



Internet de las Cosas aplicada a la movilidad y recolección inteligentes de residuos sólidos municipales

Internet of Things applied to smart mobility and collection of municipal solid waste

Internet das Coisas aplicada à mobilidade inteligente e coleta de resíduos sólidos urbanos

Iván Fernando Sinaluisa-Lozano ^I
ivan.sinaluisa@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9786-1397>

Carlos Alberto Gallardo-Naula ^{II}
carlosa.gallardo@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5421-6075>

Angelo Josue Morales-Dominguez ^{III}
angelo.morales@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-9402-2288>

Carlos Wilfrido Montufar-Paguay ^{IV}
carlos.montufar@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-3170-6964>

Correspondencia: ivan.sinaluisa@epoch.edu.ec

Ciencias Técnica y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de junio de 2023 * **Aceptado:** 12 de julio de 2023 * **Publicado:** 01 de agosto de 2023

- I. Docente Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, EC060155, Ecuador.
- II. Docente Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, EC060155, Ecuador.
- III. Estudiante Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, EC060155, Ecuador.
- IV. Estudiante Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, EC060155, Ecuador.

Resumen

Una gestión eficaz de los residuos domésticos en la ciudad es crucial para mantener un medio ambiente limpio y sano. Sin embargo, la ineficacia en la recogida de residuos se ha convertido en un problema creciente, que provoca el desbordamiento de los contenedores y toda una serie de inconvenientes y riesgos. Para hacer frente a estos retos, este trabajo propone la implantación de un sistema electrónico para la movilidad y recogida inteligente de residuos domésticos. El sistema utiliza un microcontrolador Arduino, sensor ultrasónico, módulo GSM 800L v2, la base de datos Firebase y la plataforma Mapbox. Al proporcionar datos en tiempo real sobre los niveles de llenado de los contenedores, el sistema permite optimizar la programación de la recogida y la utilización de los recursos. Los resultados ponen de relieve el potencial de este sistema para mejorar las prácticas de gestión de residuos, dando lugar a entornos urbanos más limpios y saludables. La utilización de soluciones tecnológicas como el internet de las cosas, unida a iniciativas de educación pública, contribuyen a la creación de sistemas de gestión de residuos más sostenibles y eficientes.

Palabras clave: Gestión de residuos; Internet de la Cosas; optimización; medio ambiente; sostenibilidad.

Abstract

Effective management of household waste in the city is crucial to maintaining a clean and healthy environment. However, ineffective waste collection has become a growing problem, causing overflowing bins and a whole series of inconveniences and risks. To face these challenges, this work proposes the implementation of an electronic system for the mobility and intelligent collection of household waste. The system uses an Arduino microcontroller, ultrasonic sensor, GSM 800L v2 module, the Firebase database and the Mapbox platform. By providing real-time data on container fill levels, the system helps optimize collection scheduling and resource utilization. The results highlight the potential of this system to improve waste management practices, leading to cleaner and healthier urban environments. The use of technological solutions such as the Internet of Things, together with public education initiatives, contribute to the creation of more sustainable and efficient waste management systems.

Keywords: Waste management; Internet of Things; optimization; environment; sustainability.

Resumo

A gestão eficaz dos resíduos domésticos na cidade é crucial para manter um ambiente limpo e saudável. No entanto, a coleta ineficaz de resíduos tornou-se um problema crescente, causando o transbordamento de lixeiras e toda uma série de inconvenientes e riscos. Para fazer face a estes desafios, este trabalho propõe a implementação de um sistema eletrônico para a mobilidade e recolha inteligente de resíduos domésticos. O sistema utiliza um microcontrolador Arduino, sensor ultrassônico, módulo GSM 800L v2, banco de dados Firebase e plataforma Mapbox. Ao fornecer dados em tempo real sobre os níveis de enchimento dos contêineres, o sistema ajuda a otimizar o agendamento de coleta e a utilização de recursos. Os resultados destacam o potencial deste sistema para melhorar as práticas de gestão de resíduos, levando a ambientes urbanos mais limpos e saudáveis. A utilização de soluções tecnológicas como a Internet das Coisas, aliada a iniciativas de educação pública, contribuem para a criação de sistemas de gestão de resíduos mais sustentáveis e eficientes.

Palavras-chave: Gestão de resíduos; Internet das Coisas; otimização; meio Ambiente; sustentabilidade.

Introducción

En los últimos años, la gestión de residuos sólidos municipales se ha convertido en un desafío cada vez más apremiante en las ciudades de todo el mundo. La creciente urbanización y la generación de residuos están ejerciendo una presión significativa en los sistemas de recolección y eliminación de basura existentes [1].

Para 2050, se prevé que el mundo genere 3.400 millones de toneladas de residuos al año, lo que supone un drástico aumento respecto a los 2.010 millones de toneladas actuales [2]. En el Ecuador se recolecta en promedio 12.613 toneladas de residuos sólidos al día. Un habitante de la zona urbana ecuatoriana produce en promedio 0,83 Kg de residuos sólidos al día. Del total de residuos sólidos producidos en el área urbana y caracterizado por los GADM, el 56% corresponde a residuos orgánicos y el 44% a inorgánicos. El 33,6% de GADM han iniciado o mantienen procesos de separación en la fuente. De las 1.818 toneladas diarias recolectadas de forma diferenciada, el 60,5% corresponden a residuos inorgánicos. El 50,5% de GADM disponen los

residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios, el 31,4% en Celdas Emergentes y el 18,2% en Botaderos [3].

Los Residuos Sólidos Municipales, también conocidos como basura o desechos sólidos, son los materiales descartados por las actividades humanas y generados en hogares, comercios, instituciones y lugares públicos dentro de un área urbana o rural. Estos residuos incluyen componentes orgánicos, inorgánicos, reciclables y no reciclables, que requieren una gestión adecuada para evitar impactos negativos en el medio ambiente y la salud pública [4]. La gestión inadecuada de residuos sólidos municipales presenta numerosos desafíos. Uno de los problemas más significativos es la acumulación de desechos en vertederos sin tratamiento adecuado, lo que puede provocar contaminación del suelo y el agua, emisiones de gases de efecto invernadero y riesgos para la salud pública [5]. Además, el uso ineficiente de los vehículos de recolección, las rutas poco optimizadas y la falta de seguimiento del llenado de los contenedores resultan en un desperdicio de recursos, tanto en términos de combustible, tiempo y como de mano de obra. Además, la carencia de una plataforma de participación ciudadana y de información actualizada sobre la gestión de residuos dificulta la colaboración de los ciudadanos en la separación adecuada de los residuos y en la programación de recolecciones especiales.

Para abordar los desafíos de la gestión de residuos sólidos municipales, a nivel nacional e internacional se han propuesto diversos enfoques sostenibles como: el enfoque de reducción en la fuente, Reciclaje y Valorización, Tecnologías y Automatización con el internet de las cosas y la Participación Ciudadana y Educación Ambiental [6]. El Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) es una tecnología emergente que ha revolucionado la forma en que interactuamos con el mundo digital y físico, se refiere a la interconexión de objetos físicos cotidianos con la infraestructura de Internet, permitiendo la comunicación y el intercambio de datos entre ellos. Estos objetos, también conocidos como dispositivos inteligentes, están equipados con sensores, actuadores y tecnología de conexión a Internet, lo que les permite recopilar, transmitir y procesar información de su entorno [7].

El IoT tiene una amplia gama de aplicaciones en diversos sectores como se muestra en la ilustración No. 1. En el ámbito de la salud, el IoT se utiliza para monitorear pacientes y proporcionar atención médica remota. En el transporte, el IoT permite la gestión de flotas de vehículos y el seguimiento en tiempo real de la ubicación de mercancías. En la agricultura, el IoT se aplica para el monitoreo y control de cultivos, optimizando el riego y la fertilización. Además,

el IoT ha encontrado aplicaciones en ciudades inteligentes, hogares inteligentes, industria manufacturera, entre otros campos [8].



Ilustración 1: Internet de las Cosas[9]

Sin embargo, la implementación exitosa de IoT en la recolección de residuos sólidos requiere de un enfoque integral que abarque aspectos técnicos, operativos y de privacidad de los datos [10].

En la literatura científica existe algunos trabajos con propósitos similares que utilizan metodología, arquitecturas y equipos diferente, a continuación, se detallan. Tarandeep Singh en su trabajo denominado *IOT based Smart Waste Management Framework*, proporciona una solución para mejorar la gestión de residuos sólidos mediante la monitorización remota de los parámetros de los contenedores de basura y la optimización de las rutas de recolección de basura. La metodología utiliza la tecnología X-bee y GSM para monitorear de forma remota los parámetros de los contenedores, como el llenado del contenedor, la temperatura, la humedad y el volumen de CO₂ dentro del contenedor. Los datos recopilados se transmiten a una estación base que los envía a una estación de control para su análisis y optimización de rutas de recolección de basura. Las conclusiones del estudio sugieren que el uso de tecnología IoT en la gestión de residuos sólidos puede ser una solución efectiva y rentable para mejorar la eficiencia de la recolección de basura y reducir los costos operativos y las emisiones de gases de efecto invernadero [11]. Mientras que Raúl Hernández y su equipo analizan la gestión y el proceso de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) en el municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México donde Identifican las principales características de la gestión y recolección de RSU en el municipio y aplican la idea de la Ciudad Inteligente (CI) para mejorar el servicio de recolección de basura en el municipio. La metodología empieza con una revisión bibliográfica sobre la gestión de residuos sólidos urbanos y la Ciudad Inteligente, realizan un análisis de la situación

actual de la gestión y recolección de RSU en el municipio y a través de entrevistas con los responsables del servicio y la observación directa del proceso de recolección. Se identificaron las principales características de la gestión y recolección de RSU en el municipio y propusieron medidas para mejorar el servicio de recolección de basura en el municipio. Se propusieron medidas para mejorar el servicio de recolección de basura en el municipio, como la implementación de tecnologías de la información y la comunicación, la capacitación del personal encargado del servicio y la promoción de la participación ciudadana. Se concluyó que la aplicación de la idea de la Ciudad Inteligente puede mejorar significativamente la gestión y recolección de RSU en el municipio de Nezahualcóyotl y en otros municipios [12]. Docentes de la Universidad Nacional del Rio Negro publicaron el artículo denominado Internet de las Cosas aplicada a la trazabilidad de la recolección de residuos en Ciudades Inteligentes cuyo objetivo es presentar el desarrollo de un software destinado a teléfonos inteligentes que cuenten con sistema operativo Android, que permita la trazabilidad de la recolección de residuos en Ciudades Inteligentes mediante la aplicación de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT). La metodología utilizada en este trabajo consistió en el desarrollo de una aplicación móvil para teléfonos inteligentes con sistema operativo Android, que utiliza tecnologías de IoT para la trazabilidad de la recolección de residuos en Ciudades Inteligentes. Se realizaron pruebas y evaluaciones de la aplicación en la ciudad de Viedma, Argentina. Los materiales y equipos utilizados en este trabajo incluyen teléfonos inteligentes con sistema operativo Android, sensores de geolocalización, servidores y bases de datos. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que la aplicación desarrollada permite la trazabilidad de la recolección de residuos en Ciudades Inteligentes mediante la aplicación de tecnologías de IoT. La aplicación permite a los ciudadanos conocer el horario de recolección de residuos y recibir notificaciones en tiempo real sobre el estado de la recolección en su zona. Además, la aplicación permite a los encargados de la recolección de residuos conocer la ubicación de los contenedores y planificar rutas de recolección más eficientes [13]. Por último, Rahul Moriwál y su equipo de trabajo publicaron el trabajo denominado Gestión inteligente de residuos mediante redes inalámbricas de sensores (WSN) e IoT (Internet de las cosas). Para lo cual utiliza redes de sensores inalámbricos que consisten en sensores colocados en los contenedores de residuos para controlar sus niveles de llenado. Estos sensores recogen datos y los transmiten de forma inalámbrica WiFi a un servidor central o a una plataforma basada en la nube. A continuación, los datos se procesan y analizan para optimizar las

rutas de recogida de residuos, programar las actividades de recogida y proporcionar información en tiempo real sobre el nivel de llenado de los contenedores. Los materiales y equipos que utilizan son sensores inalámbricos, módulos de comunicación (Wi-Fi, Zigbee y LoRa), microcontroladores o sistemas embebidos, un servidor central o plataforma basada en la nube para el procesamiento y análisis de datos, y vehículos de recogida de residuos equipados con GPS. Los resultados obtenidos evidencian la mejora de la eficiencia en las operaciones de recogida de residuos, la reducción del consumo de combustible y de las emisiones de los vehículos, la optimización de la planificación de rutas, lo que conlleva un ahorro de costes, la supervisión en tiempo real del nivel de llenado de los contenedores [14].

El objetivo principal de este trabajo es ofrecer una solución eficiente y sostenible que optimice la recolección de basura en tiempo real. Para lograr esto, se propone la implementación de sensores y análisis de datos avanzados. La integración de sensores permitirá detectar el llenado de los contenedores de basura de manera precisa y en tiempo real. Al contar con información actualizada sobre el nivel de llenado de cada contenedor, se podrán establecer rutas de recolección más eficientes, evitando la recogida de contenedores vacíos minimizando el desperdicio de recurso.

Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó la metodología de la ilustración No. 2.

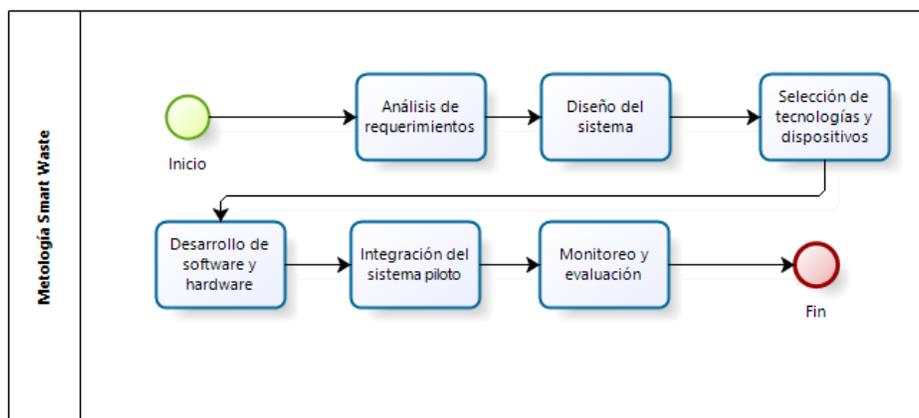


Ilustración 2: Metodología de trabajo

La primera etapa consistió en recopilar los datos geospaciales relevantes para el proyecto, esto incluye la ubicación exacta de los residuos sólidos en el área de interés, así como información sobre las vías y calles de la Institución. Con los datos geospaciales recopilados, se utilizó Mapbox para crear mapas personalizados que muestren la ubicación de los contenedores de residuos, las rutas de recolección existentes y otros elementos relevantes, para luego integrarse con la base de datos en la nube (Firebase) utilizada para almacenar los datos de llenado de los contenedores. Una vez que se han calculado las rutas óptimas, Mapbox permite asignar estas rutas a los vehículos de recolección de manera eficiente.

El análisis del requerimiento e implementación se lo realizó en la Escuela superior politécnica de Chimborazo ubicada en la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo. El sistema piloto se lo realizó con 15 contenedores de residuos sólidos distribuidos en el lugar como se muestra en la ilustración No. 3



Ilustración 3: Ubicación geográfica del proyecto

Para identificar las necesidades y requerimientos del sistema, se consideró aspectos como la detección del nivel de llenado de los contenedores, la comunicación de datos en tiempo real y la optimización de rutas de recolección.

La primera etapa consistió en recopilar los datos geospaciales relevantes para el proyecto, esto incluye la ubicación exacta de los residuos sólidos en el área de interés, así como información

sobre las vías y calles de la Institución. Con los datos geoespaciales recopilados, se utilizó Mapbox para crear mapas personalizados que muestren la ubicación de los contenedores de residuos, las rutas de recolección existentes y otros elementos relevantes, para luego integrarse con la base de datos en la nube (Firebase) utilizada para almacenar los datos de llenado de los contenedores. Una vez que se han calculado las rutas óptimas, Mapbox permite asignar estas rutas a los vehículos de recolección de manera eficiente.

1. Diseño del sistema:

En la búsqueda de soluciones innovadoras para abordar los desafíos de la gestión de residuos

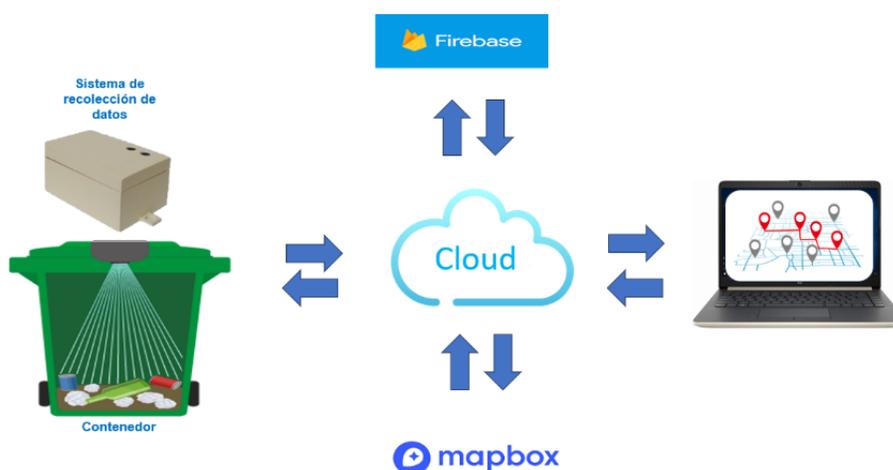


Ilustración 4: Arquitectura del Sistema

sólidos municipales, la implementación de sistemas inteligentes se presenta como una opción prometedora. En este sentido, la presente investigación propone como se muestra en la ilustración No. 4, una arquitectura avanzada para un sistema de recolección de residuos municipales basado en tecnología de Internet de las Cosas (IoT) . Esta arquitectura incorpora componentes clave, como el sistema de recolección de datos con comunicación GSM, La base de datos open souce Firebase y la plataforma Mapbox que permite generar rutas optimizadas y mostrar a los usuarios mediante el internet en sus pantallas.

El sistema de recolección de residuos municipales se basa en la integración de hardware y software para capturar y analizar datos en tiempo real, lo que permitirá una toma de decisiones más informada y una optimización de los recursos en la gestión de los residuos sólidos.

El sensor ultrasónico HC-SR04 se instaló en la parte superior de cada contenedor de residuos sólidos. Cuando este se activa, emite ondas ultrasónicas hacia abajo y mide el tiempo que tarda el

eco en regresar. El Arduino recibe los datos del sensor ultrasónico y los procesa para determinar la distancia de vacío del contenedor. A partir de esta información, el Arduino calcula el nivel de llenado del contenedor y lo almacena en su memoria interna. El Arduino activa la tarjeta GSM 800L v2 para enviar los datos del nivel de llenado a la base de datos Firebase y a la plataforma de gestión remota.

Selección de tecnología y dispositivos

En la búsqueda de soluciones eficientes y efectivas, la selección adecuada de tecnología y dispositivos juega un papel fundamental. La integración de tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT), sensores inteligentes y sistemas de información geográfica (SIG), ha abierto un abanico de oportunidades para soluciones innovadoras [15]. En este contexto, esta investigación explora las consideraciones clave en la selección de tecnología y dispositivos para la movilidad y recolección inteligente de residuos sólidos municipales, y su potencial para mejorar la calidad de vida en entornos urbanos. El análisis de estas herramientas tecnológicas permitirá identificar las soluciones más adecuadas para afrontar los retos actuales en la gestión de residuos, y promover prácticas más sostenibles y eficientes en el manejo de los desechos urbanos.

Arduino Uno: Es el microcontrolador principal del sistema con las características descritas en la tabla No.. 1 es el responsable de controlar el funcionamiento de los diferentes componentes, recibir datos del sensor ultrasónico, procesar la información y enviarla a la tarjeta GSM para la transmisión de datos a la nube.

Tabla 1: Características técnicas Arduino uno

CARACTERISTICAS	
Microcontrolador	ATMega328P
Voltaje de trabajo	2.4Ghz y 5Ghz IEEE
Voltaje de entrada	Gigabit Ethernet USB 2.0
Pin out	14 pines digitales (6 PWM y 6 pines analógicos)
Memoria	32 KB flash (0.5 para bootloader),
Coste	22\$



Sensores de ultrasonido: Se utilizaron sensores de ultrasonido con las características mostradas en la tabla No. 2 para medir la distancia entre el sensor y el nivel de basura en el interior del contenedor. Estos sensores emiten ondas ultrasónicas y miden el tiempo que tarda en rebotar la señal. De esta manera, se determinaba la altura y, por lo tanto, el nivel de llenado del contenedor.

Tabla 2: Características técnicas Sensor Ultrasónico

CARACTERISTICAS	
Alimentación	5V DC
Consumo suspendido	40 KHz
Consumo suspendido	2mA
Angulo efectivo	<15°
Distancia	2cm a 400cm
Consumo de trabajo	15mA
Resolución	0.3 cm



Shields de comunicación: La tarjeta GSM 800L v2 mostrada en la tabla No. 3 se encarga de la comunicación del sistema con una red de telefonía móvil. Permite que el sistema envíe datos, como el nivel de llenado de los contenedores, a una base de datos o plataforma de gestión remota.

Tabla 3: Características técnicas tarjeta GSM

CARACTERISTICAS	
Fuente	de 3.4v a 4.4v
Ahorro de energía	0.7mA
Frecuencia	GSM 850, EGSM 900, DCS 1800, PCS
Poder	de DCS 1800 v PCS 1900
Conectividad GPRS	GPRS multi-slot class 1- 12
Rango	de -40°C a 85°C
Interface SIM	Soporte de SIM card de 1.8 V, 3V
SMS	Servicio de datos suplementarios
Coste	15\$



Fuente de alimentación: La fuente de poder recargable de la tabla No. 4 suministra la energía necesaria para alimentar el Arduino Uno, el sensor ultrasónico y la tarjeta GSM. Puede ser una batería o una combinación de baterías y paneles solares para una mayor autonomía del sistema.

Tabla 4: Características técnicas fuente de poder

CARACTERISTICAS	
USB	5V A 2.4V
TYPE-C	5V/ 3.0A



USB A	5V/2.4A	

Base de Datos en la Nube Firebase: Proporciona un almacenamiento seguro y escalable para los datos de llenado de los contenedores. Los datos son enviados por el Arduino Uno a la base de datos Firebase mediante una conexión a Internet, ver ilustración No. 5.



Ilustración 5: Plataforma de base de datos en la nube

Plataforma Mapbox: Mapbox es una plataforma de mapeo y geolocalización que proporciona una variedad de herramientas y servicios para crear mapas personalizados, rutas inteligentes y visualizaciones de datos geoespaciales. En este trabajo Mapbox se utilizó para optimizar las rutas de recolección de manera eficiente y reducir costos operativos.

A continuación, en la ilustración No. 6, se describen las conexiones de los componentes y seguido se muestra las características de cada uno de los elementos utilizados:

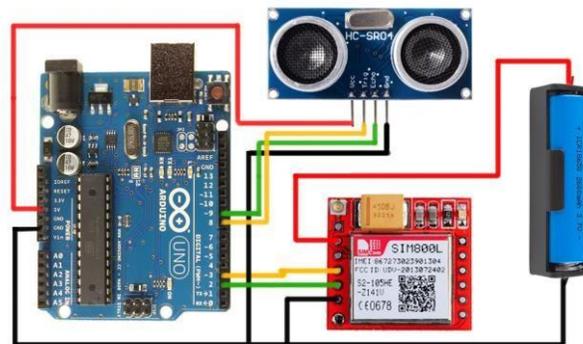


Ilustración 6: Diagrama de conexiones

Resultados

El presente apartado presenta los resultados de la investigación, el cual considera la localización georreferencial de cada uno de los contenedores, el tiempo de llenado de los contenedores, estado de llenado de los contenedores, generación de ruta óptima y eficiencia en la recolección de residuos sólidos municipales.

Se eligieron 15 contenedores de residuos sólidos ubicados en diferentes partes dentro de las instalaciones de la ESPOCH para representar una distribución realista en el campus se procedió a ubicarlos mediante GPS formando la ruta que se muestra en la ilustración No. 7.

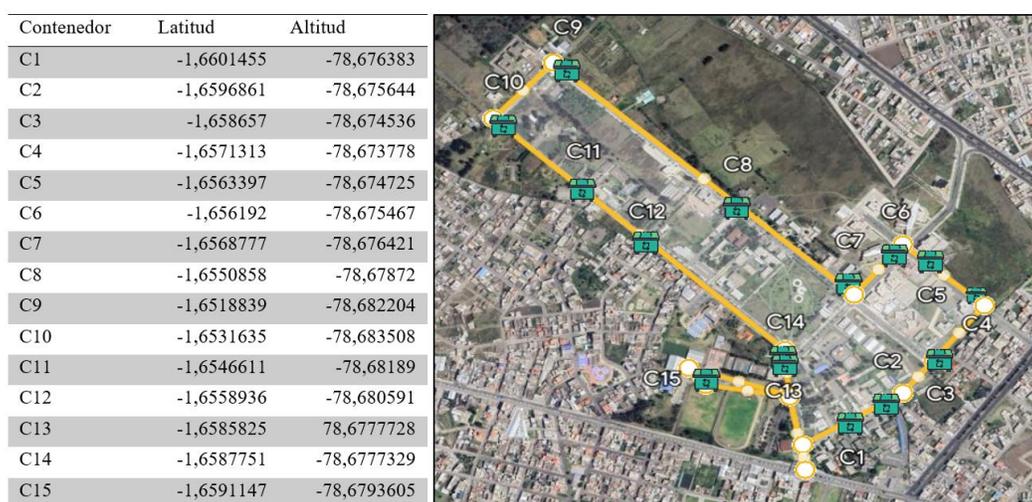


Ilustración 7: Ubicación georreferencial de los contenedores

Esta ruta consta de 3.829,19 m de recorrido y un tiempo promedio de recolección de 35 min incluyendo las paradas.

Conforme se visualizan en la ilustración No. 8 los datos recolectados mostraron que el tiempo de llenado promedio de los contenedores varía significativamente según su ubicación y la cantidad de desechos generados en cada área. Se observó una variación en el estado de llenado de los contenedores en diferentes momentos del día. Algunos contenedores alcanzaron su capacidad máxima más rápido debido a la afluencia de personas en ciertas áreas y algunos no se llenaron.

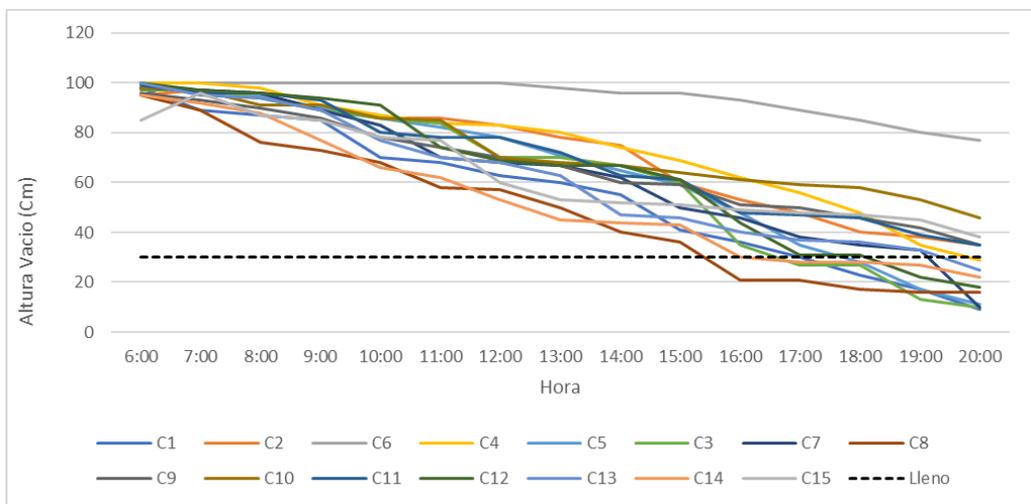


Ilustración 8: Tiempo de llenado de contenedores

Para evaluar el tiempo de llenado de cada contenedor y generar la ruta óptima se tomaron en cuenta a los contenedores con un 70 % de llenado, es decir menos de 30 cm de vacío.

Utilizando la plataforma Mapbox y Visual Basic, se generó la ruta óptima para la recolección inteligente de residuos, teniendo como resultado la ruta optimizada que redujeron la distancia total recorrida y minimizaron el tiempo de recolección de 3.829,19 m a 2.440,4 m y de 35 min a 25 min respectivamente con respecto a la ruta convencional conforme se evidencia en la ilustración No. 9a y 9b.



Ilustración 6a: Ruta convencional manual



Ilustración 9b: Ruta optimizada

Por lo tanto, los resultados del proyecto respaldan la viabilidad y eficacia de la implementación de Internet de las Cosas para mejorar la movilidad y la recolección de residuos sólidos municipales. La combinación de sensores IoT, la generación de rutas óptimas y la participación ciudadana pueden llevar a una gestión más eficiente y sostenible de los residuos en entornos urbanos. Estos resultados ofrecen una base sólida para futuras investigaciones y mejoras en el sistema de gestión de residuos, con el objetivo de promover ciudades más limpias y respetuosas con el medio ambiente.

Conclusiones

La implementación del sistema de recolección inteligente basado en IoT consigue mejorar significativamente en un 30% de la eficiencia de la recolección al evitar rutas innecesarias y asegurar que los contenedores llenos se recolecten de manera oportuna.

- Gracias a la información en tiempo real sobre el llenado de los contenedores proporcionada por los sensores IoT, se puede reducir significativamente la necesidad de recogida innecesaria de contenedores que no están llenos. Esto evita gastos adicionales en la recolección de residuos que no han alcanzado su capacidad máxima.
- La generación de rutas óptimas basadas en datos precisos permite una distribución más eficiente de los recursos humanos involucrados en la recolección. Esto conduce a una mejor utilización del personal y ahorros en costos de mano de obra.
- La recolección inteligente y oportuna de residuos sólidos evita el desbordamiento de contenedores y la acumulación de desperdicios en áreas públicas. Esto ha ayudado a reducir los costos asociados con la limpieza y eliminación de residuos adicionales y ha contribuido a mantener un entorno urbano más limpio y saludable.
- Aunque la implementación inicial puede requerir una inversión inicial en tecnología IoT y capacitación, se ha demostrado que esta solución es escalable y adaptable a diferentes entornos urbanos y municipales. La posibilidad de ampliar el sistema de recolección inteligente a otras áreas y ciudades puede resultar en beneficios significativos a nivel económico y ambiental.

Referencias

1. Prof. S. A. Mahajan, A. Kokane, A. Shewale, M. Shinde, and S. Ingale, "Smart Waste Management System using IoT," *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, vol. 4, no. 4, 2017, doi: 10.22161/ijaers.4.4.12.
2. Á. L. Martínez Moreno, S. Castillo Soler, and R. Crowe, "Gestión Inteligente de Residuos - Soluciones para las Smart Cities • ESMARTCITY," Oct. 25, 2019. <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/comunicacion-gestion-inteligente-residuos-soluciones-smart-cities> (accessed Jul. 16, 2023).
3. Instituto Nacional de Estadística y Censos, "Resumen Estadístico: Gestión de Residuos Sólidos 2020."
4. G. Tchobanoglous, F. Kreith, and M. E. Williams, *Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues*. 1993.
5. D. Hoornweg and P. Bhada-Tata, "A Global Review of Solid Waste Management - Review, Global Management, Solid Waste," *World Bank Urban Development Series Knowledge Papers*, vol. 1, no. 11, 2012.
6. M. del P. Sánchez-Muñoz, J. G. Cruz-Cerón, and P. C. Maldonado-Espinel, "Urban solid waste management in Latin America: An analysis from the perspective of waste generation," *Revista Finanzas y Política Económica*, vol. 11, no. 2, 2020, doi: 10.14718/REVFINANZPOLITECON.2019.11.2.6.
7. J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, 2013, doi: 10.1016/j.future.2013.01.010.
8. A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 17, no. 4, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.

9. K. Shafique, B. A. Khawaja, F. Sabir, S. Qazi, and M. Mustaqim, “Internet of things (IoT) for next-generation smart systems: A review of current challenges, future trends and prospects for emerging 5G-IoT Scenarios,” *IEEE Access*, vol. 8. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 23022–23040, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2970118.
10. B. M. Zabadal and B. F. L. M. de Castro, “IoT e seus principais desafios,” *Revista interdisciplinar de tecnologias e educação*, vol. 3, no. 1, 2017.
11. T. Singh, “IOT based Smart Waste Management Framework Instrumentation system to measure Tractor-implement system performance View project IOT based Smart Waste Management Framework”, doi: 10.13140/RG.2.2.28931.94244.
12. R. Hernández Mar, J. Régulo, M. Calderón, and R. E. Rózga Luter, “Gestión y recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) desde la perspectiva de la Ciudad Inteligente (CI): el caso de recolección de basura en el municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México.”
13. L. Andrés, H. Luis, and M. Abbate, “Internet de las Cosas aplicada a la trazabilidad de la recolección de residuos en Ciudades Inteligentes”.
14. R. Moriwal, “Smart waste management using Wireless Sensor Networks (WSN) and IoT (Internet of Things) 1Rahul Moriwal 1Assistant Professor 1AITR INDORE,” 2019. [Online]. Available: www.ijedr.org
15. G. García Navarrete and K. G. Rico Soto, “SENSORES DE BAJO COSTO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE,” *EPISTEMUS*, vol. 13, no. 27, 2020, doi: 10.36790/epistemus.v13i27.108.