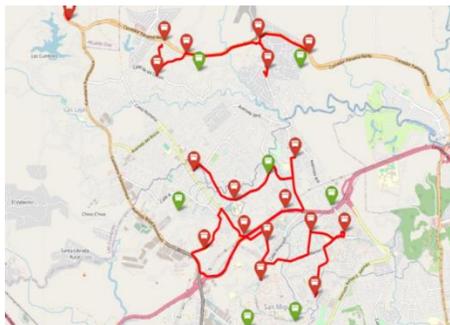


Fig. 11. Mapa con ruta generado por la aplicación.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

## V. CONCLUSIONES

Este trabajo contribuye a una solución práctica y eficaz para los problemas de recolección de basura.

Las principales ventajas de esta propuesta es que se requiere poca tecnología para ser implementada, aunque uno de sus contras más marcados puede llegar a ser la falta de conocimiento de las personas por ello deben hacerse campañas publicitarias para la educación de la sociedad para que no sean hurtadas o dañadas las tecnologías.

Las pruebas de laboratorios demostraron que se pueden crear soluciones utilizando herramientas de Tecnología de la Información y Comunicación (TIC) que sean funcionales y amigables para mitigar el impacto ambiental.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al profesor José Carlos Rangel Ortiz por proveer el sensor ultrasónico HC-SR04 y los demás componentes para el armado en físico.

## REFERENCIAS

- [1] N. Mohd Yusof, A. Z. Jidin, and M. I. Rahim, "Smart Garbage Monitoring System for Waste Management," in *MATEC Web of Conferences*, 2017. doi: 10.1051/mateconf/20179701098.
- [2] T. Anh Khoa *et al.*, "Waste Management System Using IoT-Based Machine Learning in University," *Wirel Commun Mob Comput*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/6138637.
- [3] J. M. Torrente-Velásquez, M. Ripa, R. Chifari, and M. Giampietro, "Identification of inference fallacies in solid waste generation estimations of developing countries. A case-study in Panama," *Waste Management*, vol. 126, 2021, doi: 10.1016/j.wasman.2021.03.037.
- [4] B. A. Aravindaraman and P. Ranjana, "Design of A Monitoring System for Waste Management Using IoT," in *Proceedings of 1st International Conference on Innovations in Information and Communication Technology, ICICT 2019*, 2019. doi: 10.1109/ICICT1.2019.8741499.
- [5] S. R. J. Ramson, D. J. Moni, S. Vishnu, T. Anagnostopoulos, A. A. Kirubaraj, and X. Fan, "An IoT-based bin level monitoring system for solid waste management," *J Mater Cycles Waste Manag*, vol. 23, no. 2, 2021, doi: 10.1007/s10163-020-01137-9.
- [6] B. Srijith, "Arduino based Distance Measurement Sensor using Ultrasonic Sensor," *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 9, no. VI, 2021, doi: 10.22214/ijraset.2021.35346.
- [7] L. Koval, J. Vaňuš, and P. Bilík, "Distance Measuring by Ultrasonic Sensor," in *IFAC-PapersOnLine*, 2016. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.12.026.
- [8] F. Aliew, "An Approach for Precise Distance Measuring Using Ultrasonic Sensors †," *Engineering Proceedings*, vol. 24, no. 1, 2022, doi: 10.3390/IECMA2022-12901.
- [9] A. Soliman, M. Z. Akkad, and R. Alloush, "Smart bin monitoring system for smart waste management," *Multidisciplinary tudományok*, vol. 10, no. 2, 2020, doi: 10.35925/j.multi.2020.2.45.
- [10] M. Narayanan, "Smart garbage monitoring system using sensors with RFID over internet of things," *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, vol. 9, 2017.
- [11] A. R. Abidin, Y. Irawan, and Y. Devis, "SMART TRASH BIN FOR MANAGEMENT OF GARBAGE PROBLEM IN SOCIETY," *Journal of Applied Engineering and Technological Science*, vol. 4, no. 1, 2022, doi: 10.37385/jaets.v4i1.1015.
- [12] M. Farhan, B. Charan, M. M. Baba, and Dr. Y. Srinivasulu, "Smart Dustbin Using Arduino," *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 11, no. 1, 2023, doi: 10.22214/ijraset.2023.48579.
- [13] Manuel Vega Loo, "Cciap: la crisis de la basura es por el fracaso del modelo," *La Prensa*, Panamá, Jun. 19, 2022.
- [14] N. Unidas, "La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe," 2030. [Online]. Available: [www.issuu.com/publicacionescpal/stacks](http://www.issuu.com/publicacionescpal/stacks)