

Smart container: IoT applied to solid waste collection

Oscar Jhan Marcos Peña-Cáceres, Mg^{1,4}, Norma Ordinola-Ipanaque, Dr²,
Henry Silva-Marchan, Mg³, Elmer Alfredo Chunga-Zapata, Mg⁴, Elvis Robert Garay-Silupú, Ing⁴

¹Universitat de València, España, osjmarpe@alumni.uv.es

²Universidad de Piura, Perú, nordinol@udep.edu.pe

³Universidad Nacional de Tumbes, Perú, hsilvam@untumbes.edu.pe

⁴Universidad Cesar Vallejo, Perú, echunga@ucv.edu.pe; egarays@ucvvirtual.edu.pe

Abstract- The purpose of a smart city is to reduce the shortcomings and public urgencies of citizens in order to provide quality, efficient and safe services. The objective of the research was to design a smart container for solid waste collection according to the level of storage through the application of the Internet of Things (IoT). The city of Piura-Peru was considered as a case study due to the high rate of solid waste that they host on a daily basis. The methodology was developed in four stages: identification of stakeholders, diagnosis of the city, identification of solid waste collection points and design of the smart container. The smart container optimizes routes, improves times and reduces solid waste collection costs by 20%. Finally, the IoT is a link for the development of cross-cutting proposals that contribute to the development and integration of a smart and sustainable city for the benefit of the population.

Keywords- IoT, smart container, solid waste, smart city

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Contenedor inteligente: IoT aplicado a la recolección de residuos sólidos

Oscar Jhan Marcos Peña-Cáceres, Mg^{1,4}, Norma Ordinola-Ipanaque, Dr²,
Henry Silva-Marchan, Mg³, Elmer Alfredo Chunga-Zapata, Mg⁴, Elvis Robert Garay-Silupu, Ing⁴

¹Universitat de València, España, osjmarpe@alumni.uv.es

²Universidad de Piura, Perú, nordinol@udep.edu.pe

³Universidad Nacional de Tumbes, Perú, hsilvam@untumbes.edu.pe

⁴Universidad Cesar Vallejo, Perú, echunga@ucv.edu.pe; egarays@ucvvirtual.edu.pe

Resumen— El propósito de una ciudad inteligente es reducir las falencias y urgencias públicas de la ciudadanía con el afán de brindar servicios de calidad, eficientes y seguros. La investigación tuvo como objetivo, diseñar un contenedor inteligente para la recolección de residuos sólidos de acuerdo al nivel de almacenamiento mediante la aplicación del Internet de las cosas (IoT). Se consideró la ciudad de Piura-Perú, como caso de estudio por el alto índice de residuos sólidos que albergan de manera diaria. La metodología se desarrolló en cuatro etapas, identificación de actores, diagnóstico de la ciudad, identificación de puntos de recolección de residuos sólidos y el diseño del contenedor inteligente. El contenedor inteligente optimiza las rutas, mejora los tiempos y reduce en un 20% los gastos de recolección de residuos sólidos. Finalmente, el IoT es un eslabón para el desarrollo de propuestas transversales que coadyuven al desarrollo e integración de una ciudad inteligente y sostenible en beneficio de la población.

Palabras clave—IoT, contenedor inteligente, residuos sólidos, ciudad inteligente

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, uno de los grandes problemas de la humanidad es la excesiva cantidad de residuos que se generan a nivel mundial [1], particularmente los residuos agrícolas [2] por ello, las autoridades de las grandes ciudades del mundo se encuentran en la búsqueda de estrategias que le permitan brindar a la población servicios públicos de manera eficiente y segura. Situación que conlleva a una sinergia de factores de tipo socioeconómico, cultural y tecnológico. En la actualidad se conoce de la existencia de diversas tecnologías que coadyuven a construir ciudades inteligentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida a través de la prestación de servicios [3].

Desde la antigüedad las ciudades siempre han generado residuos de las actividades económicas de la época, que se degradaban fácilmente por la naturaleza sin mayores complicaciones [4], tras el paso de la revolución industrial, las formas de producción evolucionaron y con ellas los bienes y servicios se transformaron, dando como resultado la generación de residuos más complejos, tanto en composición como en cantidad y con una degradación que suele ser más lenta y difícil cada vez. La recolección y el manejo de residuos sólidos se ha convertido en uno de los servicios más complejos para las instituciones públicas que administran su ciudad, debido al incremento poblacional y a los diferentes estilos de vida, representando un aumento importante en esta actividad, sobre todo en los residuos inorgánicos que tienden a

no descomponerse de manera inmediata, generando grandes volúmenes en los espacios de disposición final [5]. La recolección de residuos sólidos es importante en el servicio de las ciudades inteligentes y la tecnología inteligente tiene un gran potencial para aumentar la eficiencia y la calidad de la recolección de basura en todo el mundo [6].

Uno de los lugares que afronta esta problemática es la región de Piura, al norte del Perú, considerada la segunda más poblada del país. El acelerado desarrollo urbano moderno está acompañado por una creciente producción de residuos sólidos [7]. Actualmente, una persona que reside en el Perú genera un kilo de residuos, los cuales son cuantificados y tratados por las municipalidades distritales [8].

La ciudad de Piura, prevé una expansión urbana y una dispersión en la ampliación de sus servicios públicos y parte de los retos que debe cumplir de manera eficiente es el servicio de recolección de residuos sólidos. Tan solo en el casco urbano de la ciudad de Piura, se logra recolectar entre 10 a 12 toneladas de residuos sólidos, actividad que se realiza de manera nocturna, durante 8 horas y que muchas veces los limitados recursos logísticos y la escasez del recurso humano, no permiten cumplir con esta actividad de manera eficiente y permanente. El empleo de contenedores y de papeleras fijas ubicadas en las diferentes arterias de la ciudad, representan un gran desafío, por mantener la ciudad limpia. Es por ello que, una de las tendencias mundiales, es hacer uso y dominio adecuado de las tecnologías de la información para transformar ciudades en espacios más habitables, viables y sostenibles [9].

Es importante tener presente que, las tecnologías son un capital físico, primordialmente de tipo digital y electrónico, que son utilizados como canales abiertos a la comunicación e información, entre los distintos actores de la sociedad, incluyendo gobierno, empresas privadas y a los ciudadanos que conforman las ciudades o poblaciones, para mejorar la calidad de los servicios que se brindan a la comunidad [10]. En el casco urbano de la ciudad de Piura, es algunas de las veces es posible encontrar contenedores desbordados por residuos sólidos, situación que afecta la vista turística y una consecuente proliferación de insectos voladores que perjudican el ornato y exponen la salud de la población que transita por el lugar.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El término Internet de las cosas (IoT) fue inventado por Kevin Ashton en 1999 y se refiere a los datos en internet que están conectados a una arquitectura de servicio global en evolución [11]. Potencialmente puede mejorar la calidad de vida de los residentes urbanos. El IoT se ha convertido recientemente en un área clave de desarrollo, tiene como objetivo rastrear con precisión a las personas y conectar varios servicios y cosas en el mundo a través de Internet para recopilar, compartir, monitorear, almacenar y analizar los datos generados por estas cosas. Este nuevo paradigma en el que todos los objetos físicos conectados en cualquier aplicación inteligente, como una ciudad inteligente, un hogar inteligente y un sistema de recolección de residuos sólidos inteligente, se abordan y controlan de forma remota.

A medida que emergen las ciudades inteligentes, el IoT puede simplificar aplicaciones más sofisticadas y ubicuas, donde la gestión de residuos a través de los sistemas IoT son efectivos. En este sentido, el papel del IoT y la utilización de estos sistemas es una estrategia esencial y beneficiosa para desarrollar adecuadamente una ciudad inteligente [12]. Por otro lado, los sensores inteligentes y la tecnología inalámbrica permiten que los sistemas ciberfísicos automaticen la gestión de residuos sólidos, lo que revolucionará la industria [13], teniendo en cuenta que este tipo de sistemas están formados por una gran cantidad de dispositivos heterogéneos que se encuentran dispersos a través de la red y generar un flujo constante de datos [14].

En este contexto, las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) son el medio esencial para responder al impacto de las malas prácticas que el ser humano ejerce en una ciudad y que en muchos de los casos afecta [15] al cambio climático [16]. Es por ello que las comunicaciones IoT son cruciales para las operaciones de las ciudades inteligentes, mediante el uso de las TIC más avanzadas para mejorar la administración de la ciudad y los servicios para los residentes [17], teniendo en cuenta que el 50 % de los residuos sólidos que se generan en las ciudades son orgánicos, los cuales pueden transformarse en compost para darle un valor agregado [1].

La investigación tuvo como objetivo, diseñar un contenedor inteligente para la recolección de residuos sólidos de acuerdo al nivel de almacenamiento mediante la aplicación del IoT. Se consideró la ciudad de Piura-Perú, como caso de estudio por el alto índice de residuos sólidos que albergan de manera diaria. Esta propuesta busca ser un componente dentro de los modelos de ciudades inteligentes que permita a las autoridades de turno mejorar la calidad de vida [18] de los ciudadanos, con servicios públicos eficientes, seguros y menos costosos.

La Fig 1, representa la metodología de trabajo para el diseño del contenedor inteligente que facilite y optimice el proceso de recolección de residuos sólidos en el casco urbano de la ciudad de Piura.

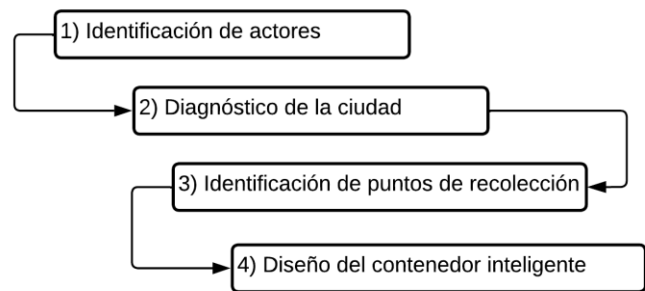


Fig 1. Metodología de trabajo.

2.1. Identificación de actores

El desarrollo de una ciudad, conlleva responsabilidad y decisiones transparentes. El ser humano cumple el rol de ser principal actor que expone la realidad problemática y posibles soluciones que contribuyan al bienestar de una ciudad sostenible. La eficiencia del servicio de recolección de residuos sólidos es una necesidad urgente de las instituciones públicas y privadas que colaboran en el desarrollo de esta actividad, pese a los limitados recursos que disponen [19]. Diariamente, el desplazamiento de recursos humanos y logísticos, permite que los espacios públicos de la ciudad de Piura, se mantengan limpios y ordenados, pero quizás no con la eficacia y vigencia que debería ser.

Se expone que, la articulación de un municipio y la población debe ser estrecha con la finalidad de gestionar, orientar y comunicar las debilidades que pudieran existir en el proceso de recolección de residuos sólidos. Por otro lado, el fortalecimiento de capacidades hacia el ciudadano debe ser constante, que instruya al residente a realizar una buena segregación de residuos sólidos y facilite la recolección en los diferentes horarios que planifica la autoridad edil [20].

En este primer acercamiento, se precisa, que las instituciones gubernamentales muchas de las veces carecen de talento humano, falta de recursos logísticos, deficiencia en los vehículos, accesorios de limpieza no apropiados y una amplia brecha del empleo de equipos tecnológicos que coadyuven a un mejor desenvolvimiento de esta actividad. El casco urbano de la ciudad de Piura está representado por urbanizaciones, en su mayoría lideradas por dirigentes vecinales que impulsan el bien común de su espacio geográfico, fomentando iniciativas de ciudades inteligentes mediante el empleo de las tecnologías, que inciden en el bienestar de la comunidad, anticipándose a sus necesidades de forma eficiente, flexible y sostenible por el buen estado sus áreas públicas [21].

2.2. Diagnóstico de la ciudad

El crecimiento intensivo de la población y los procesos de urbanización no planificados han desatado problemas ambientales, causando daños irreparables a los ecosistemas, contaminando el agua, la tierra y el aire [22], además del entorno social y económico que impiden el desarrollo de la ciudad de Piura y la calidad de vida de sus habitantes [23].

La generación de residuos sólidos urbanos es uno de los principales problemas en la actualidad, en primer lugar, porque el volumen y composición de los residuos se ha visto incrementado y modificado por el nuevo estilo de consumo, que refleja disminución de residuos orgánicos, papel y vidrio y aumento de residuos plásticos y, en segundo lugar, porque se trata de un problema social, producto de la situación económica de modelos neoliberales actuales [24].

La Fig. 2, ilustra el casco urbano del distrito de Piura, semanalmente, se recolecta entre 80 y 90 toneladas de residuos sólidos, los mismos que son transportados por vehículos de tres ruedas y compactadoras de 10 toneladas por unidad. Esta actividad se desarrolla a en horas de la noche y la madrugada. Labor que permite mantener los espacios públicos del casco urbano, en un estado aceptable.



Fig 2. Casco urbano de la ciudad de Piura.

Aproximadamente 300 trabajadores obreros, en las áreas externas del casco urbano de la ciudad de Piura, realizan la actividad de limpieza pública y recojo de residuos sólidos en el horario de 06:00 a 14:00 y 15:00 a 23:00 horas.

Ejercer la recolección de residuos sólidos, no solo es considerar el despliegue de talento humano, sino que, también prever puntos de alojamiento común que se encuentren ubicados en espacios estratégicos y de fácil acceso. En la actualidad la ciudad de Piura, dispone de contenedores convencionales donde población se apersona y aloja su bolsa de basura. Situación que motiva la integración de un sistema que colabore en esta tarea de manera funcional y operativa en el tratamiento de residuos sólidos [25].

El casco urbano de ciudad de Piura, se encuentra representado por 48 intersecciones, conocidas también como puntos primarios, donde el ciudadano al amanecer suele dejar en la parte posterior de su vivienda los residuos sólidos del día anterior. Otro grupo de la población recurre a ubicar sus bolsas de basura en los contenedores de depósito común, cuando su demanda es mayor a lo que puede almacenar durante un día.

Finalmente, la recolección de residuos sólidos en el casco urbano de la ciudad de Piura, se realiza en un tiempo no menor a las 8 horas; inicia a las 21:00 horas y culmina a las 05:00 horas del día siguiente, disponiendo de 50 personas y dos compactadoras, actividad que se refleja en un horario mixto, es decir, noche-madrugada, con la finalidad de no alterar ni congestionar las actividades comerciales y cívicas que se realicen en horas del día, facilitando el desplazamiento al personal que desarrolla esta labor.

2.3. Identificación de puntos de recolección

Con el afán de conocer a profundidad las capacidades y responsabilidades de una ciudad, se precisa que, la Municipalidad Provincial de Piura (MPP), es la encargada de realizar esta actividad. En el casco urbano de la ciudad se dispone de 10 contenedores de residuos sólidos comunes. El servicio de recojo de basura puede ser diaria o interdiaria, debido a las limitaciones de personal y vehículos.

La Fig 3, esquematiza el tipo de contenedor que emplea por la MPP. Sus dimensiones son de, 137 cm x 133 cm x 105 cm, le permiten almacenar un volumen de 440 kg; sin embargo, en este tipo de almacenamiento no existe segregación en el punto de recolección que permita explotar los recursos que pueden ser reutilizables y contribuyan económica a una eficiencia, sostenibilidad y permanente [27] del servicio de limpieza pública y recolección de residuos sólidos.

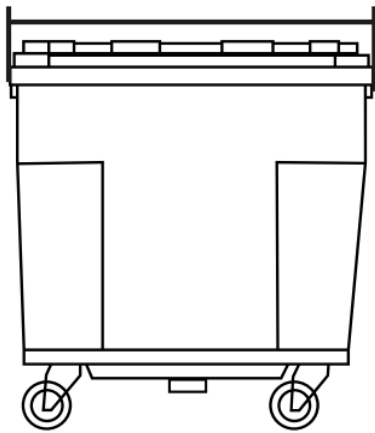


Fig 3. Contenedores de residuos sólidos.

Este tipo de alternativas temporales colaboran a brindar un servicio medianamente aceptable, sin embargo, el propósito es disponer de un servicio que refleje satisfacción por parte de la población y encamine el desarrollo sostenible y sostenido [28] de una ciudad. La Fig 4, representa como en algunas oportunidades las bolsas de residuos sólidos desbordan el contenedor. Algunas de las razones, recaen en una recolección tardía u horarios incompatibles donde al desplazarse el vehículo encuentra contenedores casi vacíos o en oportunidades vacíos.



Fig 4. Contenedor de residuos sólidos sin capacidad de almacenaje

Indudablemente, la estrategia municipal de colocar contenedores de basura ayuda en el ornato de la ciudad, pero no suficiente, menos es eficaz ni eficiente porque no abastece al conjunto de vecinos de una zona específica. A través de la Fig. 5, se da a conocer la ubicación de los contenedores al interior del casco urbano de la ciudad de Piura, insumo que demuestra la posibilidad de parametrizar y generar

combinación de rutas frente a la recolección de residuos sólidos en tiempos accesibles y con recursos existentes.



Fig 5. Ubicación de contenedores comunes de residuos sólidos en el casco urbano de la ciudad de Piura.

2.4. Diseño del contenedor inteligente

La existencia de contenedores comunes en diversas partes de una ciudad, requiere de una dosificación de recursos que permita el desarrollo de esta tarea en tiempos accesibles. Las TIC son el soporte y medio para abordar esta problemática. Una ciudad inteligente integra el IoT, con la finalidad de afrontar retos a través de sistemas inteligentes interconectados, contribuyendo a una gestión más eficiente de los recursos naturales y económicos [23].

La Fig 6, representa la propuesta de contenedor inteligente cuyas acciones están relacionadas en conocer el peso y el volumen de los residuos sólidos alojados en tiempo real. Entre los medios tecnológicos para su implementación se opta por integrar módulos Arduino, que son microcontroladores-sensores que permiten desenvolver las tareas antes mencionadas de manera eficiente.

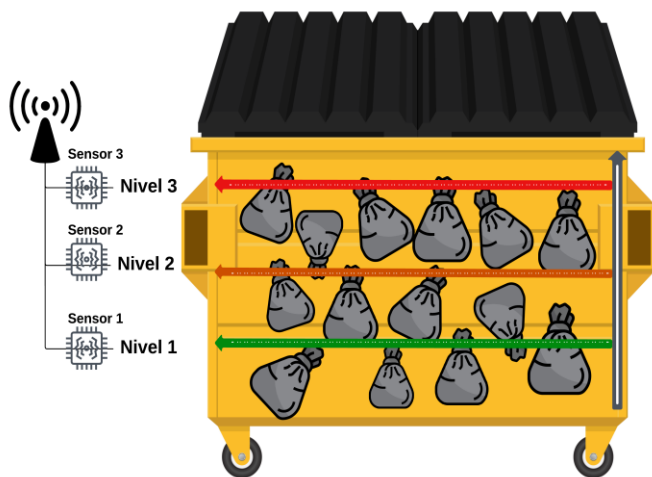


Fig 6. Contenedor inteligente de residuos sólidos

Las medidas del contenedor inteligente de residuos sólidos, se describe en la Tabla 1; mientras que la Tabla 2, representa los accesorios que se deben considerar como parte de la propuesta.

TABLA I
MEDIDAS DEL CONTENEDOR DE RESIDUOS SÓLIDOS DIGITAL

Descripción	Medidas
Ancho	210.8 cm
Alto	144.7 cm
Largo	160 cm

La arquitectura que representa la Fig 6, permite disponer de una capacidad de carga de 1360 kg, característica muy relevante que beneficia a la comunidad en el alojamiento de residuos sólidos a mayor escala. Por otro lado, la integración de microcontroladores y el IoT, contribuyen a desarrollar un sistema que fortalece la planificación urbana y desarrollo a una ciudad inteligente [29] mediante el empleo de las TIC.

TABLA II
ACCESORIOS DEL CONTENEDOR DE RESIDUOS SÓLIDOS DIGITAL

N°	Descripción
1	Módulo de integración - Arduino
2	Módulo GPRS
3	Chip telefonía móvil
4	Sensor ultrasónico
5	Módulo de alimentación de voltaje
6	Celda de carga tipo S
7	Terminales de conexión

Con la finalidad de profundizar el ámbito de estudio, la Fig 7, expresa la arquitectura de un sistema para la recolección de residuos sólidos con mecanismos efectivos en la transacción de datos que permiten conocer en tiempo real el nivel de volumen y peso del contenedor. Este tipo de aptitudes conlleva al desarrollo e implementación de un sistema de información que articule los más de 50 contenedores de residuos sólidos comunes que existen en el ámbito de la ciudad de Piura.

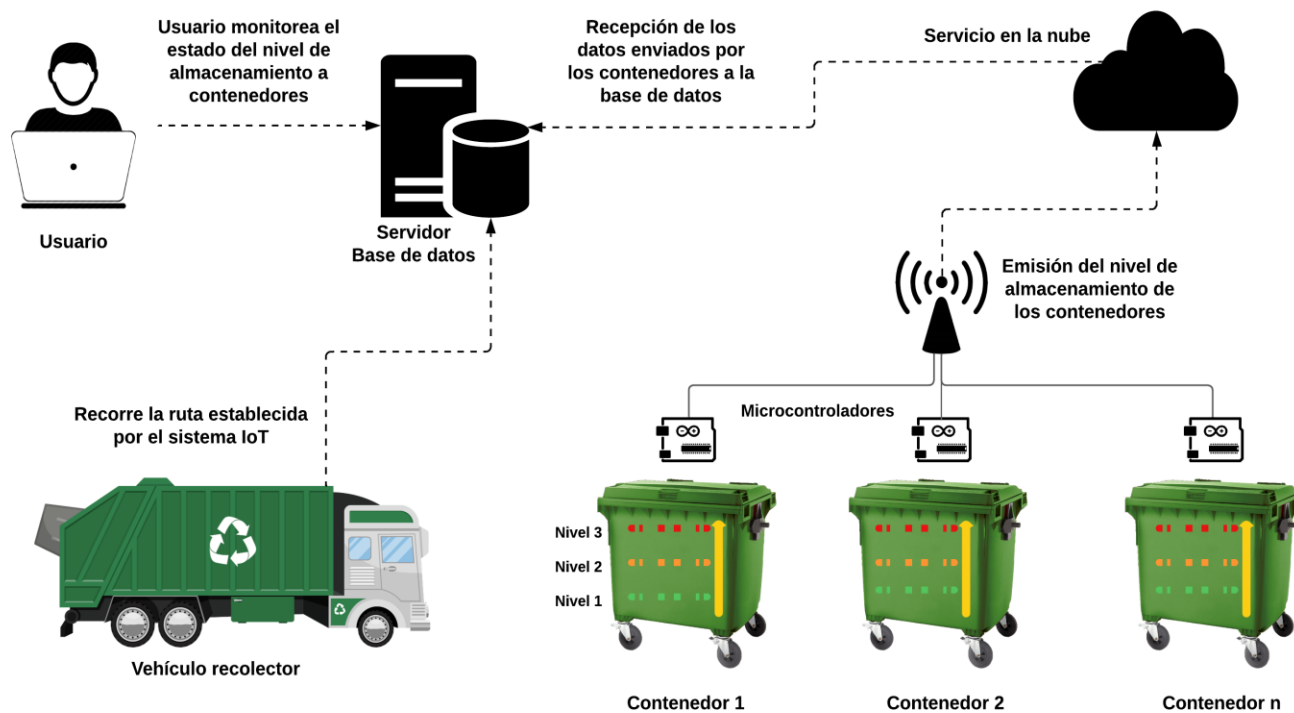


Fig 7. Arquitectura de un sistema para la recolección de residuos sólidos basado en IoT

El IoT demuestra que existen mecanismos accesibles para el desarrollo de alternativas que coadyuven a la planificación y desarrollo de una ciudad. La capacidad del IoT, es una de las opciones viables que promueve la construcción de plataformas en línea y que facilita la integración de servicios que un municipio puede ofrecer en beneficio de la ciudadanía. El servicio de recolección de residuos sólidos, se caracteriza por ser uno de los componentes prioritarios dentro del contexto de las ciudades inteligentes. Este tipo de plataformas pueden desarrollarse haciendo empleo del lenguaje de programación PHP y como gestor de base de datos, MYSQL o PostgreSQL, por su potencial, consistencia y solides en la trasmisión de datos. La interacción entre el humano-sistema de uno de los pilares que contribuye y enriquece propuestas de esta naturaleza. La Fig 8, ilustra la operatividad y funcionamiento del sistema. Además, algunas de las formas de interacción entre los residentes de una ciudad y el sistema.

Esta propuesta no solo debe ser considerada como idea inicial, sino como una alternativa de solución a la mejora de los servicios públicos de las ciudades que se encuentran en proceso de desarrollo o que aún no han apostado por empleo de las tecnologías de la información como soporte para la eficiencia, seguridad y continuidad de los servicios frente iminentes riesgos como la COVID-19.

La destreza de los sistemas basados en IoT, no solo se enfocan en ser un gestor para el diseño de ciudades inteligente, por lo consiguiente, esto obedece a las nuevas reformas disruptivas hacia una industria 4.0. Se prevé, que la implementación del sistema conllevará a una oportuna y eficaz respuesta cuyas bondades se reflejan en la optimización de rutas, información en tiempo real, seguimiento de los vehículos y estimación de los recursos logísticos que puedan emplearse durante la labor de recolección de residuos sólidos.

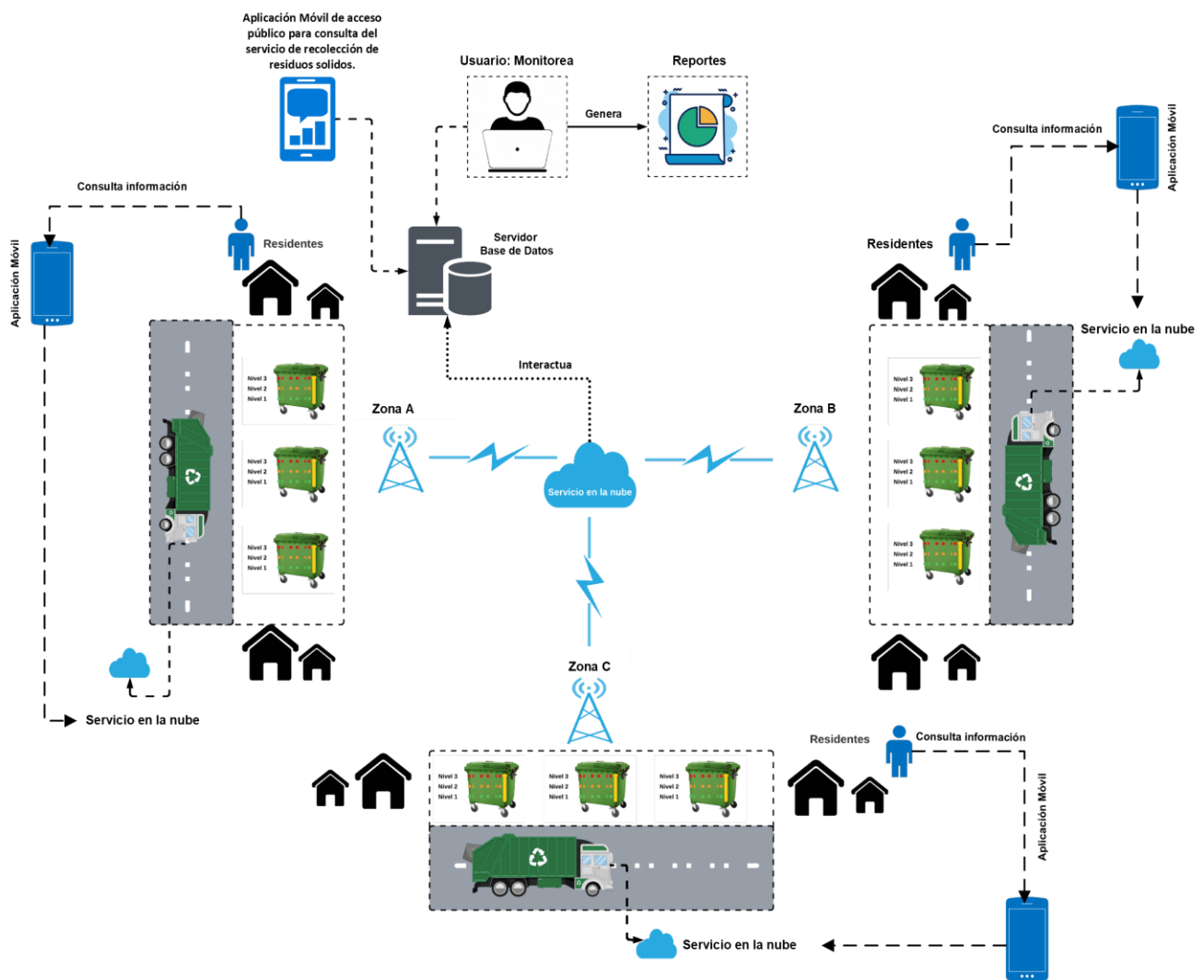


Fig 8. Arquitectura del sistema de recolección de residuos sólidos y su interacción con residentes mediante IoT

III. RESULTADOS

El desarrollo e implementación del sistema propuesto mediante el IoT, hace visible la posibilidad de mejorar la calidad de los servicios públicos frente a las estrategias, métodos y políticas tradicionales que establecen los gobernantes de una ciudad.

Frente al caso de estudio, diariamente, las compactadoras, recorren más de 35 rutas para desarrollar la actividad de recolección de residuos sólidos en las arterias principales que enmarcan el casco urbano de la ciudad de Piura. La puesta en marcha del sistema estima la reducción del 20% en gastos logísticos, optimización de rutas, acceso a información en tiempo real, seguimiento de los vehículos compactadores y dosificación en el talento humano.

Por otro lado, la Figura 7 y 8, refleja la interacción hardware-software, elementos de fácil acceso, cuya implementación no se limita a costos excesivos. El empleo del IoT, tecnologías mixtas y confiables, asegura el desarrollo de sistemas 24/7. Se prevé, un incremento del 10% sobre la satisfacción del ciudadano frente al servicio de recolección de residuos sólidos, debido a que, de cada 10 ciudadanos, 8 cuentan con acceso a un dispositivo móvil en el ámbito de la ciudad de Piura. Este tipo de bondades permite informar de manera permanente al ciudadano sobre el desarrollo de las actividades en marco de los servicios públicos de mayor periodicidad.

La alta recurrencia y empleo de plataformas digitales, entre sitios en línea y aplicaciones móviles, conlleva a que las ciudades tengan la misión de desarrollar un modelo adaptado a su realidad y potencialidades. Es por ello que la Fig 9, representa uno de los medios viables y frecuentes ante el ciudadano que promueve la no desinformación e incrementa el índice de satisfacción frente al servicio previsto.

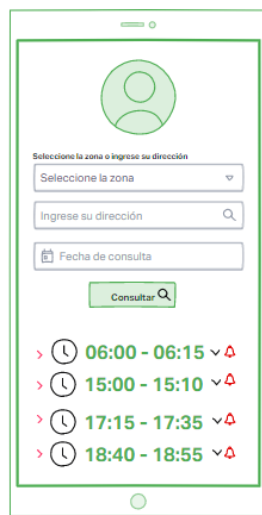


Fig 9. Interface móvil de acceso al residente sobre el servicio de recolección de residuos sólidos

En efecto, el buen dominio e implementación de la propuesta, reducirá los tiempos de recolección de residuos sólidos, particularmente en zonas que tienen una mayor demanda de residuos y que requieren de una presencia permanente del servicio. Este aprovechamiento mejora los costos de operación [30], cuyos saldos puedan ser utilizados en nuevos desafíos como, sensibilizar a la ciudadanía, promover la segregación de residuos y desarrollar programas que impulsen el cuidado y una cultura medioambiental [31].

El actual contenedor que dispone la ciudad de Piura, captura aproximadamente 440 kg de residuos sólidos. Sin embargo, el estudio propone ampliar el almacenaje. El contenedor inteligente presentado tendría una capacidad de carga de 1360 kg, valor estándar para el almacenamiento de residuos sólidos comunes, cuyo impacto se ve reflejado en el ahorro en combustible, reducida de precisión de los vehículos y mayor disponibilidad de compactadoras para el desarrollo de esta tarea. Finalmente, la gestión de residuos sólidos debe observarse desde una visión holística, donde la tecnología es solo el instrumento que ayudará a mejorar entre los diferentes el servicio de recolección de los residuos sólidos.

IV. CONCLUSIONES

La implementación de un contenedor inteligente mediante el IoT, contribuye en el ornato, establece rutas óptimas, reduce el tiempo de recojo, mejora los costos operativos, prevé información en tiempo real e incrementa el nivel de satisfacción de los residentes por disponer de un servicio integrado con acceso a información permanente sobre el desarrollo de la tarea antes mencionada.

Es de necesidad que las ciudades que enrumban una planificación sólida y un desarrollo sostenible promuevan la ejecución de un plan piloto que considere la segregación de basura, con contenedores inteligentes diferenciados por tipo de residuos, fomentando una cultura empática y medioambiental en la población.

El empleo del IoT y la inteligencia artificial, conciben una iniciativa transversal que contribuye al desarrollo de ciudades inteligentes, además de forjar ciudadanos que aprendan a integrarse con los nuevos medios tecnológicos y accedan a una convivencia sana, permanente y segura. El modelo previsto puede aplicarse en otros espacios geográficos del mundo, donde la calidad de los servicios públicos aún no ha definido un camino concreto o intenta fortalecer los procesos públicos con la finalidad de reducir las brechas existentes y brindar una mejor calidad de vida a los residentes de una ciudad.

Piura dispone el potencial para ser la primera ciudad inteligente del Perú y ser modelo piloto que promueva e impulse a los decisores optar por alternativas modernas, eficientes y seguras que coadyuven a la toma de decisiones.

AGRADECIMIENTOS

A la Municipalidad Provincial de Piura, por facilitar el acceso a la información y a la predisposición de sus funcionarios que han contribuido el desarrollo de esta alternativa que prevé ser uno de los componentes prioritarios en el proceso de implementación de una ciudad inteligente mediante el IoT en beneficio de la ciudadanía.

REFERENCIAS

- [1] O. Sepulveda-Cisneros, H. Avila-George, B. Acevedo-Juarez, C. E. Saldana-Duran, y W. Castro, «Design of an embedded software system to control a smart home composter system», en *Applications in Software Engineering - Proceedings of the 9th International Conference on Software Process Improvement, CIMPS 2020*, oct. 2020, pp. 117-125, doi: 10.1109/CIMPS52057.2020.9390099.
- [2] J. A. Gómez Soto, Ó. J. Sánchez Toro, y L. G. Matallana Pérez, «Processes of transformation: Perspective of use for the residues of the plantain agro-industry», *Produccion y Limpia*, vol. 16, n.º 1. Corporacion Universitaria Lasallista, pp. 6-30, sep. 22, 2021, doi: 10.22507/PML.V16N1A1.
- [3] M. Jemmali, L. K. B. Melhim, M. T. Alharbi, A. Bajahzar, y M. N. Omri, «Smart-parking management algorithms in smart city», *Sci. Rep.*, vol. 12, n.º 1, p. 6533, dic. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-10076-4.
- [4] A. E. . Morris, *Historia de la forma urbana: Desde sus orígenes hasta la Revolución Industrial*. 2018.
- [5] L. A. Rodríguez, «Hacia la gestión ambiental de residuos sólidos en América Latina», *Innovar*, vol. 148, n.º 20, pp. 148-162, jul. 2002, Accedido: may 07, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/innovar/article/view/24282>.
- [6] X. Chen, «Machine learning approach for a circular economy with waste recycling in smart cities», *Energy Reports*, vol. 8, pp. 3127-3140, nov. 2022, doi: 10.1016/J.EGYR.2022.01.193.
- [7] L. M. Alcaraz-Londoño, L. F. Ortiz-Clavijo, C. J. G. Duque, y S. A. G. Betancur, «Review on techniques of automatic solid waste separation in domestic applications», *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 11, n.º 1, pp. 128-133, feb. 2022, doi: 10.11591/EEI.V11I1.3448.
- [8] C. Lozano-Tejada, A. Trujillo-Pillaca, E. Carvallo-Munar, I. Macassi-Jauregui, y L. Cardenas-Rengifo, «Integrated sustainable model to generate electricity from municipal organic waste in a district of Lima-Peru», 2020, doi: 10.18687/LACCEI2020.1.1.333.
- [9] G. Betis, V. M. Larios, D. Petri, X. Wu, A. Deacon, y A. Hayar, «The ieee smart cities initiative - Accelerating the smartification process for the 21st century cities», *Proc. IEEE*, vol. 106, n.º 4, pp. 507-512, abr. 2018, doi: 10.1109/JPROC.2018.2814239.
- [10] S. Hernández-Moreno, «Interface between citizens and government in the planning of smart cities», *Arquiteturarevista*, vol. 16, n.º 2, pp. 237-258, ene. 2020, doi: 10.4013/arq.2020.162.04.
- [11] L. Farhan *et al.*, «Energy Efficiency for Green Internet of Things (IoT) Networks: A Survey», *Netw. 2021, Vol. 1, Pages 279-314*, vol. 1, n.º 3, pp. 279-314, nov. 2021, doi: 10.3390/NETWORK1030017.
- [12] A. Razmjoo *et al.*, «An Investigation of the Policies and Crucial Sectors of Smart Cities Based on IoT Application», *Appl. Sci.*, vol. 12, n.º 5, mar. 2022, doi: 10.3390/APP12052672.
- [13] S. Vishnu, S. R. Jino Ramson, M. S. S. Rukmini, y A. M. Abu-Mahfouz, «Sensor-Based Solid Waste Handling Systems: A Survey», *Sensors*, vol. 22, n.º 6, mar. 2022, doi: 10.3390/S22062340.
- [14] M. Al-rawashdeh, P. Keikhosrokiani, B. Belaton, M. Alawida, y A. Zwiri, «IoT Adoption and Application for Smart Healthcare: A Systematic Review», *Sensors*, vol. 22, n.º 14, jul. 2022, doi: 10.3390/S22145377.
- [15] J. A. R. Percastre y J. R. R. Caceres, «Towards the design of interactions in an Smart Parking for people with disability», en *Proceedings - 2020 3rd International Conference of Inclusive Technology and Education, CONTIE 2020*, oct. 2020, pp. 84-88, doi: 10.1109/CONTIE51334.2020.00024.
- [16] I. D. Franco, «Smart cities on the agenda of planning and governance in latin american», *Cuad. Geogr. Rev. Colomb. Geogr.*, vol. 30, n.º 2, pp. 280-296, 2021, doi: 10.15446/rcdg.v30n2.89479.
- [17] M. Whaiduzzaman *et al.*, «A Review of Emerging Technologies for IoT-Based Smart Cities», *Sensors*, vol. 22, n.º 23, dic. 2022, doi: 10.3390/S22239271.
- [18] L. E. Conde-Zhingre, P. A. Quezada-Sarmiento, W. Hernandez, y C. P. Navarro-Peñaherrera, «GPON as a contribution to the construction of Smart Cities», *Iber. Conf. Inf. Syst. Technol. Cist.*, vol. 2019-June, jun. 2019, doi: 10.23919/CISTI.2019.8760705.
- [19] H. C. Romero, M. T. G. Álvarez, y M. T. Álvarez, «Evolution of environmental policy in waste management», *Univ. y Soc.*, vol. 13, n.º 2, pp. 265-275, 2021.
- [20] G. Rodríguez-Grau, C. Valderrama-Ulloa, C. Sandoval, y F. Vidal, «Metodología de aprendizaje colaborativo para la reutilización de residuos producidos durante de la formación académica universitaria», *Form. Univ.*, vol. 15, n.º 1, pp. 209-218, feb. 2022, doi: 10.4067/S0718-50062022000100209.
- [21] A. Gomez-Sacristan y M. A. Rodriguez-Hernandez, «Communications for sanitary teleservices in a smart city», en *2018 Global Medical Engineering Physics Exchanges/Pan American Health Care Exchanges, GMEPE/PAHCE 2018*, jun. 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/GMEPE-PAHCE.2018.8400771.
- [22] H. Carvajal Romero, M. Teijeiro Álvarez, y M. T. García Álvarez, «Analysis of the management of urban solid waste in europe», *Univ. y Soc.*, vol. 14, n.º 1, pp. 402-415, ene. 2022.
- [23] M. Copaja-Alegrel y C. Esponda-Alva, «Technology and innovation towards the smart city. Advances, perspectives and challenges», *Bitacora Urbano Territ.*, vol. 29, n.º 2, pp. 59-70, 2019, doi: 10.15446/bitacora.v29n2.68333.
- [24] J. Esparza, «Classification and effects of urban solid waste in the city of la plata, buenos aires, argentina», *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 37, pp. 357-371, 2021, doi: 10.20937/RICA.53758.
- [25] M. Kléver, F. Gabriela, C. David, y M. Augusto, «Cadena de suministros verde: Análisis estratégico de la gestión de residuos sólidos en Pelileo-Ecuador», *Rev. Ciencias Soc.*, vol. 27, n.º ESPECIAL 3, pp. 293-308, ago. 2021, doi: 10.31876/rcs.v27i.36512.

- [26] J. P. Ojeda y I. T. Mercante, «Recycling plastic waste to produce lightweight aggregates», *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 37, pp. 489-499, ene. 2021, doi: 10.20937/RICA.54081.
- [27] C. L. Cueva, «Towards the idea of smart cities. The alternative city proposals of Juan Navarro Baldeweg for Madrid-based Centro de Cálculo», *Rita Rev. Indexada Textos Acad.*, n.º 12, pp. 82-90, 2019, doi: 10.24192/2386-7027(2019)(V12)(02).
- [28] D. A. D. Eraso, C. M. C. Lozada, G. J. V. Pinilla, y A. L. Fernández, «Social innovation in rural communities: experience in the use of solid waste (Cauca, Colombia)», *Ager*, vol. 2021, n.º 31, pp. 75-108, 2021, doi: 10.4422/ager.2021.03.
- [29] E. P. Durán, C. Ortega, y R. Zárate, «Implementation of technologies for social innovation in smart cities», *Espacios*, vol. 40, n.º 27, 2019.
- [30] J. C. León-Jácome *et al.*, «Optimization of urban solid waste collection under a geographic information systems approach, a case study», *RISTI - Rev. Iber. Sist. e Technol. Inf.*, vol. 2020, n.º E29, pp. 479-493, may 2020.
- [31] M. del P. Sánchez-Muñoz, J. G. Cruz-Cerón, y P. C. Maldonado-Espinel, «Urban solid waste management in Latin America: An analysis from the perspective of waste generation», *Rev. Finanz. y Polit. Econ.*, vol. 11, n.º 2, pp. 321-336, mar. 2020, doi: 10.14718/REVFINANZPOLITECON.2019.11.2.6.