

Proyecto Aplicación para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos

Lic. Diego Martín Luna¹, Ing. Franco Pablo Quintero¹,
Mg. Rodolfo Bertone^{1,2}, C.C. Marcelo Taruschio^{1,3}

¹ Profesor FACEI UCALP; ² Secretario Académico UCAP; ³ Director de Carrera UCALP
{diegomartin.luna, francopablo.quintero}@ucalpvirtual.edu.ar,
{rodolfo.bertone, marcelo.taruschio}@ucalp.edu.ar

Abstract. El caso de estudio aborda la problemática de la falta de recolección y disposición adecuada de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en espacios públicos, lo que conlleva a la proliferación de roedores, insectos y animales, acentuando su dispersión y deterioro. La dispersión de los desechos es favorecida tanto por la actividad animal como por el viento, creando una coyuntura donde los residuos pueden ser arrastrados por el agua de lluvia hacia sistemas de drenaje, y en ciudades costeras, hacia el mar. Esta situación implica riesgos al propagarse microplásticos a través de la red trófica y alcanzar al ser humano, además de riesgos bacteriológicos significativos para la salud pública. El estudio se enfocará en mejorar la eficiencia en la fase de Recolección y Transporte de RSU, con el objetivo de disminuir el tiempo que los residuos permanecen en la vía pública, mediante una mejor coordinación entre los habitantes y el servicio de recolección local.

Keywords: Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Geolocalización. Impacto ambiental. Microplásticos. Red trófica. Metodología Agile. Aplicación web móvil.

1. Introducción

Residuo es todo elemento, material, objeto o sustancia que, como consecuencia de los procesos de consumo y desarrollo de actividades humanas, es desechado o abandonado. Los residuos sólidos urbanos (RSU) son análogos a los denominados domiciliarios y pueden ser de origen residencial, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional, con excepción de aquellos que se encuentren regulados por normas específicas.

La cantidad de RSU que generan (directa o indirectamente) los habitantes de un área refleja las condiciones de producción y consumo de la sociedad. Los residuos repercuten a largo plazo en la salud humana y el ambiente.

Cuando las instalaciones de recuperación y disposición final de RSU no cumplen con los requisitos mínimos de impermeabilidad de los suelos donde se emplazan, ni con las distancias a las napas freáticas, a los cursos de aguas superficiales, a los centros urbanos u otras áreas susceptibles de recibir los impactos derivados de estas instalaciones, se producen impactos negativos sobre el ambiente y la salud humana.

En Argentina, el manejo de los RSU está regulado por la Ley de Presupuestos Mínimos 25916 que establece los presupuestos mínimos para un manejo adecuado de

los residuos domiciliarios, a partir de propender a una gestión integral de los mismos, propiciar su valorización y promover su minimización en la generación y disposición final. En términos generales, comprenden desechos de hogares y centros comerciales, oficinas e industrias que, dada su composición, son comparables con aquellos generados en domicilios particulares.

El 54 % de la población recibe el servicio de recolección en forma tercerizada y el restante 46 % como prestación municipal directa. La frecuencia de recolección diaria es superior al 70 %.

La cobertura de disposición final en RS del 64,7 % de la población esconde inequidades geográficas. Esta cobertura es menor en las regiones Norte (50,1 %) y Cuyo-Mesopotamia (15,2 %), siendo que en el resto del país es de 79,4 %.

El restante 35,3 % de la población cuenta con una disposición final inadecuada: 9,9 % en vertederos controlados, 24,6 % en basurales a cielo abierto.

La disposición final del 45 % de la población es atendida mediante servicio municipal directo, contratos de servicios que cubren al 24 % y otras modalidades que cubren al 31 %.

En las principales áreas metropolitanas se cuenta con plantas de separación, y se está desarrollando una industria para el procesamiento de los residuos recuperados (plásticos, vidrios, papel y cartón), los cuales son mayormente recolectados por recuperadores y recuperadoras, tanto en la vía pública como en sitios de disposición final. [1]

La falta de recolección y/o disposición adecuada de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de forma indefinida en espacios públicos conduce a la proliferación de roedores e insectos, lo cual también puede atraer a animales quienes pueden contribuir a su dispersión y deterioro. La dispersión de los residuos puede ser favorecida tanto por el viento como por la actividad de los animales mencionados. Además, esta situación implica riesgos bacteriológicos significativos para la salud y bienestar de la población en general.

La dispersión de los desechos en las vías públicas, mediada por el efecto del viento y la actividad animal, crea una coyuntura en la que se abre la posibilidad de que dichos residuos sean arrastrados por el agua de lluvia hacia los sistemas de drenaje de las ciudades. Esta situación conlleva a la conducción de los residuos hacia los cursos de agua, tales como ríos y arroyos, y en el caso de ciudades costeras, directamente hacia el mar.

Uno de los problemas ambientales globales que ha experimentado un deterioro significativo en los últimos años es la contaminación marina por residuos plásticos. Esta situación ha dado lugar a graves consecuencias que repercuten en múltiples niveles. Entre ellas, se destaca el daño causado a especies marinas y a hábitats de gran valor ecológico. La presencia de residuos plásticos en los océanos afecta a diversas criaturas marinas, desde peces hasta aves y mamíferos marinos, poniendo en peligro su supervivencia y, al propagarse a través de la red trófica y alcanzar al ser humano, amenaza nuestra propia salud.[2]

2. Caso de Estudio

La Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos abarca las fases de Generación, Recolección y Transporte, Tratamiento / Recuperación, Disposición Final, y/o Reinserción en el Mercado o Industria / Reciclado.[3]

El Proyecto de Investigación tiene como objetivo estudiar la fase de Recolección y Transporte, para mejorar la eficiencia en la coordinación entre los habitantes y el servicio de recolección. Puntualmente se centrará en la disminución del tiempo de permanencia de los residuos alocados en la vía pública. Se analizó el estado del arte en el tema. [4][5][6][7]

El objetivo es disminuir el intervalo de tiempo que transcurre desde que el vecino deposita sus residuos hasta que son recogidos por el servicio local. El gráfico 1, muestra las fases indicando el foco del caso de estudio.

2.1 Análisis del caso de estudio

El caso de estudio propuesto busca:

- Fomentar la conciencia y fomentar el compromiso con el medio ambiente, incentivando la participación activa de la comunidad en prácticas sostenibles de recolección de residuos urbanos.
- Emplear estratégicamente los recursos disponibles, considerando las restricciones económicas vigentes, con el propósito de optimizar las operaciones de recolección de residuos.
- Destacar y abordar una problemática en constante crecimiento relacionada con la gestión de residuos urbanos, brindando una mayor visibilidad a los desafíos ambientales que enfrenta la sociedad.
- Contribuir a mejorar la calidad de vida y el bienestar de los ciudadanos mediante la implementación de soluciones eficientes de recolección de residuos, que impacten positivamente en el entorno urbano y en la salud pública.



Gráfico 1: Fases de Tratamiento de residuo

3. Solución propuesta

Para mejorar la eficiencia en la coordinación entre los habitantes y el servicio de recolección, se propone investigar y desarrollar un software que permita la sincronización entre la recolección y el vecino que genera el residuo.

3.1 Escenarios

Los casos identificados a los que la comunidad se enfrenta al momento de alocar los residuos en la vía pública son:

- Sacar los residuos con demasiada anticipación al horario de recolección.
- Sacar los residuos posteriormente al paso del servicio de recolección.
- Sacar los residuos con el servicio de recolección suspendido.
- Sacar los residuos con el servicio de recolección demorado.
- Controlar la eficiencia en el servicio de recolección.

3.2 Historias de Usuarios

La tabla 1 define las historias de usuario que conforman el problema. Asimismo, se plantea la complejidad de las mismas y su prioridad para su tratamiento.

Historias de Usuario	Complejidad	Prioridad
HU01 – Gestión de unidad de recolección.	Baja/Media	Alta
HU02 – Gestión de posta de recolección.	Baja/Media	Alta
HU03 – Gestión de zonas y barrios.	Media	Media
HU04 – Gestión de tipos de residuos.	Baja/Media	Baja
HU05 – Gestión de días y horarios.	Media	Media
HU06 – Gestión de recorrido.	Media/Alta	Alta
HU07 – Consulta de recorrido.	Alta	Alta
HU08 – Gestión de favoritos.	Media	Baja
HU09 – Gestión de Incidentes.	Alta	Baja

Tabla 1: Historias de Usuario

3.3 Esquema de solución de software

La solución propuesta busca sincronizar a las partes con una aplicación compuesta por tres artefactos de software, el primero dedicado a la identificación y geolocalización en línea de la unidad de recolección, el segundo con el objetivo de informar al habitante el estado del servicio, el tiempo de llegada de la unidad de recolección a su posta, o informar que el servicio ya pasó por la posta consultada, el tercero, un sistema de gestión y administración que articula los datos provenientes del primer artefacto, los procesa y los coloca en disponibilidad para los vecinos. El gráfico 2 presenta en forma esquemática la solución analizada.

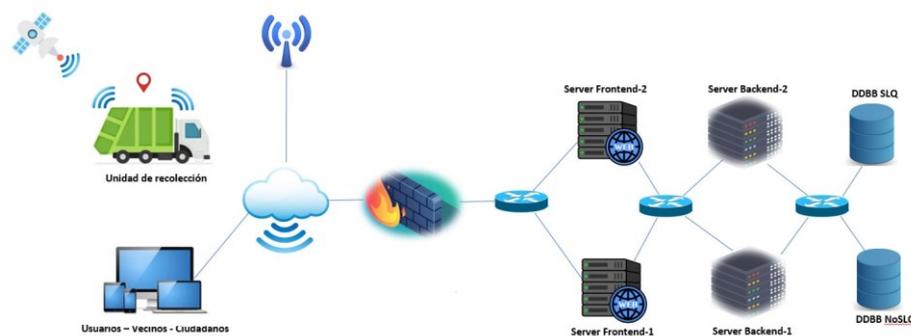


Gráfico 2: esquema de solución propuesta

3.4 Aplicaciones de terceros utilizadas

Con el propósito de garantizar el éxito del proyecto se aplica la disciplina de Ingeniería de Software [13], utilizando metodologías, herramientas de soporte y

tecnologías idóneas para llevar a cabo el proyecto. De esta manera, el objetivo es implementar el software asegurando su funcionalidad y escalabilidad.

3.4.1 Herramientas

El desarrollo exitoso de un proyecto de software requiere una gestión meticulosa y una coordinación eficiente entre los equipos de trabajo. En este sentido, las herramientas seleccionadas para brindar soporte en cada etapa del ciclo de vida del proyecto van desde plataformas de gestión de proyectos que permiten una planificación estructurada y seguimiento de tareas, hasta sistemas de control de versiones que facilitan la colaboración y el mantenimiento del código. Las herramientas elegidas son: Trello,

UML 2, Lucid chart, Slack, Git-GitHub. [8][9][10][11][12]

3.4.2 Tecnologías

La elección de las tecnologías adecuadas es un aspecto crítico en el desarrollo de software (se procura el uso de software libre), ya que puede influir en el rendimiento, la seguridad y la experiencia del usuario final. En esta sección, se expondrán las tecnologías seleccionadas para la implementación del software en cuestión. Estas son: OpenJDK, Debian, Java, Payara Server, Docker, PostgreSQL, MongoDB Atlas.

3.5 Estrategia

Siguiendo la naturaleza del desarrollo de un producto de software, la estrategia se forja a partir de la identificación de un mapa de impacto, que sienta las bases de las necesidades de los requerimientos y expectativas de los usuarios. A partir de las necesidades se define un *roadmap* de historias de usuarios hacia el logro del producto deseado.

A partir de las historias de usuarios identificadas se crea el *release plan* conjuntamente con su MVP (Mínimo Producto Viable) como punto de partida y se empleará una metodología Agile, conocida por su carácter iterativo e incremental, para avanzar sobre el análisis, diseño, desarrollo, pruebas y puesta en producción de forma adaptativa y ágil, permitiendo así una evolución continua y una entrega temprana de valor al cliente.

3.6 Gestión de Riesgo

La gestión de riesgos en el proyecto está enfocada en la geolocalización en línea de las unidades de traslado, la identificación de puntos o postas de recolección y el armado de los recorridos de recolección. Estas tres funcionalidades se presentan como un componente esencial para asegurar el éxito y la efectividad del proyecto. Entre los riesgos potenciales a considerar se encuentran la falta de precisión en la geolocalización, problemas de conectividad en tiempo real, vulnerabilidades de

seguridad en la transmisión de datos y posibles fallos técnicos que puedan afectar el rendimiento del sistema.

3.6.1 Tratamiento de riesgos y mitigación:

Falta de precisión en la geolocalización: Realizar pruebas exhaustivas de geolocalización en diferentes entornos y condiciones, utilizando distintos dispositivos y redes. Implementar algoritmos de corrección y calibración para mejorar la precisión de las coordenadas obtenidas. Establecer un sistema de feedback y retroalimentación de usuarios para recopilar información sobre posibles inexactitudes y ajustar el software de acuerdo con sus comentarios.

Problemas de conectividad en tiempo real: Diseñar el sistema para que pueda operar de manera óptima en situaciones de baja o intermitente conectividad. Implementar técnicas de almacenamiento en caché para permitir que la aplicación funcione en modo offline temporalmente y sincronice los datos cuando la conexión se restablezca. Utilizar tecnologías y protocolos de comunicación robustos para garantizar la transmisión confiable de datos en tiempo real.

Vulnerabilidades de seguridad en la transmisión de datos: Aplicar prácticas de codificación segura y realizar pruebas de penetración para identificar y abordar posibles puntos débiles en el sistema. Implementar protocolos de cifrado y autenticación para proteger la confidencialidad e integridad de los datos transmitidos. Mantenerse actualizado con las mejores prácticas de seguridad y aplicar parches y actualizaciones de seguridad de forma regular.

Posibles fallos técnicos que afecten el rendimiento del sistema: Realizar pruebas de carga y rendimiento exhaustivas para identificar posibles cuellos de botella y puntos de falla en el sistema. Implementar mecanismos de monitoreo y registro de errores para detectar y resolver rápidamente problemas técnicos. Establecer un plan de contingencia para situaciones de emergencia y contar con respaldos y planes de recuperación ante posibles fallos.

Dificultades en la adopción del sistema por parte de los usuarios: Realizar una exhaustiva investigación de usuarios para entender sus necesidades y expectativas. Diseñar una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar, con una experiencia de usuario atractiva. Proporcionar un canal de comunicación abierto para recibir sus comentarios y sugerencias.

Datos de geolocalización inconsistentes o incompletos: Implementar controles de calidad para verificar la integridad de los datos de geolocalización antes de ser incorporados al grafo. Establecer procedimientos para identificar y corregir posibles errores o lagunas en la información geográfica recopilada. Realizar auditorías regulares de los datos para asegurar su validez y actualización.

Errores en el cálculo del recorrido a través del grafo conexo con peso: Verificar y validar la lógica y los algoritmos utilizados para calcular el recorrido en el grafo. Realizar pruebas exhaustivas de los algoritmos de ruta para asegurar su precisión y eficiencia. Implementar mecanismos de registro de errores y excepciones para identificar y resolver problemas en tiempo real.

3.7 Funcionamiento

La aplicación web diseñada para múltiples dispositivos (Smart Phone/Laptop/Tablet - *responsive design*) ofrece una experiencia interactiva y funcional, permitiendo a los usuarios/vecinos consultar en tiempo real la demora exacta de la unidad de recolección de residuos, en función de la posta de recolección seleccionada. Esta característica facilita la coordinación y la puntualidad en los encuentros, ya que los usuarios/vecinos pueden monitorear la aproximación de la unidad de recolección en tiempo real, lo que les permite organizarse con tranquilidad para depositar los residuos en la vía pública.

Al acceder a la aplicación, los usuarios podrán establecer puntos de recolección favoritos, asimismo, la aplicación informa el estado actual del servicio, demorado (indicando el tiempo de demora), suspendido o cambio de recorrido, exponiendo un mensaje en pantalla que indica que *“por favor retire el residuo de la posta o evite sacarlo”*. El gráfico 3 muestra el esquema de funcionamiento previsto.

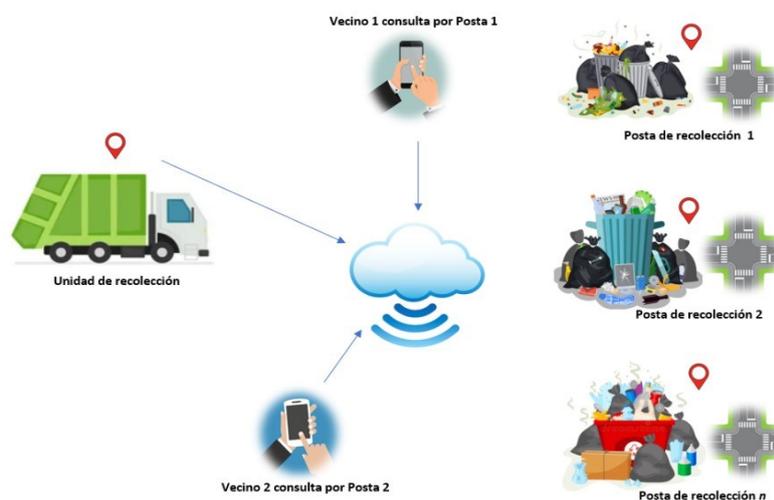


Gráfico 3: Esquema de funcionamiento

4. Resultados Esperados

El presente estudio tiene como objetivo desarrollar una aplicación innovadora para controlar el movimiento de los camiones de residuos y mejorar la eficiencia del servicio de recolección de basura en entornos urbanos. La propuesta se centra en utilizar tecnologías de seguimiento en tiempo real para proporcionar a los usuarios información actualizada sobre la proximidad de los camiones de recolección, lo que les permitirá optimizar el momento adecuado para desechar sus residuos. Se espera que la aplicación contribuya a reducir el tiempo de los residuos en la vía pública, dar certeza sobre la espera del servicio para los usuarios y, por ende, disminuir la probabilidad de dispersión de los desechos en las calles, abordando así problemas ya mencionados sobre la contaminación ambiental.

Además del control del movimiento de los camiones de residuos, el estudio busca implementar un sistema de monitoreo y evaluación del servicio de recolección. Mediante el análisis de datos recopilados por la aplicación, se pretende identificar posibles ineficiencias en las rutas de recolección y proponer ajustes estratégicos para optimizar los recorridos. Se espera que esto mejore los indicadores clave de desempeño, como la puntualidad en la recolección y el tiempo promedio de recolección por ruta, lo que llevará a una prestación de servicio más eficiente y efectiva para los ciudadanos.

En línea con el objetivo de mejorar la experiencia del usuario, la aplicación permitirá una interacción directa entre los usuarios y el servicio de recolección. Se implementará una funcionalidad para que los usuarios puedan reportar incidencias o problemas relacionados con la recolección de residuos de manera rápida y sencilla. Se espera que este sistema de retroalimentación instantánea facilite la resolución de quejas y contribuya a una mayor satisfacción del cliente con el servicio.

En cuanto a la sostenibilidad ambiental, se espera que la aplicación fomente prácticas más responsables en la gestión de residuos. Al proporcionar información transparente sobre la recolección de basura y la proximidad de los camiones en tiempo real, se busca concientizar a la población sobre la importancia de una correcta disposición de los desechos y promover la participación en acciones de reciclaje y reducción de desperdicios. Se prevé que esta solución tenga un impacto positivo en el entorno urbano y contribuya a avanzar hacia un modelo más sostenible de recolección de residuos. Para esto, el grupo de trabajo pretende incorporar docentes investigadores y alumnos avanzados de la carrera de Ingeniería Ambiental, que se dicta también en la institución.

5. Conclusiones y Trabajos Futuros

El desarrollo de una aplicación para controlar el movimiento de camiones de residuos y mejorar el servicio de recolección, ha demostrado ser una iniciativa prometedora para abordar los desafíos asociados con la gestión de residuos urbanos. Las expectativas son altas en cuanto al potencial de la aplicación para optimizar el proceso de recolección, reducir los tiempos de espera para los usuarios y mejorar la calidad de vida en entornos urbanos, al minimizar el impacto ambiental de la acumulación de basura en las calles.

La propuesta de seguimiento en tiempo real de los camiones de recolección y la interacción directa con los usuarios a través de la aplicación permitirían una mayor transparencia en el servicio, lo que fomentaría la confianza y participación activa de la comunidad en prácticas más responsables de disposición de residuos. Además, el monitoreo y análisis de datos proporcionados por la aplicación facilitan una gestión más eficiente y efectiva del servicio, lo que podría traducirse en una disminución de los costos operativos y una optimización de los recursos disponibles.

Se considera aún que hay aspectos que requieren atención en trabajos futuros para mejorar y consolidar la aplicación propuesta:

- Evaluación y validación empírica: Es fundamental llevar a cabo un estudio piloto e implementar la aplicación en un entorno real para evaluar su efectividad y recopilar datos reales que respalden las conclusiones teóricas. La validación empírica permitiría ajustar y mejorar la aplicación en función de la

retroalimentación de los usuarios y los resultados obtenidos.

- Integración con sistemas existentes: Considerar la integración de la aplicación propuesta con sistemas de recolección de residuos ya establecidos en las ciudades. La compatibilidad con plataformas y tecnologías existentes facilitaría la adopción y aceptación por parte de los actores involucrados en la gestión de residuos.
- Análisis de impacto ambiental: Realizar un análisis de impacto ambiental para evaluar cómo la aplicación puede contribuir a reducir la huella de carbono y los problemas de contaminación asociados con la gestión de residuos. Esto permitiría cuantificar los beneficios ambientales y generar conciencia sobre la importancia de adoptar prácticas más sostenibles.

Referencias

- [1] <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/control/rsu>
- [2] <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/basuramarina>
- [3] <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/control/rsu/etapas>
- [4] Optimization Model for Waste Collection: A Case Study in the City of Campinas, Brazil. Rodrigo C. M. Fernandes, Luiz Fernando M. Heineck, Luis F. Autran M. Pereira. 2017. WasteEng2016 - 6th International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorization.
- [5] Smart Waste Management System for Efficient and Sustainable Waste Collection. S. R. Sawant, S. N. Mali, A. R. Surve, D. S. Bormane. 2018. 2018 International Conference on Information Technology (ICIT).
- [6] An IoT-based Smart Waste Management System for Efficient and Sustainable Waste Collection. Amit Kumar Dutta, Harshit Srivastava, Rajiv Kumar, Anuj Kumar Dwivedi, Bhupendra Verma. 2019. 2019 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS).
- [7] A Review of Smart Waste Collection Technologies towards Sustainable Smart Cities. Rishi Sharma, Shikha Sharma. 2019. 2019 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT).
- [8] Trello: A System for Managing Software Projects. Michael G. McNeill, Ian Gorton, Tom Anderson, Tim Pfeil, Christian Roth, Brandon Lloyd, Jon Reeves, Shawn Blanton, Adam Porter. 2008 IEEE International Conference on Software Maintenance (ICSM).
- [9] The Unified Modeling Language User Guide (2nd Edition) Grady Booch, James Rumbaugh, Ivar Jacobson. Año: 2005. Editorial: Addison-Wesley Professional.
- [10] Collaborative Drawing Tools for the Classroom. Lucid Software Inc. 2014 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition (ASEE). 2014. - URL: <https://peer.asee.org/collaborative-drawing-tools-for-the-classroom>
- [11] Intelligent Messaging for Teams. Stewart Butterfield, Eric Costello, Cal Henderson, Serguei Mourachov. 2016 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing (CSCW).
- [12] Título: "GitHub: A Web-Based Hosting Service for Version Control Repositories. Tom Preston-Werner, Chris Wanstrath, PJ Hyett. 2009. - URL: https://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1169&context=csfaculty_pubs
- [13] La ingeniería de software es una disciplina de la ingeniería que se interesa por todos los aspectos de la producción de software. Ingeniería de Software. Sommerville, Ian. Novena edición Pearson Educación, México, 2011