

NOTA TÉCNICA N° IDB-TN-0301

Transformación digital de la gestión de residuos sólidos

Innovación en servicios de recolección de residuos, inteligencia de negocios y tecnologías digitales para la transición de la gestión de residuos hacia la circularidad en América Latina y el Caribe

Autores:

Paula Gabriela Guerra Morán
Eduardo Antonio Restrepo Lagos
Magda Carolina Correal
Carolina Piamonte
Alfredo Rihm
Marcello Basani

Editor:

Claudia M. Pasquetti

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Agua y Saneamiento

Septiembre 2024



Transformación digital de la gestión de residuos sólidos

Innovación en servicios de recolección de residuos, inteligencia de negocios y tecnologías digitales para la transición de la gestión de residuos hacia la circularidad en América Latina y el Caribe

Autores:

Paula Gabriela Guerra Morán
Eduardo Antonio Restrepo Lagos
Magda Carolina Correal
Carolina Piamonte
Alfredo Rihm
Marcello Basani

Editor:

Claudia M. Pasquetti

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Agua y Saneamiento

Septiembre 2024

Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo

Transformación digital de la gestión de residuos sólidos: innovación en servicios de recolección de residuos, inteligencia de negocios y tecnologías digitales para la transición de la gestión de residuos hacia la circularidad en América Latina y el Caribe / Alfredo Rihm, Carolina Piamonte, Eduardo Antonio Restrepo Lagos, Magda Carolina Correal, Paula Gabriela Guerra Morán; editor, Claudia M. Pasquetti. p. cm. — (Nota técnica del BID; 3001)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Refuse and refuse disposal-Latin America. 2. Refuse and refuse disposal-Caribbean Area. 3. Circular economy-Latin America. 4. Circular economy-Caribbean Area. 5. Sustainable development-Latin America. 6. Sustainable development-Caribbean Area. 7. Recycling (Waste, etc.)-Latin America. 8. Recycling (Waste, etc.) -Caribbean Area. 9. Environmental innovations. 10. Artificial intelligence. I. Rihm, Alfredo. II. Piamonte, Carolina. III. Restrepo, Eduardo. IV. Correal, Magda Carolina. V. Guerra Morán, Paula. VI. Pasquetti, C. M. (Claudia María), editor. VII. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Agua y Saneamiento. VIII. Serie.

IDB-TN-3001

JEL codes: E01, O32, Q5, Q53, Q55.

Key words: Solid waste, Latin America and the Caribbean, solid waste statistics, open data, circular economy, indicators, innovation, digital tools, digital transformation, digital innovation, internet of things, artificial intelligence, solid waste software, service providers, recycling, operational efficiency.

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.





Transformación digital de la gestión de residuos sólidos

Innovación en servicios de recolección de residuos, inteligencia de negocios y tecnologías digitales para la transición de la gestión de residuos hacia la circularidad en América Latina y el Caribe

Banco Interamericano de Desarrollo



CON LA COLABORACIÓN DE

FUENTE DE INNOVACIÓN

Fuente de innovación es financiado por el Gobierno de Suiza a través de su Secretaría de Estado de Asuntos Económicos (SECO), por la Fundación FEMSA, por la República de Corea a través de su Ministerio de Medio Ambiente, por el Gobierno de España a través de su Ministerio de Economía, Comercio y Empresa (MINECO), por el Gobierno de Israel, y por Fundación Coca Cola. La alianza también se complementa con contribuciones directas de BID Lab, BID INVEST y la División de Agua y Saneamiento del BID, y se coordina directamente con Aquafund, el fondo creado con capital del BID y al que contribuyen una amplia gama de socios del sector público y privado.

Índice

| | |
|--|-----------|
| Abreviaturas y acrónimos | 7 |
| Agradecimientos | 8 |
| Prólogo | 9 |
| Resumen ejecutivo | 11 |
| 1. Introducción | 14 |
| 2. Tecnologías inteligentes de residuos: conceptos clave | 16 |
| 2.1. Generación y separación en origen | 16 |
| 2.2. Limpieza | 17 |
| 2.3. Almacenamiento temporal | 19 |
| 2.4. Recolección | 19 |
| 2.5. Recuperación | 20 |
| 2.6. Disposición final | 20 |
| 2.7. Gestión comercial/Atención al cliente | 20 |
| 3. Herramientas de inteligencia de negocios | 21 |
| 3.1. Tipos de datos y fuentes para la inteligencia de negocios | 23 |
| 4. Herramientas tecnológicas digitales | 27 |
| 4.1. <i>Software</i> | 27 |
| 4.2. <i>Hardware</i> | 29 |
| 5. Herramientas digitales y prácticas innovadoras para la recolección de residuos sólidos ... | 30 |
| 5.1. Digitalización de datos y rutas | 30 |
| 5.2. Tecnologías relacionadas con los camiones | 32 |
| 5.3. Buenas prácticas relacionadas con el sistema | 36 |
| 5.4. Buenas prácticas en materia de instalaciones de residuos sólidos | 37 |
| 6. Estudios de casos | 40 |
| 6.1. Argentina: Seguimiento del servicio de recolección | 40 |
| 6.2. Ecuador: Empresa Pública Municipal de Residuos Sólidos de Rumiñahui | 41 |
| 6.3. Colombia: Piloto en servicios de limpieza y barrido con tecnologías inteligentes de residuos | 43 |
| 6.4. Colombia: Funcionamiento del servicio público de gestión de residuos sólidos en Bogotá | 45 |
| 6.5. Barbados: Identificación por radiofrecuencia en contenedores residenciales | 46 |
| 6.6. Estados Unidos: Planificación de rutas de recolección en Charlotte | 46 |
| 7. Recomendaciones | 48 |
| 8. Conclusiones | 50 |
| 9. Bibliografía | 52 |
| 10. Anexo | 1 |

Gráficos y cuadros

| | |
|---|-----------|
| Gráfico 1. Uso de tecnologías inteligentes de residuos en la cadena de gestión de residuos .. | 16 |
| Gráfico 2. Uso de tecnologías inteligentes de residuos en la limpieza de espacios públicos .. | 18 |
| Gráfico 3. Detección automática de rellenos sanitarios y microvertederos, Argentina | 19 |
| Gráfico 4. Hub de residuos sólidos y economía circular diseñado con herramientas de inteligencia de negocios | 22 |
| Gráfico 5. Cuadro de mando de proveedores de servicios de gestión de residuos desarrollado con herramientas de inteligencia de negocios, en Quito, Ecuador | 26 |
| Gráfico 6. Cuadro de mando del servicio de recolección de residuos de la ciudad de Buenos Aires | 40 |
| Gráfico 7. Orden de servicio de recolección de residuos de la Municipalidad de Rosario | 41 |
| Gráfico 8. Sistema de recolección mediante tecnologías digitales | 42 |
| Gráfico 9. Sistema de mantenimiento del parque de vehículos | 42 |
| Gráfico 10. Cuadro de mando con indicadores clave de rendimiento relevantes a partir de tecnologías digitales | 43 |
| Gráfico 11. Visualización de la aplicación móvil propuesta para los servicios de limpieza | 44 |
| | |
| Cuadro 1. Principales tecnologías digitales utilizadas en la gestión de residuos | 12 |
| Cuadro 2. Ejemplos de tipos de datos y análisis de inteligencia de negocios para la gestión de residuos sólidos | 23 |

Abreviaturas y acrónimos

| | |
|--------------|---|
| ALC | América Latina y el Caribe |
| BI | Inteligencia de negocios |
| BID | Banco Interamericano de Desarrollo |
| CC | Controlador de carrocería |
| CE | Comisión Europea |
| CRM | Gestión de las relaciones con los clientes |
| DTC | Códigos de diagnóstico de problemas |
| EPA | Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos |
| ERP | Planificación de recursos empresariales |
| EV | Vehículo eléctrico |
| GEI | Gases de efecto invernadero |
| GPS | Sistemas de posicionamiento global |
| GN | Gas natural |
| GRS | Gestión de residuos sólidos |
| IA | Inteligencia artificial |
| IGIS | Sistemas integrados de información geográfica |
| IoT | Internet de las cosas |
| KPI | Indicador clave de rendimiento |
| MIS | Sistemas de información de gestión |
| MRF | Instalaciones de recuperación de materiales |
| NSWMA | Autoridad Nacional de Gestión de Residuos Sólidos |
| OLAP | Procesamiento analítico en línea |
| PMS | <i>Software</i> de gestión de proyectos |
| RFID | Identificación por radiofrecuencia |
| RSU | Residuos sólidos urbanos |
| SaaS | <i>Software</i> como servicio |
| SIG | Sistemas de información geográfica |
| SWT | Tecnologías inteligentes de residuos |

Agradecimientos

Esta publicación es el resultado de un esfuerzo de investigación de vanguardia financiado por la División de Agua y Saneamiento y Fuente de Innovación del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). El documento recoge información de diferentes productos de conocimiento desarrollados por consultores externos para el BID, especialmente de la Asociación de Residuos Sólidos de América del Norte (SWANA), Paula Guerra Morán y Eduardo Restrepo. Un reconocimiento especial para Antonis Mavropoulos y Anders Waage Nilsen, autores del libro *Industria 4.0 y Economía Circular*, documento que fue de gran ayuda para comprender el alcance de la cuarta revolución industrial y las implicaciones para la gestión de residuos sólidos y la economía circular, por lo que sirvió de referencia para elaborar esta publicación.

Prólogo

La economía circular está muy relacionada con la Cuarta Revolución Industrial, también conocida como industria 4.0 o tecnología inteligente, y tiene un impacto significativo en la forma en que se analiza y se mide la gestión de residuos. Hoy en día, hablar de reciclaje es la punta del “iceberg” de la gestión de residuos, que permite entender los diferentes ciclos y flujos de materiales (residuos). En función de la transición hacia la economía circular que siguen América Latina y el Caribe (ALC) y el mundo en general, se debe buscar la reinserción y el flujo de materiales dentro del ciclo biológico relacionado con los recursos renovables y el ciclo técnico vinculado con los materiales finitos, y contemplar la circulación de materiales en procesos de reutilización, reparación, remanufactura y reciclaje.

La economía circular es un modelo económico de triple impacto que aborda el crecimiento económico sostenible, la generación de empleo y el cambio climático. Existe una correlación positiva entre este modelo y el crecimiento del producto interno bruto (PIB) (Chen y Pao, 2022), por lo cual se estima un incremento de entre el 5% y el 10% en los países que adoptan modelos de economía circular (Elkins et al., 2019). En ALC, el cambio hacia la circularidad generará unos 4.8 millones de empleos para 2030 (PNUMA, 2023). Los residuos son la tercera fuente antropogénica de metano, y la mejora de las políticas de gestión de residuos, como la separación, el reciclaje y el compostaje, tienen el potencial de reducir las emisiones totales del sector de los residuos en un 84%.^[1] Sin embargo, esta transición acarrea mayores desafíos para los sistemas de gestión de residuos sólidos en ALC, especialmente en las áreas asociadas a la generación de datos confiables y en tiempo real y a la trazabilidad del flujo de materiales. Estos aspectos se han convertido en motores para la creación de nuevas políticas y para el seguimiento de las metas de economía circular establecidas a nivel local y nacional. Así, todo lo enunciado resalta la importancia de la digitalización del sector.

A medida que las poblaciones y las economías crecen, la producción mundial de bienes y servicios aumenta. Esto, a su vez, repercute en la demanda de materiales renovables y finitos en todo el planeta y, por tanto, en el incremento de la generación de residuos sólidos. De hecho, la mayor creación de residuos y su mala gestión están ligadas a lo que se conoce como la triple crisis planetaria, uno de los tres principales problemas interrelacionados que enfrenta actualmente la humanidad, tal como señala Naciones Unidas (2022): el cambio climático, la contaminación y la pérdida de biodiversidad.

Según el *Hub de residuos sólidos y economía circular* del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en 2021, ALC generó casi 230,47 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU), un promedio de 361 kg por persona al año. En líneas generales, el 46,06% de los RSU termina en rellenos sanitarios; el 25,57% acaba en sitios de disposición final no autorizados; el 15,25% de los RSU no se recolecta; el 8,72% tiene un destino desconocido y apenas el 4,39% ingresa a sistemas de valorización en la región (Alarcón et al., 2023). En la actualidad, ALC presenta varios desafíos en materia de recolección, tratamiento, recuperación/valorización y disposición final de RSU, además de una creciente vulnerabilidad debido a la persistente tendencia al aumento de la generación de residuos, que responde no solo al crecimiento de la población, sino también a la rápida urbanización y la inminente industrialización de la región. Por lo tanto, es esencial que ALC cuente con servicios adecuados de gestión de residuos, con sistemas fiables de recopilación

[1] Véase <https://www.no-burn.org/zerowaste-zero-emissions/>.

de datos y análisis que puedan mejorar la toma de decisiones y el diseño de políticas para una transición más eficiente y oportuna hacia una economía circular.

En los últimos años, se han desarrollado y puesto en funcionamiento varias herramientas tecnológicas para mejorar la eficiencia de la gestión de residuos sólidos en todo el mundo. Entre ellas se encuentran Internet de las cosas (IoT), inteligencia artificial (IA) y computación en la nube, mecanismos que ahora son clave para generar y analizar datos a fin de mejorar la toma de decisiones y la prestación de servicios en la gestión de residuos sólidos (GRS).

La transición hacia una economía circular va de la mano de la generación, el uso y la difusión de estadísticas fiables sobre producción, consumo, gestión de residuos y uso de recursos. Por lo tanto, la necesidad de datos completos, fiables y actualizados sobre los flujos de materiales en ALC es cada vez más urgente. En ese sentido, el BID trabaja hace tiempo en el desarrollo de herramientas capaces de generar datos confiables sobre el sector de residuos sólidos en la región, por medio del [Hub de residuos sólidos y economía circular](#), y en la promoción de la innovación tecnológica y digital para mejorar la prestación de servicios de gestión de residuos, recolección y análisis de datos, mediante la alianza Fuente de innovación.^[2]

La digitalización temprana y la innovación en el sector son una prioridad para la agenda de gestión de residuos sólidos, en particular en el marco de las directrices de agua, saneamiento y residuos del BID. Por lo tanto, el objetivo de este documento técnico es identificar las principales tendencias en innovación tecnológica y digital en la gestión municipal de residuos sólidos, a fin de colaborar con la difusión de información tendiente a mejorar la toma de decisiones en la transición hacia la digitalización y la circularidad en ALC.



Sergio Campos G.

Jefe de la División de Agua y Saneamiento
Banco Interamericano de Desarrollo



^[2] Fuente de innovación es una alianza del Grupo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) con socios externos para promover el desarrollo y la adopción de soluciones innovadoras en los sectores de agua, saneamiento y residuos sólidos a fin de lograr servicios inteligentes, inclusivos y sostenibles, con especial atención a los proveedores de servicios en ALC. Fuente de innovación tiene financiamiento del gobierno de Suiza, por medio de la Secretaría de Estado de Economía (SECO); de la Fundación FEMSA; la República de Corea, por medio del Ministerio de Medio Ambiente; la Fundación Coca-Cola; del Gobierno de España, por medio del Ministerio de Economía, Comercio y Empresa (MINECO), y del gobierno de Israel, por medio del Ministerio de Finanzas. La alianza también se complementa con contribuciones directas de BID Lab y la División de Agua y Saneamiento del BID, y tiene coordinación directa con Aquafund, el fondo creado con capital del BID, al que contribuye una amplia gama de socios de los sectores público y privado.

Resumen ejecutivo

Esta publicación aborda la transformación digital de la gestión de residuos sólidos (GRS), para lo cual se centra en el uso de herramientas tecnológicas que permiten mejorar la eficiencia y la rentabilidad. Algunas de estas herramientas son la inteligencia de negocios (BI, por sus siglas en inglés), la planificación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés), los sistemas de gestión de clientes y el *software* de gestión de flotas, y sus aplicaciones en la gestión de residuos sólidos. En ese sentido, se destacan los beneficios de la transformación digital, que contemplan la optimización de la recopilación y el análisis de datos, una mejor toma de decisiones y el aumento de la eficiencia operativa. El documento también proporciona ejemplos y estudios de caso sobre la implementación de estas herramientas en diferentes países. Es el caso de Argentina, Barbados, Colombia, Ecuador y Estados Unidos. En la publicación se destaca el uso de las tecnologías digitales entre los proveedores de servicios de gestión de residuos y se analizan sus repercusiones en la eficiencia del servicio y en la madurez digital institucional, así como las herramientas que conducen a una transición sostenible hacia la digitalización y su impacto en un modelo de economía circular. La información de cada capítulo se presenta en los siguientes apartados.

Tecnologías inteligentes de residuos: Conceptos clave

Las tecnologías digitales que se utilizan en el sector de los residuos sólidos se denominan comúnmente tecnologías inteligentes de residuos (SWT, por sus siglas en inglés). En este capítulo, el objetivo es describir los principales conceptos e innovaciones tecnológicas dentro de las SWT en diferentes etapas de la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) y su potencial contribución a la digitalización del sector y al enfoque hacia un modelo de economía circular. Se presentan los conceptos básicos sobre SWT y la manera en que estas herramientas tecnológicas han impactado en la cadena de GRS, en especial las relacionadas con el uso de inteligencia artificial (IA), Internet de las cosas (IoT), computación en la nube, análisis de datos, robótica y tecnologías informáticas. A continuación, se dan ejemplos de SWT en cada una de las etapas de la cadena de gestión de residuos.

Herramientas de inteligencia de negocios

Las herramientas de BI son tipos de *software* de aplicación que recopilan y procesan grandes cantidades de datos no estructurados de sistemas internos y externos, analizan esos datos e informan los resultados en cuadros de mando y visualizaciones de datos sencillos y comprensibles. En la sección sobre este tema se ofrece una breve exposición de las herramientas de BI disponibles para la gestión de residuos, así como tipos de datos y fuentes para herramientas de BI que pueden proporcionar análisis de datos útiles para los actores relevantes del sector. Asimismo, se aportan ejemplos concretos de cómo los proveedores de servicios y los organismos reguladores pueden utilizar las herramientas de BI para mejorar la toma de decisiones en la gestión de residuos.

Herramientas tecnológicas digitales

Este capítulo contiene un sucinto resumen de los distintos tipos de *software* que se emplean en la gestión de residuos y una descripción del modo en que ayudan a digitalizar, analizar y tomar mejores decisiones a las partes interesadas en los servicios de gestión de residuos. Además, incluye ejemplos del uso de *software* en la recopilación y el análisis de datos para mejorar la gestión de los servicios y reseñas sobre las tendencias de *hardware* entre los proveedores de servicios de gestión de residuos y cómo esas tendencias aumentan la eficiencia de los servicios.

Cuadro 1. Principales tecnologías digitales utilizadas en la gestión de residuos

| Tecnología digital | Breve descripción de su uso en la gestión de residuos |
|---------------------------------------|---|
| Tecnologías de la comunicación |  <p>Facilitar los procesos de comunicación entre actores relevantes, como proveedores de servicios, entidades auditoras, clientes finales de los servicios de gestión de residuos, entre otros.</p> <p>Ejemplos: Páginas web, aplicaciones móviles, redes sociales, etc.</p> |
| Internet de las cosas (IoT) |  <p>Tendencia a que cada vez más dispositivos se conecten a Internet o a otras redes, aunque el propósito principal de estos dispositivos no sea conectarse (Berg et al., 2020).</p> <p>Ejemplos: Sensores para contenedores inteligentes, sistemas de medición de peso, sensores de temperatura, georreferenciación de equipos y maquinaria, códigos QR, etiquetas NFC, GPS, RFID, etc.</p> |
| Análisis de datos |  <p>La tarea de procesar y analizar datos para identificar patrones, tendencias, calibración de modelos, entre otros (Berg et al., 2020).</p> <p>Ejemplos: Análisis de datos para la industria del reciclaje (detección de tendencias, calibración de modelos, control en plantas de reciclaje, etc.).</p> |
| Computación en la nube |  <p>Modelo que permite el acceso a la red bajo demanda, en cualquier momento y en cualquier lugar, a un conjunto compartido de recursos informáticos configurables, sistemas de almacenamiento, aplicaciones y servicios, servidores o redes (Berg et al., 2020).</p> <p>Ejemplos: Gestión de contenedores, gestión de operaciones en tiempo real, planificación de rutas de recolección, vida útil de los vehículos de recolección, etc.</p> |
| Inteligencia artificial |  <p>Sistema inteligente que resuelve problemas de forma autónoma y eficiente. Un enfoque muy utilizado en la gestión de residuos es el aprendizaje automático mediante redes neuronales, que se basa en el uso de datos o ejemplos para resolver problemas sin programación explícita (Berg et al., 2020).</p> <p>Ejemplos: Reconocimiento de imágenes, predicciones de patrones de generación de residuos, optimización de rutas de recolección de residuos, predicciones del nivel de llenado de contenedores/de la generación de biogás/de la formación de lixiviados, vehículos autónomos, identificación de vertederos ilegales, entre otros.</p> |

Cuadro 1. (continuación)

Robótica



Máquinas que tienen diferentes opciones de actuación de forma autónoma.

Ejemplos: Robots con capacidad para identificar y clasificar residuos, robots que manejan camiones de recolección, barredoras mecánicas que funcionan de forma autónoma.

Fuente: Elaboración propia (2023).

Herramientas digitales y prácticas innovadoras para la recolección de residuos sólidos

Este capítulo detalla algunos ejemplos de nuevas tecnologías y prácticas innovadoras para incrementar la eficiencia, la trazabilidad y la digitalización del servicio y presenta las tecnologías digitales relacionadas con el diseño de “rutas inteligentes”, la telemática para el mantenimiento de flotas y la seguridad personal. También explora las mejores prácticas en los sistemas de recolección de residuos como orientación para los proveedores de servicios.

Estudios de casos

Este capítulo reúne estudios de casos específicos sobre el empleo de tecnologías digitales en los sistemas de gestión de residuos y proporcionan ejemplos de herramientas digitales “internas” diseñadas por los proveedores de servicios, así como herramientas de SWT y BI en uso en ALC. La inclusión de ejemplos prácticos busca empoderar a los proveedores de servicios de gestión de residuos en el camino hacia la digitalización del sector.

Por último, esta publicación propone recomendaciones para la implantación de tecnologías inteligentes de residuos en ALC.

1. Introducción

El objetivo de esta publicación es ofrecer una revisión de las tecnologías y prácticas innovadoras en la gestión de RSU, con especial atención a las herramientas de BI y las tecnologías digitales en los servicios de recolección de residuos sólidos. La industria 4.0 ha transformado la manera en que se manejan y gestionan los residuos y se ha tornado esencial en la transición hacia la digitalización y la circularidad del sector. Por lo tanto, es importante entender sus potenciales contribuciones a los servicios de gestión de residuos en todo el mundo y, en particular, en ALC.

En el camino hacia la economía circular, la recopilación y el análisis de datos son cruciales, no solo para establecer la línea base y los posteriores objetivos de cumplimiento para alcanzar la circularidad, sino también para el diseño y la implementación de políticas públicas que se adapten a las realidades específicas de cada territorio. A efectos de esta transición, es necesario digitalizar la gestión de residuos, puesto que el rápido cambio en los hábitos de consumo y generación de residuos en todo el mundo vuelve obsoletos los mecanismos tradicionales para compilar información (formularios para rellenar a mano y tablas Excel, por ejemplo). En la actualidad se utilizan tecnologías para garantizar una prestación de servicios más eficiente, como los sistemas de posicionamiento global (GPS) y los sistemas de información geográfica (SIG) para los vehículos de recolección de residuos y la ubicación de los contenedores; sensores para medir el llenado y el estado de los contenedores y tecnologías de comunicación de datos para la transferencia de información y el análisis de datos, entre otras.

Las tecnologías digitales prometen implementar sistemas de gestión de residuos más eficaces, al hacerlos más transparentes y económicos, y más eficientes en el uso de los recursos, al permitirles a los gestores del servicio obtener en mejores condiciones el material valioso en los flujos de desechos y establecer vínculos más eficaces con otros sectores en una futura economía circular. Los principales impulsores de la digitalización del sector de los residuos sólidos y, por ende, de la implementación de tecnologías digitales en ALC son los siguientes:

- i) Reducir costos a partir de la presión para bajar los costos operativos y generar una diferenciación de la competencia.
- ii) Satisfacer las expectativas de los usuarios, que exigen cada vez más información en tiempo real.
- iii) Transitar hacia la economía circular, en la que el diseño circular de bienes y servicios y la trazabilidad de la gestión de residuos son esenciales.
- iv) Crisis climática: a través de la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) en los procesos de gestión de residuos mediante la optimización de las rutas de recolección y la prevención de la generación de residuos.
- v) El crecimiento demográfico, el aumento de la urbanización, la inminente industrialización de la región.

Sin embargo, esta transición hacia la digitalización del sector conlleva una serie de retos para los proveedores de servicios, los gobiernos locales y nacionales y las comunidades de ALC, tales como:

- i) Elevados costos de implementación, relacionados especialmente con el valor de los dispositivos tecnológicos y del desarrollo y mantenimiento de estas tecnologías.

- ii) La necesidad de aplicar planes de alfabetización digital, para contar con un equipo humano con conocimiento y formación adecuados en las tecnologías y usuarios interesados en el uso de estas.
- iii) La exigencia de ciberseguridad, que obliga a disponer de sistemas eficaces de protección de datos y privacidad de la información.
- iv) La creación de sistemas integrados de gestión de residuos sólidos adecuados, que abarca la infraestructura respectiva y la estandarización de procesos, entre otros elementos

Sin duda, la digitalización en el sector tendrá un impacto significativo en la toma de decisiones para una transición dinámica hacia la circularidad, ya que los datos se generarán de manera eficiente, transparente y más confiable, de ahí la importancia de esta publicación técnica para la gestión de residuos en ALC.

La información que proporciona esta publicación se presenta en forma de ejemplos de tecnologías digitales que actualmente se emplean en ALC (hasta marzo de 2024). Debido a que la innovación tecnológica evoluciona de manera constante, es probable que en un futuro próximo surjan nuevas herramientas y tecnologías. Todas las referencias que provee esta publicación son ilustrativas y no tienen un propósito comercial ni una afiliación con el BID.

2. Tecnologías inteligentes de residuos: conceptos clave

Según la Comisión Europea (CE), la transformación digital se caracteriza por “la fusión de tecnologías avanzadas y la integración de sistemas físicos y digitales, el predominio de modelos de negocio innovadores y nuevos procesos y la creación de productos y servicios inteligentes”. El sector de gestión de residuos sólidos (GRS) se encuentra en una fase temprana de desarrollo de la transformación digital y puede beneficiarse de la utilización de estas tecnologías en toda la cadena: limpieza, barrido, recolección, transporte, valorización y disposición final. Las tecnologías digitales se han convertido en instrumentos útiles para los proveedores de servicios, de ahí el creciente uso de las tecnologías inteligentes de residuos (SWT, por sus siglas en inglés), conocidas como herramientas digitales que permiten adaptar los esquemas e innovar en la recopilación y el análisis de la información y contribuyen a la transición hacia la digitalización del sector.

Gráfico 1. Uso de tecnologías inteligentes de residuos en la cadena de gestión de residuos



Fuente: Elaboración propia (2023).

2.1. Generación y separación en origen

Las tecnologías de la comunicación, como las aplicaciones que permiten optimizar la recolección de residuos y el reciclaje, pueden ser herramientas útiles para conectar con los clientes finales en función de ofrecer información sobre el servicio de gestión de residuos (por ejemplo, rutas de recolección, ubicación de los contenedores, datos de facturación, etc.) y educar a los clientes con el objetivo de disminuir la generación de residuos y aumentar su recuperación. Las aplicaciones móviles y las páginas web pueden proporcionar mecanismos transparentes y rastreables para encauzar las consultas de los clientes y repercutir positivamente en la eficiencia de la prestación de servicios. La información que se genera se puede utilizar para enviar “mensajes *push*”, crear una facturación personalizada y establecer un sistema de comunicación transparente para la atención al cliente y entre las partes interesadas. En ALC existen algunas *startups*/empresas que prestan servicios como los que se describen en el anexo.

En lo que respecta a la recuperación de residuos, en los últimos años se ha centrado en incrementar la participación en los programas de reciclaje residencial a pie de vereda y en reducir la cantidad de residuos no reciclables que se depositan en los contenedores de reciclaje (SourceIntelligence, 2023). Los gobiernos locales y las empresas de recolección selectiva de residuos están utilizando una serie de comunicaciones para educar a los vecinos sobre el reciclaje que incluye recordatorios por correo electrónico, publicaciones en redes sociales y “etiquetas oops”. Estas comunicaciones suelen subrayar qué materiales no deben ser depositados en un contenedor de reciclaje residencial (bolsas de plástico o pilas, entre otros) para mitigar la contaminación. Por lo general, el uso de este tipo de comunicaciones baja la cantidad de materiales no reciclables depositados en los contenedores de reciclaje. Por ejemplo, Washington, D.C. experimentó una caída del 20% en materiales no reciclables en 2018-19 (Fenston, 2021). Del mismo modo, The Recycling Partnership informó una reducción del 40% de la contaminación en varias comunidades de Ohio, lo cual subió el valor de sus materiales reciclables US\$20 por tonelada (The Recycling Partnership, 2020).

En algunas partes de ALC, como en otros países en desarrollo, el sector informal realiza la recolección selectiva o identifica materiales reciclables en las instalaciones de disposición final. Algunos países de la región proveen apoyo técnico como una forma de formalizar el sector, además de alentarlo, al igual que al resto de los ciudadanos, a emplear aplicaciones de reciclaje y otras herramientas para mejorar los esfuerzos locales de reciclaje. En el anexo se enumeran ejemplos de estas tecnologías.

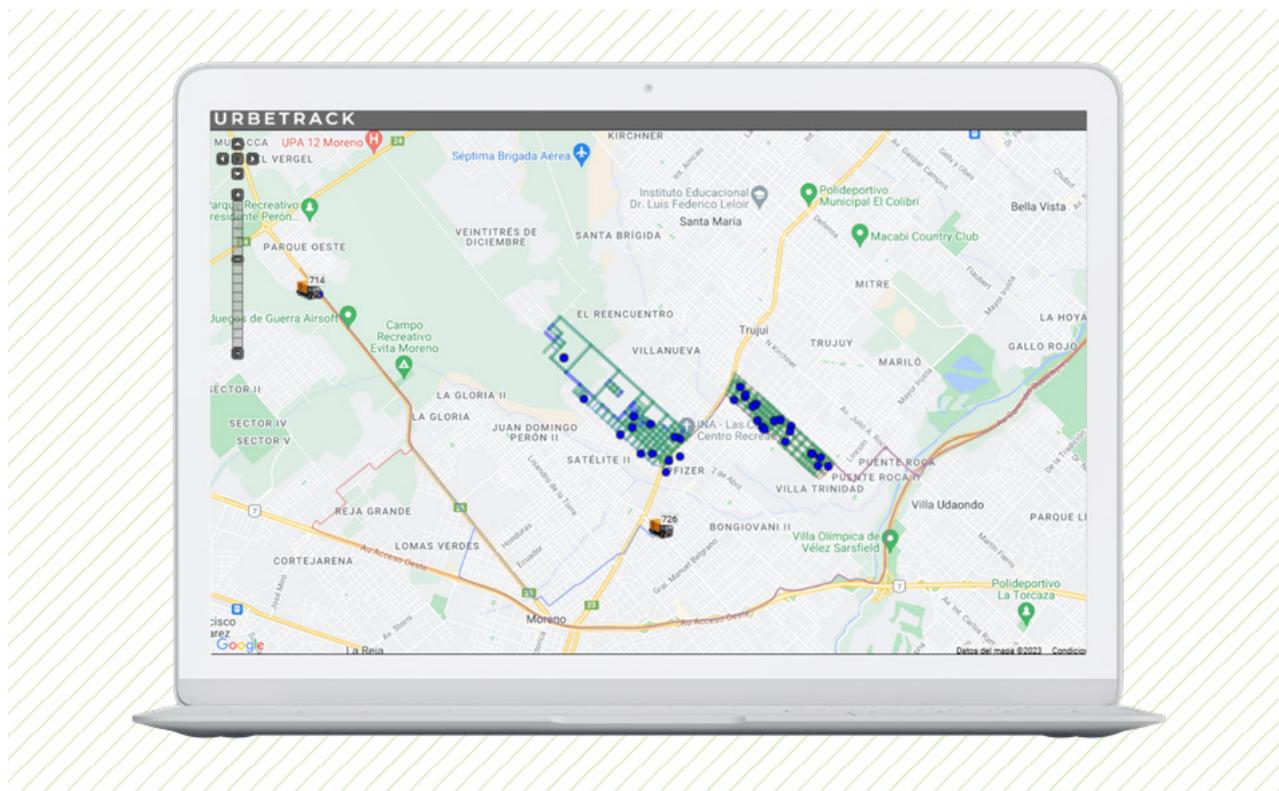
Asimismo, hay prestadores de servicios de recolección de residuos sólidos que cuentan con sitios web, los cuales también son herramientas tecnológicas que permiten acceder a contenidos sobre la forma adecuada de separar los residuos sólidos desde teléfonos inteligentes. Además, posibilitan consultas en tiempo real acerca de los horarios y las frecuencias del servicio de recolección, así como sobre las tarifas, y el ingreso en la sección de atención virtual al cliente, entre otras prestaciones.

2.2. Limpieza

Las tecnologías inteligentes contribuyen a la eficiencia de los sistemas y a la optimización de recursos, especialmente en las actividades de limpieza^[3] (manual y mecánica), así como al control de la disposición inadecuada de residuos sólidos. Por ejemplo, se puede instalar *hardware* (GPS) en equipos de barrido manual y mecánico, limpieza de calles, mantenimiento de áreas verdes, y desarrollo de *software* (cuadros de mando) como instrumento de auditoría y supervisión para prestadores de servicios. El uso de aplicaciones móviles también es una tendencia en el servicio de limpieza. Es el caso de las herramientas para la digitalización del servicio diario, informes de prestación del servicio y atención al cliente, entre otros. En el capítulo 6 se suministran detalles de un ejemplo en Colombia.

^[3] Las actividades de limpieza incluyen servicios de limpieza de calles e instalaciones públicas, como barrido de calles, vaciado de papeleras, recolección de residuos en instalaciones públicas, lavado de estructuras públicas, poda de zonas verdes, etc.

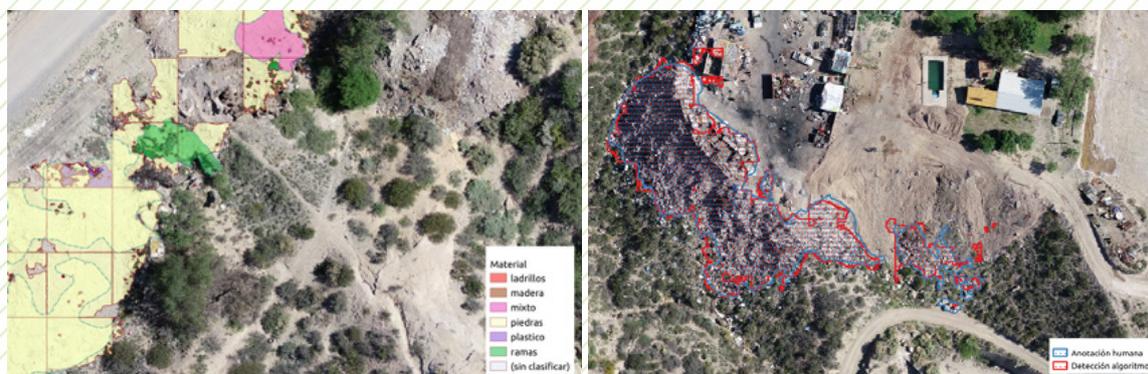
Gráfico 2. Uso de tecnologías inteligentes de residuos en la limpieza de espacios públicos, Argentina



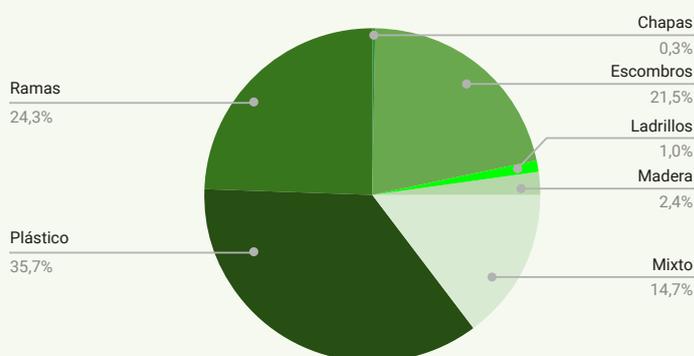
Fuente: Entrevista personal a Gabriela Yael Spector, gerente de Producto de Urbetrack, realizada por Paula Guerra el 23 de noviembre de 2023.

Hoy en día, las tecnologías digitales, como la inteligencia artificial (IA), se utilizan para identificar la acumulación de residuos en zonas urbanas y los vertederos ilegales. En América Latina, en particular en Argentina, se han diseñado modelos entrenados para este fin que actualmente aplican gobiernos nacionales y locales, y se usan en sesiones de formación para funcionarios municipales.

Gráfico 3. Detección automática de rellenos sanitarios y microvertederos, Argentina



Superficie cubierta por material



Fuente: [Fundación Bunge y Born \(2023\)](#).

2.3. Almacenamiento temporal

Las SWT se utilizan principalmente en “contenedores inteligentes” para la recolección de residuos, en los que se pueden emplear sensores para medir el peso y/o el volumen y herramientas como chips de identificación por radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés) o códigos QR para establecer la ubicación del contenedor, una herramienta común para internet de las cosas (IoT) y el diseño e implementación de “rutas inteligentes de recolección”. Las herramientas de IA se pueden usar para prever la generación de residuos, identificar el tipo de residuos depositados en los contenedores y activar una “alarma” cuando se disponen materiales distintos de los autorizados. En la región ya existen empresas que prestan este tipo de servicio de información primaria (sistema de contenedores inteligentes) para rutas inteligentes de recolección de residuos; en el anexo se presentan algunas de ellas.

2.4. Recolección

Las tecnologías inteligentes contribuyen a la prestación de sistemas más eficientes, con mayor optimización de recursos y menor impacto ambiental. El uso de SWT en el servicio de recolección repercute positivamente en la eficiencia en el control de las operaciones, aumenta la vida útil

de los vehículos, reduce el impacto ambiental y proporciona más trazabilidad y transparencia en la gestión del servicio. El aporte de estas tecnologías se aplica al diseño de rutas óptimas, al seguimiento en tiempo real de las operaciones, a los sistemas telemáticos para los vehículos, al pesaje en tiempo real de los residuos, entre otros.

Por ejemplo, es posible equipar los vehículos de recolección con sensores. Aparte del conjunto estándar de sensores integrados en los camiones, hay varios sensores específicos del sector de los residuos, como una balanza que comprueba el peso de los residuos recogidos, sensores RFID para identificar contenedores de residuos y sensores GPS para rastrear la ubicación del vehículo.

Para la integración de sensores en los vehículos de recolección de residuos se ha establecido lo que se conoce como el estándar CleANopen, "CAN-Bus" (CiA, 2019). CAN-Bus especifica el controlador de carrocería (CC) y varias entidades funcionales, así como la comunicación interna para funciones como la elevación de contenedores, la medición o la unidad de grúa.^[4] La planificación de rutas también es una parte integral del proceso de recolección de residuos y se beneficia de herramientas digitales basadas en SIG para optimizar las rutas y ahorrar tiempo de operación. El capítulo 5 ofrece una descripción de las tecnologías que se emplean en el servicio municipal de recolección de residuos sólidos.

2.5. Recuperación

En el campo del tratamiento de residuos sólidos y reciclables, los robots equipados con *software* y capacidades de IA desempeñan un papel cada vez más importante en la clasificación. Asimismo, los sistemas de clasificación óptica provistos de chorros de aire pulsado ganan popularidad. Estas nuevas tecnologías digitales están ayudando a mejorar la calidad de los materiales y a aumentar la eficiencia en las instalaciones de reciclaje. Los datos también se recogen y analizan para hacer proyecciones para la industria del reciclaje, con base en IA y herramientas de análisis de datos.

2.6. Disposición final

Los procesos de disposición final dependen con mayor frecuencia de las nuevas tecnologías para la topografía de rellenos sanitarios y cartografía de puntos de disposición final, la compactación de residuos y el seguimiento y control de las operaciones. Por ejemplo, los drones se usan para realizar reconocimientos aéreos periódicos de los emplazamientos con el fin de determinar y mejorar la compactación de los residuos y la utilización del espacio aéreo. Los drones también pueden identificar áreas en las que es viable implantar nuevos sitios de disposición final mediante el análisis de información geoespacial relativa a conectividad, infraestructura vial, geografía, población, etc. Del mismo modo, los compactadores de rellenos sanitarios están equipados con GPS y GIS, que proporcionan a los operadores datos e información en tiempo real sobre la compactación de residuos en el frente de trabajo del relleno sanitario. En cuanto a los sensores y satélites, por lo general se emplean para supervisar las emisiones de GEI y controlar la temperatura en los rellenos sanitarios.

2.7. Gestión comercial/Atención al cliente

La digitalización está transformando muchos procesos basados en papel que implican conservar o compartir información entre diferentes industrias. El sector de los residuos también experimenta este cambio. Procesos como la facturación, la contabilidad, el control, la tramitación de pedidos, la documentación, la gestión de subcontratistas, entre otros, se están digitalizando. Esto mejora la eficiencia y la responsabilidad del sistema de gestión de residuos.

^[4] Véase <https://www.bde.de/>.

3. Herramientas de inteligencia de negocios

La transformación digital de la gestión de residuos está sentando las bases para el desarrollo de herramientas de BI que mejoren la eficiencia y la rentabilidad de los servicios sectoriales, como se expone en este capítulo.

Las herramientas de BI son tipos de *software* que se utilizan para recopilar, procesar, analizar y visualizar grandes volúmenes de datos antiguos, actuales y futuros con el fin de generar perspectivas empresariales procesables, crear informes interactivos y simplificar los procesos de toma de decisiones.^[5] “La inteligencia de negocios (BI) aprovecha el *software* y los servicios para transformar los datos en información práctica que sirva de base a las decisiones empresariales estratégicas y tácticas de una organización. Las herramientas de BI acceden a conjuntos de datos, los analizan y presentan los resultados en informes, resúmenes, cuadros de mando, gráficos, diagramas y mapas para proporcionar a los usuarios información detallada sobre el estado de la empresa. El término inteligencia de negocios también suele referirse a una serie de herramientas que proporcionan un acceso rápido y fácil de digerir a la información sobre el estado actual de una organización, basándose en los datos disponibles” (Schwartz, 2021).

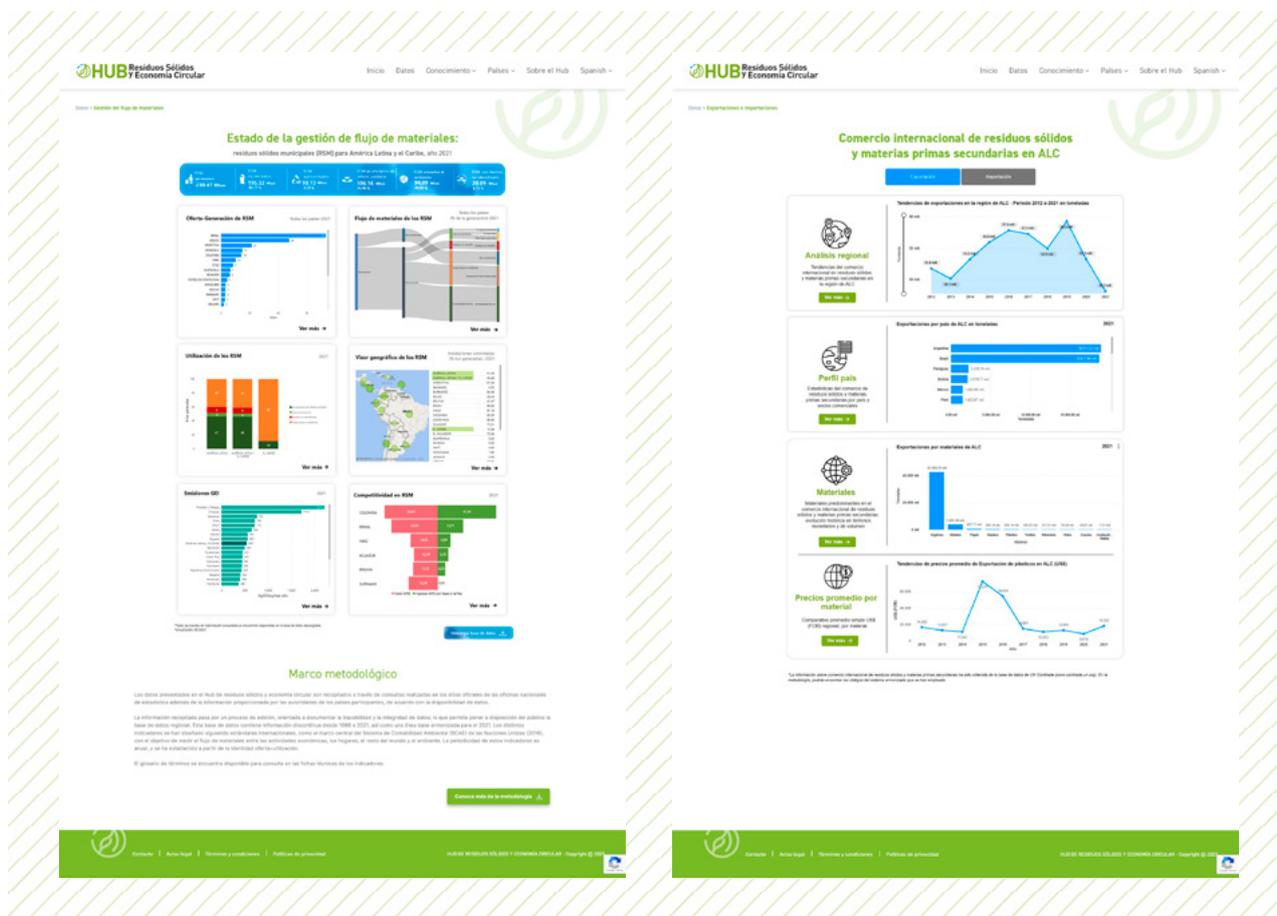
Las herramientas de BI se utilizan para recopilar y procesar grandes cantidades de datos no estructurados procedentes de sistemas internos y externos, como libros, revistas, documentos, historiales médicos, imágenes, archivos, correo electrónico, vídeo y otras fuentes empresariales. Estas herramientas permiten procesar los datos de forma digital para encontrar información principalmente a través de consultas. También ayudan a preparar los datos para su análisis, de modo que un gestor de residuos sólidos pueda crear informes, cuadros de mando y visualizaciones de datos. Los resultados les otorgan a empleados y directivos la capacidad de acelerar y mejorar la toma de decisiones, aumentar la eficiencia operativa, evaluar nuevos potenciales de ingresos, identificar tendencias de mercado, informar sobre indicadores clave de rendimiento (KPI, por sus siglas en inglés) relevantes e identificar nuevas oportunidades de negocios.^[6]

Como ejemplo, en 2023, el BID lanzó el Hub de residuos sólidos y economía circular, una plataforma que incluye datos analizados por Power BI y aporta evidencia de la evolución del sector de residuos y economía circular, su vinculación con los objetivos de desarrollo sostenible, mitigación y adaptación al cambio climático. En ese sentido, busca apoyar a los países en su transformación digital para el diseño e implementación de políticas públicas eficaces y modelos de gestión innovadores en la era de la información. Al mismo tiempo, se convierte en un punto de encuentro regional para mejorar las estadísticas sobre residuos y economía circular.

^[5] Véase <https://www.datapine.com/articles/best-bi-tools-software-review-list>.

^[6] Véase <https://azure.microsoft.com/en-us/products/power-bi-embedded/#layout-container-uid18e>.

Gráfico 4. Hub de residuos sólidos y economía circular diseñado con herramientas de inteligencia de negocios



Fuente: BID (2024).

Las herramientas de BI, que se suelen usar para realizar consultas e informes sencillos sobre datos empresariales, pueden combinar un amplio conjunto de aplicaciones de análisis de datos, como análisis y consultas ad hoc, informes empresariales, procesamiento analítico en línea (OLAP, por sus siglas en inglés), BI móvil, BI en tiempo real, BI operativo, BI en la nube y BI de *software* como servicio, BI de código abierto, BI colaborativo e inteligencia de localización. También pueden incluir *software* de visualización de datos para diseñar gráficos, así como herramientas para crear cuadros de mando de BI y cuadros de mando de rendimiento que muestren métricas de negocio y KPI para presentar los datos de la organización en imágenes fáciles de entender.^[7]

Las herramientas de BI tienen dos vertientes: predictiva y perspicaz (prescriptiva). Una métrica de BI *predictiva* tiene un KPI para medir, con tolerancias y límites de aceptabilidad. Las métricas *perspicaces* se acercan más a una forma de arte. Con BI, los directivos pueden examinar los datos a lo largo del tiempo, buscar tendencias, variaciones y valores atípicos y desarrollar nuevos KPI para predecir o anticipar mejor los cambios o tendencias.

^[7] Véase <https://azure.microsoft.com/en-us/products/power-bi-embedded/#layout-container-uid18e>.

Asimismo, estas herramientas pueden aprovechar la IA, que ha asumido un papel dominante al revisar datos transaccionales en vivo para identificar patrones, comportamientos y anomalías en el transcurso del tiempo, mientras genera intuiciones sobre cantidades masivas de datos. Hoy, la nueva generación de IA ayuda a los directivos a ver en los datos información que necesitarían años de experiencia para comprender. Por ejemplo, permite a un gestor de servicios de recolección de residuos establecer un KPI institucional de 1.000 toneladas de residuos residenciales recogidos para un miércoles de septiembre que sin las herramientas tecnológicas le habría llevado años de experiencia desarrollar. Cuando se dan condiciones extremas, como la pandemia reciente, los seres humanos suelen tardar demasiado en ajustar los KPI de los que dependen para tomar decisiones empresariales. El ajuste, entonces, tiene un alto costo de fricción y pérdidas potenciales. El uso de la IA para revisar los datos y buscar cambios en los patrones posibilita a los directivos acceder a un análisis superior de grandes cantidades de datos. Este análisis se puede utilizar para identificar los mejores resultados de servicio o para impulsar un resultado deseado (Schwartz, 2021). A continuación, se ofrece una revisión de las herramientas de BI más relevantes.

3.1. Tipos de datos y fuentes para la inteligencia de negocios

Como ya se ha indicado, las herramientas de BI se emplean para recopilar y procesar grandes cantidades de datos no estructurados procedentes de sistemas internos y externos, como libros, revistas, documentos, historiales médicos, imágenes, archivos, audio, páginas web, correo electrónico, vídeo y otras fuentes empresariales.

El cuadro 2 muestra los tipos de datos que pueden ser de utilidad para los encargados de la toma de decisiones en la búsqueda de mejorar la prestación de servicios de recolección de residuos sólidos.

Cuadro 2. Ejemplos de tipos de datos y análisis de inteligencia de negocios para la gestión de residuos sólidos

| Tipo de datos | Recopilación detallada de datos |
|--------------------------------------|---|
| Población/Empleo | Los datos de población se pueden utilizar para estimar las tasas de generación de residuos residenciales a partir de los datos de generación de residuos per cápita (por peso). Si no se dispone de datos de peso, se pueden desarrollar estimaciones volumétricas en función de volúmenes de contenedores de camiones y/o contenedores de residuos sobre la base de datos de densidad aparente medidos localmente o publicados. Los datos de empleo y los de ingresos se pueden usar de forma similar para formular estimaciones de las tasas de generación de residuos comerciales. Los drones y la información geoespacial pueden proporcionar datos para la estimación de la población, mediante el análisis de los tejados de las viviendas y su extrapolación a la población. |
| Características de las calles | Los datos sobre las características y condiciones de las calles pueden ser especialmente útiles para optimizar el diseño de las rutas de recolección. Por ejemplo, los movimientos en reversa, los giros a la izquierda y los virajes de los camiones se pueden minimizar a partir de estos datos. |
| Línea central de la calle | La disponibilidad de datos de la línea central para el área de servicio es el factor más importante al considerar un sistema de diseño de rutas automático. |

Cuadro 2. (continuación)

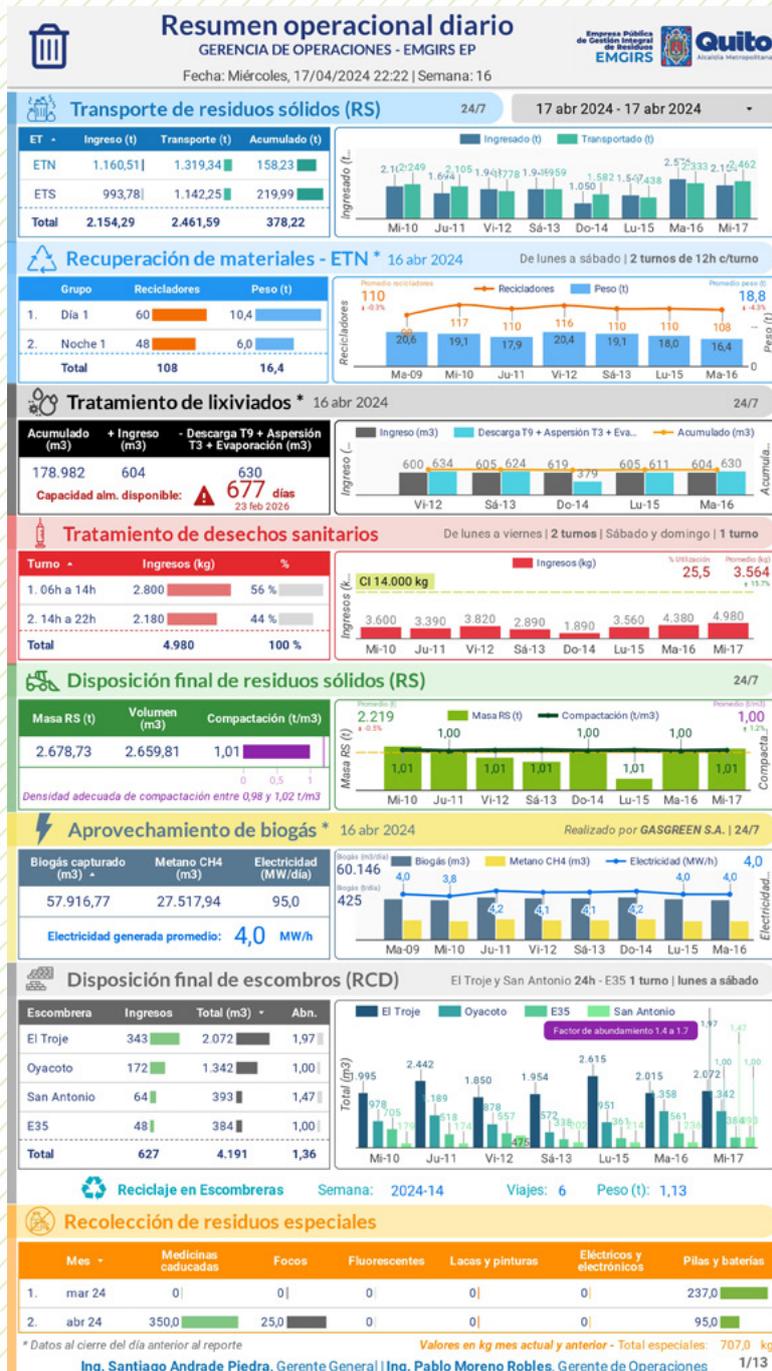
| | |
|--------------------------------------|---|
| Ventas | Los datos de ventas de tiendas de comestibles y minoristas a veces se pueden correlacionar con los índices de generación de residuos residenciales y comerciales. |
| Viviendas en construcción | La información de viviendas en construcción se puede utilizar para estimar los volúmenes y tonelajes de residuos de construcción y demolición y anticipar el futuro crecimiento de los residuos residenciales. |
| Servicio de agua | Si se dispone de datos de consumo de agua se pueden correlacionar con los de recolección de residuos para identificar tendencias y áreas problemáticas. |
| Servicio eléctrico | Si se dispone de datos de consumo eléctrico residencial se pueden correlacionar con los datos de generación y recolección de residuos para identificar tendencias y áreas problemáticas. |
| Previsiones económicas | Los parámetros económicos clave, como el producto interno bruto, se pueden correlacionar con los datos sobre residuos para identificar tendencias generales o áreas problemáticas. Las tendencias económicas también se pueden correlacionar con los datos de generación de residuos. |
| Tráfico | Los datos de tráfico se pueden usar para evitar las zonas que presentan gran congestión de tráfico, históricamente y en la actualidad, al prestar los servicios de gestión de residuos a fin de hacer más eficiente la recolección. |
| Calidad del aire | Los datos de calidad del aire pueden ser útiles para analizar el impacto de la recolección y gestión de residuos sólidos en la consecución de los objetivos locales de calidad del aire y para identificar estrategias diseñadas para mitigar estos impactos, como la conversión a gas natural. |
| Sostenibilidad comunitaria | Los datos sobre los objetivos de sostenibilidad de una comunidad pueden servir para medir el impacto de los servicios de recolección de residuos sólidos en el logro de estos objetivos. Por ejemplo, el nivel de educación, los años de estudio, el número de bibliotecas también se pueden correlacionar con los datos de generación de residuos. |
| Economía circular comunitaria | Los datos sobre los objetivos de economía circular de la comunidad pueden ser útiles para medir el impacto de los servicios de gestión de residuos sólidos en la consecución de estos objetivos. El BID es socio de desarrollo de Development Data Partnership , una colaboración entre organizaciones internacionales y empresas tecnológicas que facilita el uso eficiente y responsable de datos de terceros en el desarrollo internacional, donde el análisis de datos del medioambiente y sociales puede contribuir a la investigación y al diseño de políticas. |

Fuente: Elaboración propia (2023).

Los datos de ventas de viviendas o alquileres de apartamentos que aparecen en la web pueden servir para estimar, mediante sistemas de BI, la cantidad de residuos que se generan y recogen actualmente. Al analizar los cambios en los alquileres de apartamentos en zonas donde se producen problemas de desbordamiento de contenedores de residuos y determinar si existe una correlación entre los datos de alquiler de apartamentos y los problemas de desbordamiento de contenedores es posible predecir los patrones de generación de residuos de los barrios. Observar estos cambios de forma estandarizada podría proporcionar importantes beneficios y datos útiles en las zonas urbanas de ALC.

Como se ha señalado, el uso de BI permite visualizar el análisis de datos de manera sencilla en cuadros de mando con KPI relevantes, lo cual posibilita una mejor toma de decisiones por parte de los proveedores de servicios de gestión de residuos. Hoy en día, las herramientas de BI son completas, de fácil acceso y manejo simple; en muchos casos, el *software* básico es gratuito y los clientes pueden actualizarlo cuando resulta necesario. Algunos proveedores de servicios de ALC han empezado a utilizar *software* de BI para producir datos relevantes relacionados con la recolección de residuos, la gestión de flotas y el mantenimiento de infraestructura (contenedores), la gestión de recursos humanos, el diseño de rutas, etc.

Gráfico 5. Cuadro de mando de proveedores de servicios de gestión de residuos desarrollado con herramientas de inteligencia de negocios, en Quito, Ecuador



Fuente: Entrevista personal a Pablo Moreno, gerente de Operaciones de la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Quito (EMGIRS), realizada por Paula Guerra, el 28 de febrero de 2024.

4. Herramientas tecnológicas digitales

En esta sección se presentan ejemplos de herramientas de *software* y *hardware* que se emplean en la gestión de residuos sólidos y constituyen facilitadores potenciales de una transición eficiente hacia la digitalización y la circularidad.

4.1. Software

La forma de diseñar e implantar programas informáticos en los servicios de gestión de residuos sólidos experimenta un gran cambio. Uno de los factores de este cambio es la evolución de los lenguajes de programación. En la última década se ha producido un giro radical en cómo se crean las aplicaciones. Muchos de los “sistemas heredados” existentes en la gestión de residuos están pensados para manejar funciones de un solo propósito, no para satisfacer las demandas dinámicas e interconectadas que caracterizan al sector en la actualidad. Es importante considerar la transición del *software* antiguo y estático al abierto y dinámico y garantizar que los sistemas de *software* se puedan sustituir o enlazar con otros y presenten compatibilidad entre distintos equipos de campo, sistemas operativos o formatos de archivo. Se trata de una buena noticia para las operaciones de gestión de residuos, que a menudo enfrentan dificultades con complejos programas informáticos interconectados y sistemas heredados obsoletos.

Por ejemplo, la IA y el aprendizaje automático permiten que las aplicaciones dejen de ser “pasivas” (realizar tareas según un protocolo basado en órdenes predefinidas) para ser más activas y autónomas. La IA les ofrece a los desarrolladores de *software* y los equipos informáticos varias posibilidades atractivas para lograr que las aplicaciones sean más rápidas, escalables y eficientes. Así, la IA está emergiendo en soluciones de *software* para la gestión de residuos, especialmente aplicada en robots y monitorización de flujos de residuos en plantas de clasificación. La disponibilidad de las capacidades de IA en la nube es cada vez mayor, a partir de “sistemas de respuesta a preguntas” abiertos y algoritmos ya preparados, como IBM Watson y Google Cloud AI.

A continuación, se describen algunos ejemplos de programas informáticos que se utilizan para mejorar la eficiencia de la gestión de residuos:

4.1.1. Sistemas de planificación de recursos empresariales

La digitalización es importante en la gestión de residuos, y los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés) son esenciales para ello. Estos sistemas ofrecen un control integrado de los principales procesos empresariales en tiempo real, lo cual permite una integración fluida con otros *softwares* y tecnologías. Mediante el uso de sistemas ERP, las empresas de gestión de residuos pueden realizar un seguimiento eficaz de cada paso de sus operaciones, desde la recolección y el transporte de residuos hasta el reciclaje y la disposición final. Esto no solo mejora la eficiencia de los procesos de gestión de residuos, sino que también posibilita que las empresas tomen decisiones basadas en datos, lo cual, en última instancia, constituye un soporte a la digitalización del sector (Mavropoulos y Nilsen, 2020).

4.1.2. Sistemas de gestión de clientes

Los sistemas de gestión de clientes, o sistemas de gestión de las relaciones con los clientes (CRM, por sus siglas en inglés), son plataformas de *software* que administran las interacciones

de una empresa con sus clientes actuales y potenciales. Estos sistemas utilizan el análisis de datos del comportamiento previo de los clientes con una empresa para mejorar las relaciones comerciales, en función de lo cual se centran especialmente en la retención de clientes y, en última instancia, en aumentar el crecimiento de las ventas. En la gestión de residuos, los sistemas CRM pueden ayudar a los proveedores de servicios a comprobar la calidad de la clasificación, hacer un seguimiento de la frecuencia con la que se deposita un contenedor para su recolección y controlar cuánto pesa. Esto facilita la facturación del servicio y favorece el uso de la facturación basada en incentivos. Mediante la aplicación de sistemas CRM, las empresas de gestión de residuos pueden comunicarse mejor con los clientes, incrementar sus niveles de satisfacción y, finalmente, contribuir a la digitalización del sector (Mavropoulos y Nilsen, 2020).

4.1.3. Software de gestión de proyectos

El *software* de gestión de proyectos (PMS, por sus siglas en inglés) ayuda a planificar, coordinar y controlar proyectos dentro de una organización o entre organizaciones. Existen muchos tipos de herramientas y cada una de ellas ofrece diferentes métodos de gestión de proyectos y funciones como el cálculo de costos, los plazos, el trabajo en equipo, la comunicación, la toma de decisiones y la administración del tiempo. En el caso de la gestión de residuos sólidos, el PMS puede ser útil para actividades como la sustitución de camiones, la construcción de instalaciones y la gestión del trabajo del personal de recolección de residuos (Mavropoulos y Nilsen, 2020).

4.1.4. Lagos y almacenes de datos

A medida que la cantidad de datos crece, resulta esencial gestionar la información de manera eficiente. Hay dos conceptos comunes en uso hoy en día: *lago de datos* (datos brutos sin procesar) o *almacenes de datos* (datos estructurados y refinados). Ambos sistemas pueden recopilar datos de diversas fuentes dentro de una organización y utilizarlos para elaborar informes y análisis. Los informes elaborados a partir de consultas complejas en un almacén de datos pueden ayudar a tomar mejores decisiones empresariales de forma más rápida. Algunos *softwares* de almacén de datos incluyen herramientas de cuadros de mando dinámicos que favorecen la visualización de los datos (Mavropoulos y Nilsen, 2020).

4.1.5. Software de informes de campo

Los trabajadores de campo y los conductores que se desempeñan en las operaciones tendrán que coordinar sus acciones. Existen diferentes soluciones para la gestión de residuos que usan dispositivos móviles en el vehículo. Funcionan en tiempo real y ofrecen una visión completa para el trabajador, con integración en el *back office*. De este modo, se pueden cambiar los horarios, enviar órdenes y recibir información en un lugar centralizado. Con sensores en dispositivos móviles como teléfonos inteligentes (*smartphones*) y *tablets*, las aplicaciones de campo también pueden informar sobre la ubicación de manera automática. En muchos camiones modernos de recolección de residuos el sistema está conectado para proporcionar información continua sobre diferentes eventos (Mavropoulos y Nilsen, 2020).

4.1.6. Software de mercado

Las plataformas digitales que permiten el intercambio de información entre clientes, productores y proveedores de servicios conforman una tendencia reciente. Los sistemas en línea para reservar contenedores de residuos se han popularizado en el mercado de los desechos; generadores de residuos particulares o empresas de construcción pueden solicitar servicios de retirada de residuos de diversos tipos a través de una aplicación, gracias a las nuevas plataformas digitales. El cliente puede pedir el contenedor, seleccionar el tamaño, solicitar entrega o recogida, según sea necesario, en línea (Mavropoulos y Nilsen, 2020).

4.2. Hardware

4.2.1. De los servidores a las nubes

La computación en la nube posibilita el acceso en red a la carta, en cualquier momento y lugar, a un conjunto compartido de recursos informáticos configurables. La computación en la nube se utiliza en el sector de la gestión de residuos en diversas aplicaciones. Algunos ejemplos son el almacenamiento y procesamiento de datos de sensores o las soluciones de *software* para las tareas de gestión, recolección, administración y documentación. El *software* basado en la nube se puede facturar mediante pago por uso o una licencia por tiempo limitado; también puede ser de código abierto, de modo que solo se facturen las cuotas de servicio por la administración del *software* y la infraestructura utilizada.

4.2.2. De la arquitectura centralizada a la distribuida

Se está produciendo una transición de las configuraciones centralizadas a los sistemas distribuidos, un cambio en el que todos los componentes del sistema se encuentran en distintos ordenadores conectados en red y en el que la comunicación y la coordinación de las acciones se realizan por medio del intercambio de mensajes a fin de lograr un objetivo común. En los sistemas digitalizados, una parte del procesamiento no se efectúa en la nube, sino en el borde (el procesador está situado físicamente cerca del equipo), lo cual se traduce en una reducción del tiempo de respuesta y un ahorro de ancho de banda. En las operaciones de gestión de residuos, los equipos suelen estar dispersos en zonas geográficas extensas, por lo cual la capacidad de procesamiento local en la planta o el contenedor puede repercutir de manera significativa en la eficiencia (Mavropoulos y Nilsen, 2020).

4.2.3. Sistemas de etiquetado de radiofrecuencia

Las soluciones de identificación por radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés) para la gestión de residuos permiten la identificación y trazabilidad de los flujos de residuos. A partir del etiquetado en los contenedores de residuos los operadores pueden controlar la calidad de la clasificación de residuos, el número de veces que un contenedor se coloca para su recolección y el peso de su contenido. Las etiquetas RFID para contenedores de residuos simplifican la facturación del servicio y posibilitan una facturación basada en incentivos. Hay muchos proveedores que venden sistemas de etiquetado RFID y la mayoría de los fabricantes de contenedores/carros, así como los de RFID, los ofrecen. Las tecnologías RFID y las cámaras digitales remotas podrían ser útiles para detectar y cuantificar los problemas de desbordamiento, mientras que el *software* de planificación de rutas bajo demanda podría servir para que los contenedores desbordados reciban un servicio más eficiente.

Cada vez más municipios instalan sensores en los contenedores de residuos, algunos de ellos alimentados por energía solar, que se comunican con el proveedor del servicio y le informan cuando el contenedor está lleno. Estos sensores suelen estar en contenedores de recolección pública y contenedores de residuos comerciales, aunque también crece su colocación en contenedores residenciales y *roll off* usados por mayores generadores. Los sensores permiten a los proveedores hacer un seguimiento del inventario y la participación, así como verificar el servicio; además, desempeñan un papel importante en el diseño de rutas inteligentes para los servicios de recolección de residuos, lo cual mejora la eficacia y reduce el impacto ambiental en el transporte.

5. Herramientas digitales y prácticas innovadoras para la recolección de residuos sólidos

En los últimos años se han desarrollado y difundido muchos avances innovadores y mejores prácticas en la recolección de residuos sólidos. Las nuevas tecnologías proporcionan a los operadores de residuos una amplia gama de beneficios, como la mitigación de las emisiones de GEI, la reducción de los costos operativos y el aumento de la seguridad en las operaciones para los trabajadores. Algunas de estas tecnologías se centran en incrementar la eficiencia y bajar los costos de transporte a partir de facilitar la introducción de sistemas de recolección inteligentes. Un sistema “inteligente” de recolección de residuos puede limitar la frecuencia con que los camiones prestan un servicio ineficiente a contenedores parcialmente llenos, eliminar casi por completo los contenedores desbordados y proveer sistemas de trazabilidad que mejoren el conocimiento de la demanda de servicio y optimicen las actividades de recolección, mediante una planificación más eficiente de las rutas.

En este capítulo se presentan ejemplos concretos de innovación y tecnología en los servicios de recolección de residuos, se describen las herramientas de *software* y *hardware* y se reseñan experiencias de proveedores de servicios en ALC.

5.1. Digitalización de datos y rutas

En las últimas décadas se ha producido la transición de la recolección manual de datos y rutas a la digitalización de datos y rutas para los servicios de recolección de residuos sólidos. Dos de las principales tareas asociadas a esta transición son la implantación de *softwares* de optimización de rutas y sistemas digitalizados de gestión de flotas.

5.1.1. Software de planificación de rutas

La planificación automática de rutas para la recolección de residuos sólidos implica la realización de tres pasos:

- 1) Determinar los puntos de recolección y las cantidades probables de residuos que se recogerán en cada punto.
- 2) Agrupar los puntos de recolección para formar rondas que puedan ser atendidas por un único vehículo de recolección.
- 3) Planificar la ruta de cada ronda de recolección teniendo en cuenta la distancia recorrida, los viajes al sitio de disposición final, los niveles de tráfico y la seguridad para el público y los recolectores de residuos.^[8]

El diseño de rutas automático utiliza la tecnología informática para desarrollar áreas equilibradas y producir una estructura detallada de la ruta. Los principios son los mismos que los del trazado

^[8] Véase “9.5 Planificación de la ruta de los vehículos de recolección de residuos” en <https://www.open.edu/openlearncreate/mod/oucontent/view.php?id=80575§ion=7>.

manual, pero se aplican mediante algoritmos informáticos. El sistema cartográfico informático que suele emplearse es el sistema de información geográfica (SIG). El SIG es una base de datos digital que almacena información cartográfica, así como datos no geográficos, que posee fácil accesibilidad en todo el mundo. Existen muchos programas informáticos comerciales que se pueden usar con los sistemas SIG. Los llamados sistemas integrados de información geográfica (IGIS, por sus siglas en inglés) fusionan los sistemas tradicionales de información de gestión con los SIG. El producto final es un sistema de aplicaciones de escritorio que puede proporcionar información espacial a usuarios sin experiencia en SIG o en estaciones de trabajo gráficas. Por ejemplo, un servicio de recolección de residuos sólidos puede integrar en un SIG información sobre calles de sentido único y callejones sin salida para facilitar la selección de rutas de recolección óptimas.^[9]

Cuando a los sistemas SIG se les suministra una base de datos de líneas centrales de calles pueden producir rápidamente mapas de carreteras de todo el país, un estado o, incluso, una pequeña parte de una ciudad. Las aplicaciones informáticas existentes pueden examinar estos mapas originados por los SIG y generar rutas óptimas para los servicios de reparto y recolección. Por ejemplo, los algoritmos que crean las rutas se pueden programar para minimizar los giros a la izquierda y las distancias de repetición, evitar las calles sin servicio y seguir otros principios del diseño de rutas. Además, las aplicaciones pueden considerar los patrones de tráfico, las restricciones de giro, las calles de sentido único y los callejones sin salida, así como prever la recolección en un lado de la calle o en ambos.

Según la aplicación de diseño de rutas escogida, antes de la instalación se debe cumplir una cantidad de requisitos de *hardware* y *software*. Por su parte, los clientes deben disponer de sistemas SIG para vincularlos con la aplicación de rutas y es necesario generar o adquirir bases de datos con las líneas centrales de las calles.^[10] La disponibilidad de datos de líneas centrales para el área de servicio es el factor más importante al evaluar un sistema de diseño de rutas automático.

Algunas soluciones de *software* pueden crear rutas basadas en parámetros, como sensores de nivel o recolección de contenedores solicitada. Estas soluciones pueden ayudar a las empresas de recolección de residuos a reducir el número de vehículos, el personal y el combustible que necesitan. Los sistemas también pueden mejorar el servicio general a los clientes al evitar que se pierdan contenedores. Una característica clave del *software* de planificación de rutas es un algoritmo de optimización. El sistema busca la mejor ruta de recolección. A menudo, estos sistemas pueden mezclar rutas automáticas y rutas manuales, en función de los requerimientos del servicio. El optimizador de rutas, que utilizará una fuente de datos geográficos, puede considerar la ubicación de inicio y fin, los puntos de recolección, los tipos de carretera, la hora del día y la capacidad de los vehículos. El *software* de planificación de rutas ofrece varias ventajas, como la posibilidad de optimizar rutas y horarios, y contemplar diversos factores, como el tráfico, el estado de las carreteras y la distancia. Esto puede ayudar a reducir los costos de combustible, mejorar los plazos de entrega y aumentar la eficacia general, sobre todo para las empresas de logística y reparto.

El *software* de planificación de rutas suele estar diseñado para centrarse en dos tipos de servicios de recolección de residuos: 1) recolección de residuos en ruta fija y 2) servicios bajo demanda.

^[9] Con base en la lección 9 (Rutas de los camiones de recolección y tecnologías emergentes) de SWANA Managing MSW Collection Systems: <https://swana.org/training-certification/find-a-course/training-course/managing-msw-collection-systems>.

^[10] Véase https://www.clarkcountynv.gov/government/departments/geographic_info_systems/index.php.

- **Software de rutas fijas:** Las rutas fijas de recolección de residuos comprenden el servicio a clientes que requieren el mismo nivel de servicio de forma regular. La recolección de residuos mixtos, reciclables y de jardinería de viviendas unifamiliares se suele realizar mediante rutas fijas semanales, quincenales o mensuales.
- **Software de rutas bajo demanda:** Para algunos servicios de recolección de residuos sólidos, como la recolección de residuos a granel, la ruta “puntual” puede ser la más aplicable. En este caso, se realiza una serie de paradas en función de la información originada por los clientes. Los sistemas de reparto de paquetería utilizan este tipo de rutas. Los servicios de recolección de residuos a granel responden a las llamadas de los clientes, por lo cual las rutas cambian a diario. Las rutas puntuales se pueden establecer antes de enviar un vehículo para el día o en tiempo real. Las aplicaciones de rutas puntuales en tiempo real controlan la ubicación de los vehículos de recolección. Cuando se recibe una llamada, se envía el vehículo más cercano a la persona que llama y se genera un mapa de la ruta más corta hasta el cliente.^[11]

5.1.2. Software de mantenimiento de flotas

El reto de mantener registros y programar el mantenimiento preventivo se ha limitado considerablemente gracias al desarrollo de paquetes informáticos comerciales. Estos paquetes están disponibles en una amplia gama de precios, para operaciones que contemplan un puñado de vehículos o una flota de cientos. Del mismo modo que el *software* de rutas se está convirtiendo en un elemento esencial para que el gestor de recolección pueda realizar rutas eficaces, el *software* de mantenimiento se está transformando en la norma, y no en la excepción, para los gestores de mantenimiento de flota.

Existe una gama de soluciones de *software* que pueden proporcionar una visión general de todos los vehículos y otros activos que intervienen en las operaciones diarias de gestión de residuos. Al suscribirse a los datos de los geolocalizadores y los equipos de campo, los gestores pueden obtener visibilidad en tiempo real sobre su cartera, los conductores pueden disponer de rutas de conducción o notificaciones y el sistema logístico se puede optimizar.

5.2. Tecnologías relacionadas con los camiones

Por lo general, el *software* de gestión de residuos está diseñado para ayudar a los organismos gubernamentales locales y a las empresas de gestión de residuos a recoger y eliminar los residuos de forma más eficiente. Suele incluir servicios de facturación, soluciones de *tablets* a bordo, optimización de rutas, análisis y telemática. Estas tecnologías, que a menudo se basan en la computación en la nube, buscan agilizar el flujo de trabajo, reducir costos, disminuir los kilómetros recorridos por los vehículos (y, por lo tanto, las emisiones y los costos) y hacer el trabajo más seguro y eficiente.

Muchos transportistas y organismos municipales utilizan *software* de planificación de rutas para desarrollar trayectos de recolección eficientes que maximicen la productividad y acorten la distancia recorrida. Al reducir el número de kilómetros de las rutas, el proveedor también limita el uso de combustible, las emisiones y los costos. Cuando el *software* de planificación de rutas moderno se usa con sistemas GPS, ofrece a los prestadores de servicios una forma de controlar la ubicación de los camiones y garantizar que las rutas se ejecuten. Cuando se combina con

^[11] Con base en la lección 9 (Rutas de los camiones de recolección y tecnologías emergentes) de SWANA Managing MSW Collection Systems: <https://swana.org/training-certification/find-a-course/training-course/managing-msw-collection-systems>.

sensores de contenedores, el *software* puede proporcionar un sistema de trazabilidad digital, el cual facilita la comunicación en tiempo real entre el contenedor y un vehículo de recolección y entre el vehículo y la agencia/empresa que presta el servicio de recolección. Esto conduce a la eficiencia operativa, la responsabilidad y las mejores prácticas de recolección.

Un informe publicado recientemente en Monterrey (México), que resulta instructivo, pone de relieve tanto las oportunidades como los retos asociados a la mejora de la eficiencia de la recolección de residuos en ALC a partir del uso de estas herramientas. Con base en datos reales sobre residuos sólidos de Monterrey y un modelo matemático avanzado, el informe concluye que podría lograrse una reducción del 9% en las emisiones de GEI y del 20% en los kilómetros recorridos por los vehículos (Benítez-Bravo et al., 2021).

Un metaanálisis de 2018, que reunió aproximadamente 100 artículos, libros e informes sobre la recolección de residuos sólidos en los países en desarrollo, presenta una gran cantidad de datos e información acerca del uso de *software* de planificación de rutas. Tras examinar los diversos retos que enfrentan estos sistemas de recolección en los países en desarrollo, el informe concluye que “la planificación eficaz de rutas de los camiones de recolección” puede producir “un mayor rendimiento” (Sulemana et al., 2018). De igual forma, señala que la planificación de rutas adecuada “es uno de los componentes principales y esenciales de la gestión de residuos sólidos” y tiene repercusiones en “los costos laborales, operativos y de transporte, así como en la sociedad, debido a la contaminación de las carreteras y a los efectos negativos en la salud pública y en el ambiente” (ibid.). El informe nota que la investigación centrada en la optimización de la ruta de los camiones de recolección de residuos sólidos estudia la aplicación de diseños de sistemas óptimos mediante programación matemática, *software* especializado e incorporación de SIG para mejorar la eficacia del servicio de recolección.

5.2.1. Sensores de contenedores y chips de radiofrecuencia

Cada vez más municipios instalan sensores en los contenedores de residuos. Estos sensores, que suelen funcionar con energía solar, se comunican con el proveedor de servicios y le avisan que el contenedor está lleno. Los sensores suelen estar en contenedores de recolección pública y de residuos comerciales, aunque también se observa el uso más frecuente en contenedores residenciales y *roll off*. Los sensores permiten a los proveedores hacer un seguimiento del inventario y de la participación, así como verificar el servicio.

5.2.2. Telemática

Muchos transportistas y organismos municipales de países desarrollados colocaron sistemas telemáticos en los vehículos de recolección. La telemática consiste en el uso de dispositivos y tecnologías inalámbricas para transmitir datos en tiempo real desde un vehículo al propietario de este. Con los sistemas telemáticos, los prestadores de servicios pueden monitorear el consumo de combustible, el peso, la velocidad y otras métricas de rendimiento. Estos sistemas también pueden realizar un seguimiento del mantenimiento del vehículo y proporcionar información valiosa sobre la vida útil del vehículo y de los componentes individuales (por ejemplo, los neumáticos).

Según un artículo publicado recientemente en un importante medio especializado del sector de los residuos sólidos, la telemática supone un “cambio radical” para la industria de la recolección de residuos y el reciclaje. El artículo identifica seis beneficios tangibles asociados a la telemática para la recolección de residuos (Waste 360, 2021):

- 1) Reducción del 10%, o más, en el gasto de combustible en función de los datos de cada conductor, el uso de combustible, el ralentí, la aceleración repentina, el frenado brusco y la conducción fuera de la ruta.
- 2) Aumento del 12%, o más, en la productividad (número de clientes atendidos) al proporcionar información sobre los tiempos de parada del servicio, los tiempos de espera, los retrasos recurrentes y las comparaciones de la duración de los trayectos.
- 3) Disminución del tiempo de inactividad de los vehículos a partir de un mantenimiento preventivo que limita las reparaciones imprevistas y acota la pérdida de rutas y clientes.
- 4) Mayor calidad en el servicio al cliente debido a una mejor comunicación sobre los problemas del servicio, los tiempos de servicio más precisos y el progreso en la capacidad de respuesta ante las faltas de pago y situaciones especiales.
- 5) Identificación de comportamientos de conducción inseguros, como excesos de velocidad, aceleraciones repentinas y frenazos o giros bruscos, lo cual permite a los gestores orientar a los conductores para minimizar el riesgo de colisiones graves.
- 6) Datos sobre los objetivos de sostenibilidad ambiental relacionados con el uso de combustible y las emisiones.

La telemática es especialmente útil en organizaciones basadas en datos que aprovechan la información proporcionada por los sistemas en el camión y preparan a sus conductores para modificar algunos de sus comportamientos en la ruta. Además, es importante que los directivos se sientan cómodos con las soluciones digitales a los problemas operativos y de mantenimiento.

5.2.3. Camiones con combustible alternativo

La mayoría de los nuevos camiones de recolección de residuos puestos en servicio en Estados Unidos funciona con gas natural (GN).^[12] Los camiones con GN pueden ahorrar dinero en combustible, tienen emisiones más bajas (incluso de GEI) y ofrecen operaciones más silenciosas (DOE, 2014). Los camiones de GN generan menos emisiones que los camiones diésel tradicionales y suelen abastecerse en estaciones de servicio específicas que pertenecen al gobierno local o a un transportista. Cada vez más, el metano que se produce en los rellenos sanitarios se utiliza para alimentar camiones de GN, de modo que se crea un verdadero círculo cerrado (Tomich, Vos y Underwood, 2021; Johnston, 2019). Las grandes empresas de residuos sólidos de Estados Unidos están invirtiendo en sistemas para recoger y usar el gas natural “renovable” de los rellenos sanitarios en sus camiones de recolección.

Debido al bajo costo del gas natural en comparación con el diésel, las empresas encargadas de los servicios de recolección de residuos sólidos urbanos en algunas ciudades de ALC están incorporando a sus flotas vehículos con motores de GN. En Medellín, Colombia, Empresas Varias de Medellín modernizó parte de su flota en 2016 con la integración de 40 vehículos con motores de GN para prestar el servicio de recolección de residuos. Por su parte, la empresa Bioagrícola del Llano, que opera la gestión de residuos sólidos en la ciudad de Villavicencio (Colombia), renovó parte de su flota con siete nuevos vehículos compactadores de 14 toneladas de capacidad basados en GN bajo tecnología Euro VI. Esta tecnología ofrece una reducción significativa en la generación de ruido y emisiones, que se traduce en menor impacto ambiental: un 90% menos de humo, un 50% menos de material particulado, un 20% menos de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y un 80% menos de óxidos nitrosos (NOx).^[13]

^[12] Véase <https://ngvamerica.org/vehicles/refuse/>.

^[13] Véase Bioagrícola del Llano: <https://www.bioagricoladellano.com.co/>.

De igual manera, cada vez más ciudades de Canadá, Estados Unidos y Reino Unido están probando camiones de residuos eléctricos (EV) (RCI, 2021).^[14] Estos vehículos cuestan más de US\$500.000 cada uno y requieren estaciones de carga eléctrica que también son costosas (los tiempos de carga promedio de los camiones eléctricos suelen ser de dos a siete horas). En ese sentido, algunos de los aspectos más importantes al evaluar los camiones de recolección eléctricos son la carga útil, la autonomía y el costo total. Aunque el precio de compra es elevado, los costos energéticos y de mantenimiento son comparativamente inferiores a los de los camiones diésel. Es posible que las ciudades de ALC quieran monitorear las tendencias en el uso de camiones eléctricos para considerar la posibilidad de un programa piloto en el futuro.

Río de Janeiro comenzó a utilizar EV para recolección de residuos a finales de 2019, cuando la Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (COMLURB) añadió nueve camiones eléctricos a su flota. Los camiones se emplean para la recolección de residuos en una de las mayores áreas metropolitanas de Brasil. Estos camiones cuentan con una capacidad de almacenamiento de 15 metros cúbicos, poseen bajos niveles de ruido, lo cual los hace ideales para rutas nocturnas en zonas residenciales; tienen una capacidad de emisiones netas cero, que crea un entorno de vida más saludable para los residentes de la ciudad y mejores condiciones de trabajo para los recolectores de residuos.^[15]

5.2.4. Cámaras de retroceso

Uno de los tipos más comunes de accidentes o siniestros en la recolección de residuos sólidos se produce con camiones que van en reversa. La mayoría de los camiones de recolección da marcha atrás en algún momento de su trayecto, y la visibilidad detrás del camión es limitada. Por ello, muchas empresas de recolección de residuos sólidos de países desarrollados han instalado en sus flotas cámaras de retroceso que proporcionan al conductor una línea de visión detrás del camión. Estas cámaras ayudan a evitar accidentes y lesiones. Con un número creciente de peatones distraídos por los teléfonos móviles, tener una cámara de retroceso y una alarma sonora de marcha atrás en un camión es cada vez más importante.

5.2.5. Cámaras en cabina

Una de las innovaciones de seguridad más significativas introducidas en la última década en el sector de residuos sólidos en Estados Unidos es la instalación de cámaras en el interior de la cabina de los vehículos de recolección de residuos. Las cámaras están orientadas hacia el conductor y la parte delantera del camión. Se conectan al sistema telemático del camión y, en general, se programan para grabar un breve período antes y después de un suceso. Los eventos pueden ser seleccionados por el proveedor de servicios y suelen incluir colisiones, paradas repentinas, giros bruscos, exceso del límite de velocidad y otras variables. Las cámaras sirven para varios fines importantes. En primer lugar, el conductor del camión tendrá menos probabilidades de incurrir en comportamientos inseguros como enviar mensajes de texto, hablar por el teléfono móvil o no usar el cinturón de seguridad. En segundo lugar, la cámara orientada hacia el exterior provee un vídeo que puede ayudar a resolver disputas sobre la causa de un accidente. Muchas quejas o reclamos de otros conductores implicados en accidentes de recolección de residuos se han resuelto favorablemente gracias a las pruebas de vídeo suministradas por estas cámaras. En tercer lugar, si un conductor llega a las instalaciones de un cliente y el contenedor de residuos está repleto o se encuentra en un sitio equivocado, puede utilizar la cámara para tomar una fotografía que lo documente. Esto puede ser una valiosa herramienta de servicio al cliente.

^[14] Véase <https://www.transportation.gov/rural/ev/toolkit/ev-basics/charging-speeds>.

^[15] Véase <https://bydelectrico.com/ec/2019/10/07/byd-entrega-a-rio-de-janeiro-la-mayor-flota-de-camiones-de-residuos-electricos-fuera-de-china/>.

Las empresas y los gobiernos locales que han instalado cámaras en la cabina de sus vehículos de recolección y las han combinado con la telemática han observado reducciones drásticas en los comportamientos de conducción inseguros. Un proveedor ha reportado un descenso del 59%-75% en distracciones, exceso de velocidad, fatiga y distancias de seguimiento cortas, que pueden promover costosas colisiones (Redling, 2018). Otros proveedores han informado una disminución de más del 50% en comportamientos inseguros tras la instalación.

5.2.6. Básculas

En los países desarrollados, algunos camiones disponen de básculas que le permiten al operador conocer el peso del vehículo mientras recoge los residuos. En la mayoría de estos países es ilegal conducir un camión que supere un determinado peso. Por ejemplo, en Estados Unidos, los límites federales son 80.000 libras de peso bruto del vehículo, 20.000 libras en un solo eje y 34.000 libras en un eje tándem.^[16] El sobrepeso de los camiones está correlacionado con mayores daños a las carreteras y autopistas, y más distancia de frenado.

Es posible que la información sobre el peso de los residuos sólidos de un cliente concreto, medido por la báscula del camión, pueda utilizarse como mecanismo de recuperación de costos por parte de los proveedores de servicios locales. Esto puede ser particularmente efectivo si existe una tarifa aplicable.

En la región, Isbel tiene en ejecución proyectos piloto en Montevideo, Uruguay, en los que se utilizan diferentes tipos de básculas en el camión compactador de recolección y en los elevadores de contenedores y se analizan las mejores opciones para el proveedor del servicio.

5.3. Buenas prácticas relacionadas con el sistema

5.3.1. Mejora de la recolección de datos: Estudios sobre la composición de los residuos

Para hacer una planificación adecuada de la gestión de residuos sólidos, que incluya el tamaño y la ubicación de las instalaciones de tratamiento y disposición final de residuos y el número de camiones y trabajadores necesarios, es esencial conocer la cantidad y los tipos de residuos que se generan. Muchos estados y gobiernos locales de Estados Unidos han realizado estudios sobre la composición de los residuos con el fin de que las decisiones de políticas y las inversiones sean informadas.^{[17][18]}

Aunque se recomienda hacer estudios de composición de residuos cada cinco años, las limitaciones financieras suelen dificultar la realización de estos estudios con esa frecuencia. Por lo general, en un estudio de composición de residuos se miden los siguientes parámetros:

- 1) Porcentaje de materiales reciclables (por ejemplo, latas de metal, cartón, vidrio, plástico y otros materiales reciclables).
- 2) Porcentaje de residuos de alimentos y otros materiales orgánicos.
- 3) Porcentaje de residuos electrónicos (ordenadores, teléfonos móviles, televisores, etc.).

^[16] Véase <https://worldpopulationreview.com/state-rankings/truck-axle-weight-limits-by-state>.

^[17] Véase <https://www.seattle.gov/utilities/about/reports/solid-waste/composition-studies>.

^[18] Véase <https://www.pca.state.mn.us/air-water-land-climate/understanding-solid-waste>.

Al realizar un estudio sobre la composición de los residuos es importante considerar las variaciones diarias y estacionales. Esto se consigue mediante el muestreo de residuos en diferentes estaciones, así como en distintos días de la semana. Un estudio de composición de residuos de alta calidad identificará las diferentes cantidades de materiales generados en los distintos barrios y proporcionará información sobre el grado de éxito de una comunidad al desviar los materiales reciclables de los rellenos sanitarios. Como se ha señalado, en la actualidad las tecnologías digitales como BI y AI se emplean para predecir la generación de residuos a partir de datos históricos y algoritmos relacionados con los patrones de población.

5.3.2. Cámaras de vigilancia públicas

En la mayoría de las grandes ciudades hay un sistema de cámaras públicas y privadas que graban lo que ocurre en muchas calles. Estas cámaras no están conectadas en red, pero ofrecen algunas utilidades, ya que pueden mostrar actividades ilegales o ayudar a investigar un accidente. Por ejemplo, en algunas ciudades, el departamento de policía local y la agencia gubernamental regulan la recolección de residuos sólidos y habitualmente solicitan vídeos de las cámaras de seguridad con imágenes de accidentes en los que están implicados camiones de recolección.

Las cámaras también pueden ayudar a impedir vertidos ilegales. Tanto en los países desarrollados como en los que están en desarrollo, los vertederos ilegales constituyen un grave problema por los peligros que generan para el medioambiente y la salud pública. En Estados Unidos, gran parte de la disposición ilegal de residuos ocurre a la noche y a manos de residentes que utilizan automóviles, por lo cual la lectura de matrículas que permiten las grabaciones de vídeo constituye una herramienta crucial para identificar a los infractores.

5.4. Buenas prácticas en materia de instalaciones de residuos sólidos

5.4.1. Estaciones de transferencia y enfoques regionales de gestión de residuos

En las últimas décadas, un porcentaje cada vez mayor de los residuos de Canadá y Estados Unidos se transfiere de los camiones de recolección a camiones de larga distancia más grandes o vagones de ferrocarril que transportan los desechos a sitios de tratamiento o disposición final. Esta operación se realiza en instalaciones denominadas estaciones de transferencia. Así se ahorran costos, se consume menos combustible y se reduce el impacto ambiental (menos camiones que hacen el trayecto al relleno sanitario). Las estaciones de transferencia suelen estar situadas en ciudades cercanas a las principales autopistas para minimizar el impacto del acceso de los camiones en empresas y residentes aledaños.

El crecimiento de las estaciones de transferencia refleja un mayor enfoque regional de la gestión de residuos sólidos en Canadá y Estados Unidos. A medida que las ciudades y los condados cerraron sus antiguos rellenos sanitarios, estos fueron sustituidos por un enfoque regional en el que varias comunidades, a menudo situadas en distintos estados, envían sus residuos o materiales reciclables a instalaciones de procesamiento modernas y bien ubicadas. Por ejemplo, en la zona de Washington, D.C., los materiales reciclables de Maryland, Virginia y el Distrito de Columbia se procesan en la misma instalación de reciclaje situada en Maryland. Aunque en ocasiones las estaciones de transferencia y las instalaciones de reciclaje están en propiedades adyacentes, no es lo habitual. Esto se debe a que la empresa propietaria y operadora de la estación de transferencia no suele ser la misma que la propietaria y operadora de la instalación de reciclaje. Sin embargo, cuando un gobierno local posee y opera la estación de transferencia de residuos sólidos y la instalación de reciclaje es más probable que estas instalaciones se encuentren en la misma ubicación.

Hay gobiernos locales de Estados Unidos que han optado por colaborar formalmente en cuestiones de gestión de residuos sólidos. En algunos estados, los condados se unieron para constituir “autoridades” o “distritos” regionales de residuos, que son responsables de la gestión de residuos sólidos en esas localidades. En Ohio, 15 de los 52 distritos de gestión de residuos sólidos tienen a cargo varios condados (Ohio EPA, 2017). En dos estados pequeños, Delaware y Rhode Island, existe una autoridad de residuos sólidos a nivel estatal responsable de la eliminación de residuos sólidos en esos estados.

El concepto de Autoridad Nacional de Gestión de Residuos Sólidos (NSWMA, por sus siglas en inglés) no es totalmente ajeno a ALC. Belice y varios países caribeños tienen autoridades de este tipo. En Barbados, la Autoridad de Servicios de Saneamiento, que implementó nuevos contenedores con RFID para el servicio de recolección residencial en 2021, gestiona los residuos sólidos en la isla. En Jamaica, la NSWMA presta servicios de gestión de residuos sólidos, como recolección de residuos residenciales y comerciales, compostaje y disposición final. En Santa Lucía funciona la Autoridad de Gestión de Residuos Sólidos, que presta servicios de recolección y gestiona dos instalaciones de tratamiento de residuos en la isla.^[19] También hay una Autoridad de Gestión de Residuos que cubre las Islas Vírgenes de Estados Unidos e incluye rellenos sanitarios, puntos de recolección y una estación de transferencia.^[20]

En Estados Unidos, casi todos los estados reciben residuos de otros estados y los envían a otros estados. Algunas ciudades norteamericanas envían sus residuos a rellenos sanitarios lejanos, en otros estados que están a cientos de kilómetros (por ejemplo, Boston, Nueva York, Toronto, Washington, D.C.). Por lo general, esto se debe a que la disposición en los rellenos sanitarios de esos estados es menos costosa de lo que sería en sitios más cercanos a las localidades urbanas densamente pobladas.

5.4.2. Instalaciones de recuperación de materiales

En las últimas décadas se ha producido un crecimiento significativo del número de instalaciones de reciclaje en Estados Unidos. Estas instalaciones desvían los residuos de los rellenos sanitarios y colocan los materiales recuperados en la economía circular. De esa manera, se protege el ambiente, se preserva la capacidad de los rellenos sanitarios, se reducen las emisiones de GEI y se crean puestos de trabajo. Varias empresas privadas están realizando importantes inversiones en infraestructura de reciclaje en Estados Unidos. Por ejemplo, Waste Management anunció recientemente su intención de invertir US\$800 millones para mejorar sus instalaciones de reciclaje en Estados Unidos y Canadá para 2025 (Rosengren, 2022).

Cerca del 24% de los residuos sólidos urbanos que se recogen en Estados Unidos se recicla y alrededor del 8% se convierte en abono, según el informe de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), *Hechos y cifras sobre materiales, residuos y reciclaje*.^[21] El informe de la EPA contiene muchos datos sobre generación de residuos, reciclaje, disposición en rellenos sanitarios, conversión de residuos en energía y gestión de materiales. La mayoría de las instalaciones de reciclaje más nuevas de Estados Unidos corresponde a instalaciones de recuperación de materiales (MRF, por sus siglas en inglés) de “flujo único”. Por “flujo único” se entiende que el residente o el propietario de una empresa depositan diversos materiales reciclables en un único contenedor para su recolección. Estas instalaciones suelen

^[19] Véase <https://www.sluswma.org/>.

^[20] Véase <http://www.viwma.org/index.php>.

^[21] Véase <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials#NationalPicture>.

recibir una mezcla de papel, plástico, metal y vidrio desechados que transforman a través de una variedad de procesos mecánicos y humanos para generar materiales de calidad básica que se venden a los mercados finales.

Cada vez más MRF en Canadá, Estados Unidos y Europa introducen la robótica y la IA para mejorar la eficiencia (Quinn, 2021). El aumento de la escasez de mano de obra en Estados Unidos ha hecho crecer el atractivo de los robots para algunas MRF, aunque esto puede ser menos problemático en ALC. Un pequeño porcentaje de los sistemas de recolección a pie de vereda y las MRF de Estados Unidos es de “doble flujo”. En un sistema de doble flujo, el papel y el cartón se recolectan y se procesan aparte de otros reciclables desechados.^[22] Los defensores del doble flujo afirman que este sistema reduce la contaminación y da como resultado material de mayor calidad (Deer, 2021).^[23]

En un número creciente de comunidades de Estados Unidos, los sistemas de reciclaje a pie de vereda ya no recogen el vidrio (Farnsworth, 2021; Jacoby, 2019).^[24] En su lugar, se pide a los residentes que lleven las botellas de vidrio a puntos de recolección específicos. De esta forma el vidrio se separa de otros materiales reciclables, lo cual disminuye los costos de procesamiento, los de transporte (el vidrio es pesado) y los de mantenimiento en las MRF (el vidrio daña el equipo) e incrementa el valor del vidrio y de los demás materiales reciclados. Por ejemplo, en Virginia, varias ciudades y condados vecinos, con una población total de casi 2 millones de personas, en 2019-20 decidieron de forma conjunta dejar de aceptar vidrio en su recolección de reciclaje en la acera (Fenston, 2020).^[25] Del mismo modo, varias comunidades cercanas a Pittsburgh, Pensilvania, no aceptan vidrio en la acera y, en cambio, alientan a los residentes a llevar sus botellas de vidrio a un punto de entrega central (Koscinski, 2022).

^[22] Véase <https://www.montgomerycountymd.gov/SWS/recycling/dual-stream.html>.

^[23] Este artículo afirma que algunos gobiernos locales están pasando del flujo único al doble en respuesta a la evolución de los mercados del reciclaje.

^[24] Según el Glass Packaging Institute, el número de comunidades que retiraron el vidrio de los programas de recolección de reciclaje en acera disminuyó en 2022.

^[25] Véase “Glass Recycling Pilot Program” de la ciudad de Falls Church Virginia en <https://www.fallschurchva.gov/2038/Glass-Recycling-Pilot-Program>.

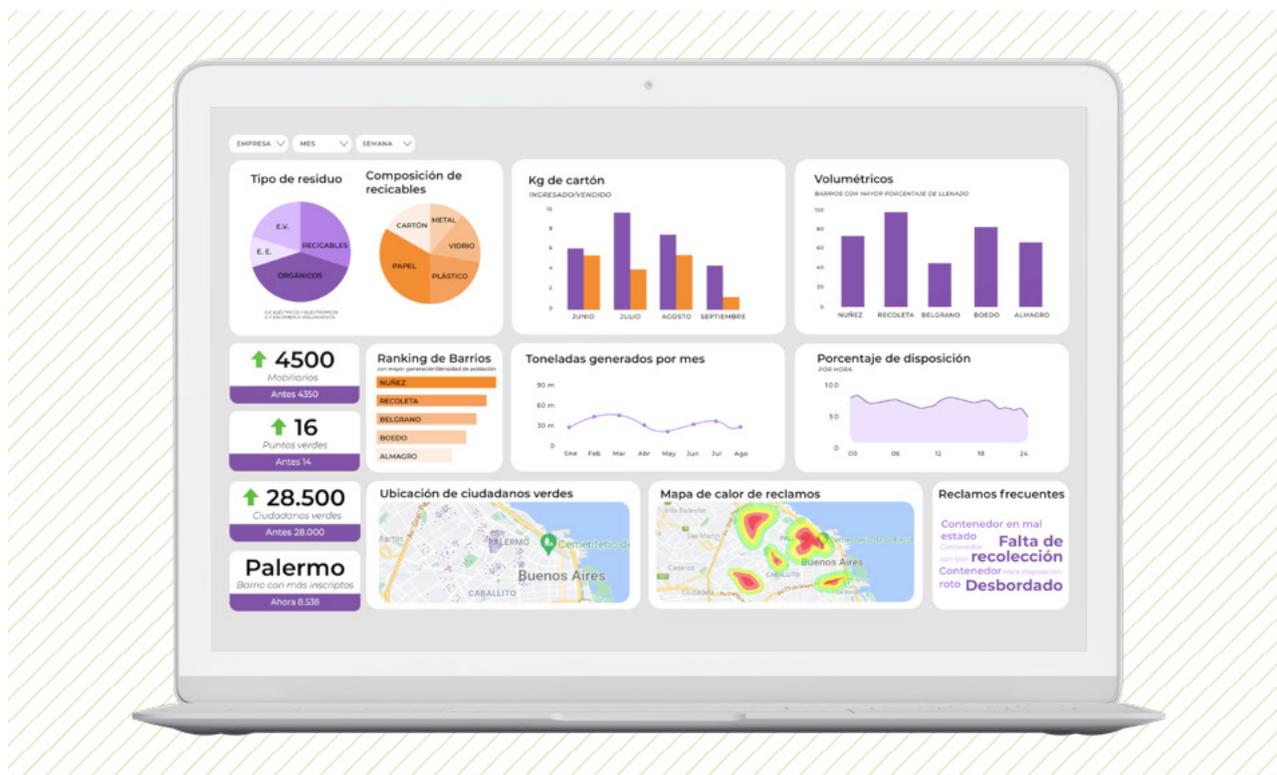
6. Estudios de casos

6.1. Argentina: Seguimiento del servicio de recolección

América Latina y el Caribe tiene experiencia en el uso de sistemas digitales y análisis de datos desarrollados e implementados por varios operadores especializados en sistemas de gestión y medición para mejorar la eficiencia de las operaciones de gestión de residuos sólidos. En Argentina, municipios como Buenos Aires, Rosario y San Miguel ya emplean SWT en geolocalización y sensores de volumen en contenedores de residuos, digitalización de planes de trabajo, diseño e implementación de rutas inteligentes de recolección, telemetría para mantenimiento de equipos y aplicaciones móviles para certificación de operaciones, entre otras tareas.

La digitalización de la información generada permite la integración de sistemas, la centralización de la información para el control en línea y la creación de tableros con KPI a fin de lograr una mejor toma de decisiones. Además, se han incorporado indicadores que contribuyen al cuidado del ambiente, como la medición de la huella de carbono y el fortalecimiento de la conciencia ambiental, a efectos de alcanzar la recolección diferenciada y el procesamiento y venta de los materiales obtenidos para promover así la economía circular.^[26]

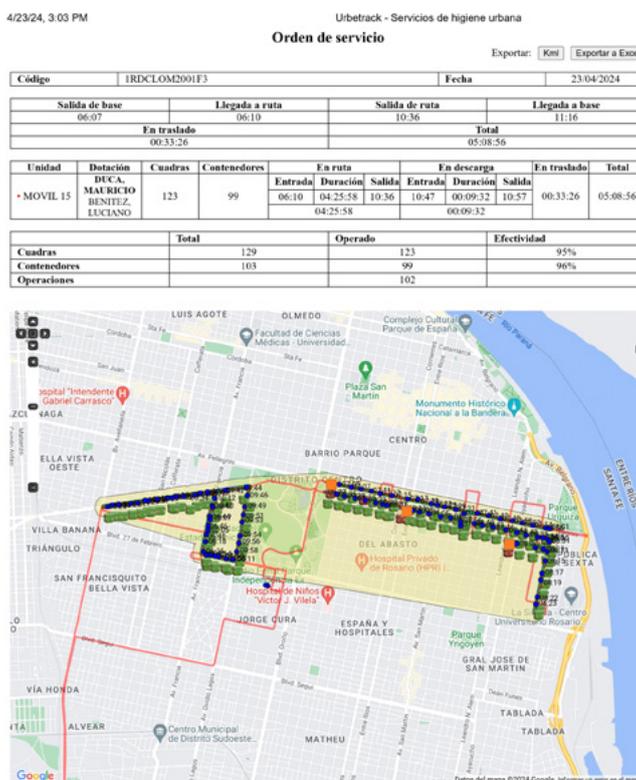
Gráfico 6. Cuadro de mando del servicio de recolección de residuos de la ciudad de Buenos Aires



Fuente: Entrevista personal a Gabriela Yael Spector, gerente de Producto de Urbetrack, realizada por Paula Guerra, el 23 de noviembre de 2023.

^[26] Entrevista personal a Gabriela Yael Spector, gerente de Producto de Urbetrack, realizada por Paula Guerra, el 23 de noviembre de 2023.

Gráfico 7. Orden de servicio de recolección de residuos de la Municipalidad de Rosario



Fuente: Entrevista personal a Gabriela Yael Spector, gerente de Producto de Urbetrack, realizada por Paula Guerra, el 23 de noviembre de 2023.

6.2. Ecuador: Empresa Pública Municipal de Residuos Sólidos de Rumiñahui

En Ecuador, la Empresa Pública Municipal de Residuos Sólidos de Rumiñahui (EPAR) inició su transición a la digitalización en 2021. Con una inversión menor de US\$20.000 en tecnologías digitales y con desarrollo “in house” ha logrado digitalizar su operación, diversificar sus servicios y aumentar su eficiencia. La empresa de servicios públicos necesitaba estandarizar sus procesos para determinar las tecnologías adecuadas a su realidad y optimizar los costos de implementación.

Las herramientas tecnológicas que adoptó la empresa son fáciles de manejar para los operadores y los ciudadanos. Por ejemplo, las tecnologías están ancladas a teléfonos inteligentes (smartphones) y ofrecen un acceso simple para los usuarios. El proveedor de servicios implementó un sistema de telemetría para el mantenimiento de la flota y los contenedores, la digitalización de los calendarios de trabajo y canales de comunicación y atención al cliente. La incorporación de códigos QR para la comunicación del estado de los contenedores por parte de los ciudadanos optimizó el servicio de mantenimiento y aumentó en un 62% la eficiencia por día de trabajo, al pasar de un promedio de 22 contenedores atendidos al día a 36.

Gráfico 8. Sistema de recolección mediante tecnologías digitales



Fuente: Entrevista personal a Pablo Moreno, gerente de Operaciones de la Empresa Pública Municipal de Residuos Sólidos de Rumiñahui (EPAR), realizada por Paula Guerra, 1 de junio de 2023.

Gráfico 9. Sistema de mantenimiento del parque de vehículos



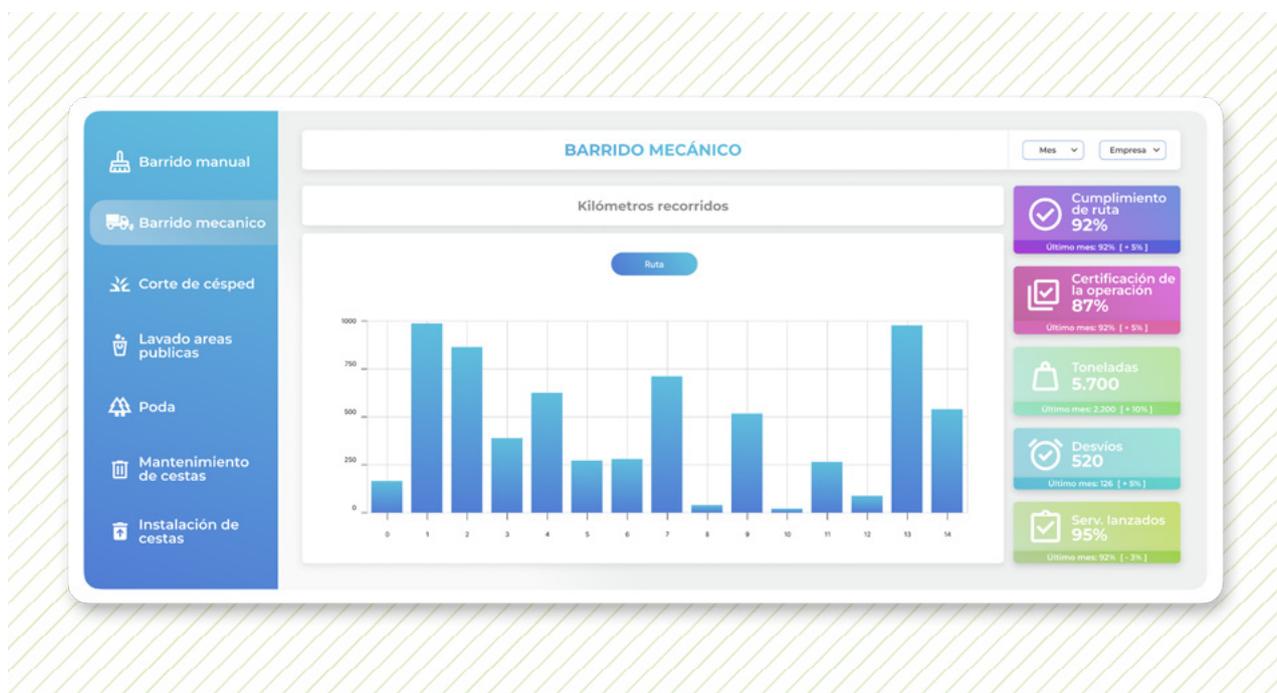
Fuente: Entrevista personal a Pablo Moreno, gerente de Operaciones de la Empresa Municipal de Residuos Sólidos de Rumiñahui (EPAR), realizada por Paula Guerra, 1 de junio de 2023.

6.3. Colombia: Piloto en servicios de limpieza y barrido con tecnologías inteligentes de residuos

Durante el segundo semestre de 2023 se realizó un piloto de SWT en actividades de barrido y limpieza en tres ciudades de Colombia: Chía, Medellín y Soacha. Las tres ciudades presentan diferencias socioambientales y geográficas que fueron consideradas al crear una muestra representativa de la prestación del servicio.

Se efectuó una revisión de las actividades de barrido y limpieza, del estado de digitalización de la planificación de rutas, de los KPI y de los equipos a disposición de los proveedores de servicios. A partir de esta información, se instaló el *hardware* necesario: i) GPS en barredoras mecánicas, ii) GPS portátil para barrido manual y iii) sensores en equipos de barrido mecánico, corte de césped y limpieza de espacios públicos (hidrolavado). Tras digitalizar e instalar el *hardware*, se controló todo el ciclo logístico de limpieza en cuanto a puntualidad, tiempo y kilómetros, kilogramos recogidos, etc. El análisis de estos datos proporcionó un indicador de eficacia (porcentaje de cumplimiento del servicio con base en la comparación de lo planificado y lo realizado) en el uso de tecnologías digitales. Esta información se refleja en cuadros de mando por tipo de actividad que permiten medir tendencias y mejorar la toma de decisiones.

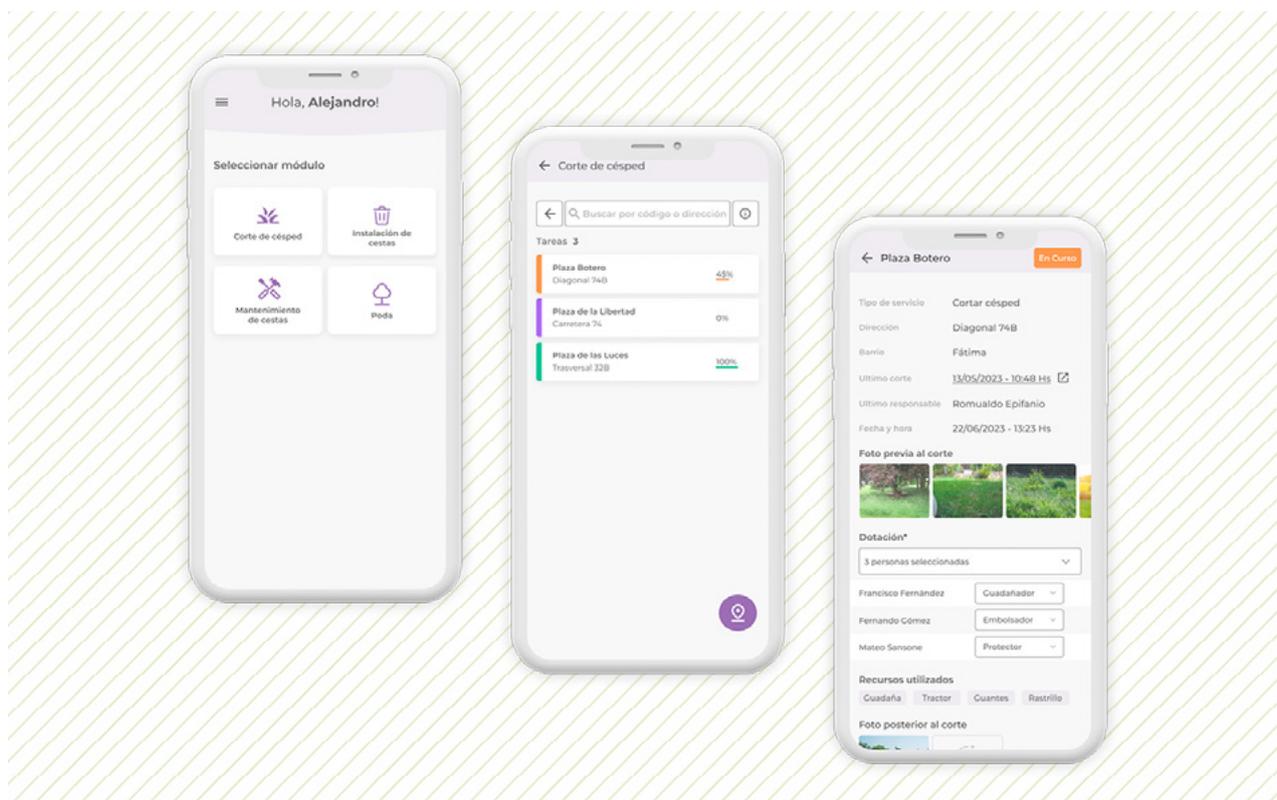
Gráfico 10. Cuadro de mando con indicadores clave de rendimiento relevantes a partir de tecnologías digitales



Fuente: Entrevista personal a Gabriela Yael Spector, gerente de Producto de Urbetrack, realizada por Paula Guerra, el 13 de marzo de 2024.

Para garantizar una certificación satisfactoria y fiable de las actividades de limpieza urbana, se propuso el desarrollo de una aplicación móvil, centralizada en la plataforma web de seguimiento de flotas e integrada a ella. Los usuarios finales de esta aplicación serían los gestores del servicio de limpieza. La información estaría digitalizada y sería muy útil para mejorar la toma de decisiones.

Gráfico 11. Visualización de la aplicación móvil propuesta para los servicios de limpieza



Fuente: Entrevista personal a Gabriela Yael Spector, gerente de Producto de Urbetrack, realizada por Paula Guerra, el 13 de marzo de 2024.

En consonancia con lo observado en los casos de ALC que utilizan tecnologías digitales en los servicios de limpieza, se determinaron los siguientes beneficios:

- **Proveedor de servicios de limpieza:** Un 30% de optimización en el plan de trabajo, que se evidencia en una disminución de kilómetros recorridos, ahorro en el uso de combustible y pago de horas extras de trabajo. En otras palabras, este tipo de plataforma acaba amortizándose.
- **Entidades gubernamentales (reguladoras):** La digitalización posibilita el control en línea del servicio, la verificación de las frecuencias acordadas y la medición de su eficacia, lo cual podría permitirles a las administraciones pagarles a las empresas por el servicio prestado realmente, en el caso de contratistas, y evitar cantidades fijas. Además, pueden realizar inspecciones preventivas a través de la aplicación móvil, lo cual genera un descenso del 25% en el número de quejas o reclamos por parte de los ciudadanos.
- **Ciudadanos (usuarios finales):** La mejor calidad del servicio y los beneficios ambientales también son importantes, ya que conducen a una caída en la emisión de los gases CO₂ mayor del 10%, así como a una menor contaminación acústica y una reducción del tráfico.

Las tecnologías inteligentes de residuos integran las propuestas multisectoriales para construir ciudades inteligentes. Estas se centran en comprender los hábitos y patrones de comportamiento de los ciudadanos para satisfacer sus necesidades de forma sostenible. Las nuevas tecnologías mediadas por dispositivos de IoT proporcionan información valiosa para mejorar la gestión de residuos y optimizar la toma de decisiones estratégicas y eficientes.

6.4. Colombia: Funcionamiento del servicio público de gestión de residuos sólidos en Bogotá

Algunas ciudades de ALC tomaron medidas para digitalizar la gestión de residuos sólidos. Es el caso de Bogotá, Colombia, donde se implementó el Sistema de Información para la Gestión y Operación del Servicio Público de Aseo (SIGAB), a fin de consolidar la información sobre la operación y gestión del servicio prestado por los concesionarios en cada área del manejo de residuos sólidos. La información está disponible en tiempo real, lo cual facilita el monitoreo de las actividades de los diferentes prestadores de servicios de manera oportuna y eficiente.

El SIGAB permite consolidar la información sobre los servicios de gestión de residuos sólidos y acercar a los ciudadanos a los prestadores de servicios de Bogotá de forma transparente por medio de diversas herramientas digitales, como las que se detallan a continuación:

- La *Ventanilla Única del Servicio Público de Aseo (VUSPA)*: Portal único del servicio público de gestión de residuos sólidos, donde los usuarios pueden comunicarse con la empresa, introducir quejas, presentar reclamaciones y solicitudes y consultar las rutas y los horarios de recolección de residuos.
- Aplicación: Herramienta para que los ciudadanos puedan acceder a todo el sistema desde cualquier lugar; además, es un mecanismo de atención al cliente. La aplicación se puede descargar para Android e iOS.
- Datos abiertos: Acceso a la información pública relativa a la prestación de servicios.
- Portales: Para acceder a las noticias de forma ágil y sencilla.
- Cuadros de mando: Para visualizar de forma interactiva rutas de recolección y datos estadísticos relacionados con la prestación de servicios.
- Chat: Para comunicarse en tiempo real con los responsables del sistema y el servicio de atención al cliente.

Los sistemas SIGAB habilitan un centro de seguimiento con capacidad para rastrear en tiempo real toda la flota de recolección de residuos y limpieza de cada concesionario. El sistema muestra la posición geográfica y la localización exacta del vehículo y ofrece información sobre el monitoreo del tiempo de ruta, la velocidad, el consumo de combustible por kilómetro recorrido, el control de la salida de la zona/área de servicio de recolección, entre otros. El sistema de información del concesionario está basado un 100% en la web. Del mismo modo, los prestadores de servicios disponen de un sistema automático de gestión del mantenimiento correctivo y preventivo de toda la flota de vehículos utilizados para la ejecución del contrato de saneamiento.

En relación con la administración financiera y comercial, los concesionarios cuentan con sistemas que soportan todos los procesos financieros y comerciales para una óptima gestión del servicio de manejo de residuos sólidos de Bogotá.

Además, el sistema permite que las entidades reguladoras tengan acceso a toda la información sobre las actividades del servicio de gestión de residuos sólidos en Bogotá. Y posibilita la coordinación de todas las partes involucradas en la generación de residuos (residenciales, comerciales, multiusuarios, pequeños productores) a través del registro, la actualización de la información y la consulta de los diferentes actores.

El SIGAB garantiza que el servicio de recolección de residuos en Bogotá se realiza en los términos del contrato, de forma eficaz, eficiente y transparente para los ciudadanos, y asegura la supervisión de las autoridades reguladoras.

6.5. Barbados: Identificación por radiofrecuencia en contenedores residenciales

En Barbados, y otros lugares del Caribe, los residentes reciben contenedores con chips de identificación por radiofrecuencia (RFID) para los residuos y el reciclaje. El ejemplo de Barbados es un oportuno estudio de caso para que otros países de ALC consideren.

En 2021, la autoridad nacional de residuos sólidos de Barbados distribuyó contenedores de residuos y papeleras de reciclaje con chips RFID a más de 100.000 clientes residenciales, y se instalaron lectores RFID en los vehículos de recolección a fin de realizar un seguimiento de la frecuencia del servicio. Con estas acciones la autoridad pretendía obtener datos procesables útiles para introducir cambios en las rutas con el objetivo de reducir costos y mejorar la eficiencia (News Americas Now, 2021).

Los primeros resultados de estas medidas adoptadas en el sistema de recolección de residuos residenciales de Barbados son muy positivos. La tecnología RFID provee datos útiles a las autoridades sobre la cantidad de residuos y materiales reciclables que se recogen, los cuales condujeron a un cambio en las rutas y a una reducción del número de camiones utilizados, así como a una disminución de emisiones y costos. Al principio, algunos vecinos se resistieron a colocar un dispositivo de seguimiento en su contenedor de residuos o reciclaje, pero esta oposición fue, en gran medida, superada. También hubo cierta renuencia al cambio a nivel de autoridades, pero la colaboración con una prestigiosa empresa del sector privado, que formó a los empleados del organismo y a otras personas, les permitió a los trabajadores ver mejoras que los ayudaron a adaptarse al nuevo sistema. La empresa que cooperó con la autoridad del área de gestión de residuos de Barbados para implementar el uso de RFID en la recolección de residuos está iniciando un esfuerzo similar en San Cristóbal.

Paralelamente a la implantación de la RFID, en noviembre de 2021 se inició en Barbados una campaña contra los residuos. “Don’t Waste Barbados” contó con varios socios corporativos y gubernamentales, propició acciones de limpieza en playas, hizo un uso intensivo de los medios de comunicación locales y redes sociales e impulsó un novedoso programa piloto en el que 300 escolares geoetiquetaron los residuos encontrados en todo Barbados.^[27] Combinar los mensajes contra los residuos con la modernización de los sistemas de recolección domiciliaria puede ser una forma eficaz de implicar a los residentes y a otras personas y animarlos a apoyar estos cambios y objetivos.

6.6. Estados Unidos: Planificación de rutas de recolección en Charlotte

Charlotte es la ciudad y el centro comercial más grande de Carolina del Norte. Además de proveer servicios de recolección de residuos semanales, de desechos mixtos y residuos de jardín, por ejemplo, los Servicios de Residuos Sólidos (SWS, por sus siglas en inglés) de la ciudad de Charlotte ofrecen prestaciones adicionales, como la recolección de residuos de pequeñas empresas, la recolección de residuos voluminosos y la recolección de animales muertos cuando

^[27] Véase “Don’t waste Barbados: The anti-littering initiative that’s pro-Barbados”, en <https://www.dontwastebarbados.com/>.

lo solicitan los residentes. Desde 2018, SWS utiliza un nuevo *software* para la planificación de rutas de recolección y la programación de este servicio (OptimoRoute, 2020). La ciudad debe planificar y programar hasta 2.000 paradas para 15 vehículos cada día. El uso del nuevo *software* ha permitido reducir el tiempo de planificación de rutas de recolección de seis horas a dos horas al día. Una característica clave del programa es la facilidad con que pueden insertarse paradas en rutas ya planificadas. Al acortar el proceso de planificación de rutas de recolección de residuos, el personal municipal puede dedicar más tiempo a otras responsabilidades, como la comunicación con los conductores y la gestión de las consultas del servicio de atención al cliente. Además, como el nuevo *software* está basado en la nube, varios usuarios pueden acceder a él desde cualquier ordenador. Los servicios de recolección de residuos de la ciudad de Charlotte utilizan muchos programas y sistemas informáticos, y se ha comprobado que este nuevo *software* se integra a la perfección con los programas existentes. Como resultado, los empleados de la ciudad encuentran que todo el proceso de flujo de trabajo funciona de forma muy eficiente. El nuevo *software* minimiza la introducción manual de datos y proporciona a la ciudad una orden de servicio de recolección de residuos completamente automática.

7. Recomendaciones

La implementación de tecnologías probadas o emergentes y prácticas innovadoras para la recolección de residuos sólidos en ALC proporciona varios beneficios importantes, que incluyen sistemas de recolección más eficientes, mayor reciclaje y desvío de residuos, menor impacto sobre el medioambiente y mejor desempeño en seguridad. Además, estas tecnologías permiten la digitalización del sector, lo cual repercute en la recopilación y el análisis de datos para una mejor toma de decisiones y una prestación de servicios más eficiente.

En cuanto al uso de herramientas de BI, para elegir la opción de instalación de *software* adecuada es fundamental considerar la madurez digital de los proveedores de servicios de gestión de residuos, en términos de acceso a Internet, *hardware*, equipamiento e infraestructura. A continuación, se presenta una clasificación general de la madurez digital de los proveedores de servicios:

- **Etapas inicial:** Los proveedores de servicios utilizan métodos manuales para diseñar las rutas de recolección de residuos sólidos y para recopilar, almacenar y analizar los datos de recolección de residuos sólidos. No existen recursos de capacidad SIG en estas operaciones. En consecuencia, se recomienda centrar los esfuerzos en la transición hacia el uso de sistemas informatizados de recopilación y almacenamiento de datos y planificación de rutas, como primer paso, y considerar el uso de herramientas de BI una vez que esta transición se haya completado.
- **Etapas media:** Es probable que en esta etapa los proveedores de servicios dispongan de sistemas informatizados de recopilación de datos y de planificación de rutas, así como acceso a recursos SIG. También es posible que el personal tenga conocimientos informáticos y que cuente con servicios de Internet. Por último, es presumible que los servicios operativos utilicen ordenadores para recopilar y almacenar los datos del servicio y para planificar y programar las rutas de los vehículos de recolección de residuos sólidos. Por consiguiente, se sugiere concentrar las acciones en la transición de los sistemas informáticos actuales basados en silos a sistemas integrales y avanzados de gestión de colecciones digitales. Los gestores deben informarse sobre la disponibilidad y las capacidades de las herramientas de BI. Sin embargo, también deben comprender que es probable que la transformación digital de sus sistemas requiera tiempo y dinero y deben estar preparados para realizar estas inversiones.
- **Etapas avanzada:** En esta etapa, los proveedores de servicios tienen plena capacidad SIG y excelentes servicios de Internet, así como personal altamente capacitado en tecnologías de la información y de la comunicación. Estas entidades se encuentran en una buena posición para explorar las prestaciones y los beneficios que las herramientas de BI pueden aportar a sus sistemas de recolección de residuos y para desempeñar papeles clave en su economía circular.

Cuando los proveedores de servicios de gestión de residuos se plantean incorporar innovaciones a los sistemas de recolección de residuos que incluyan la implantación de SWT y la transición a la digitalización, deben realizar una evaluación objetiva de su capacidad local para garantizar el éxito de la aplicación y asegurar una fuente de financiamiento fiable a largo plazo para apoyar el proceso. La población difiere significativamente entre países y dentro de la región, lo cual influye en la capacidad para adquirir nuevas tecnologías y efectuar cambios operativos en los sistemas de recolección. Por ejemplo, Managua (Nicaragua) y Montevideo (Uruguay) pueden

tener poblaciones similares, pero los sistemas de residuos sólidos, las fuentes de financiamiento y las capacidades de una ciudad y otra son muy diferentes, por lo cual no cabe esperar que adopten nuevas tecnologías o prácticas innovadoras de la misma manera o al mismo tiempo.

La transición a la digitalización es un proceso progresivo y debe adaptarse al cliente. La fiabilidad de las soluciones digitales aumenta cuando se centran en los puntos débiles y las necesidades significativas. La mejor manera de avanzar es con un enfoque gradual, que considere la capacidad local en el proceso de selección de la tecnología. Por ejemplo, para el servicio de recolección de residuos, el punto de partida adecuado suele ser digitalizar primero la gestión de activos/ contenedores, para garantizar una buena base de operaciones. Después, se puede añadir más flexibilidad a las operaciones, a partir del número de recolecciones diarias y en función de la respuesta de los ciudadanos y las comunidades. Los sensores de contenedores también pueden ayudar a mejorar las frecuencias de recolección de los contenedores más grandes. Asimismo, la gestión de RSU en ALC se beneficiaría de la adopción de *software* de gestión de flotas diseñado específicamente para camiones de residuos, del uso de sistemas de etiquetado RFID y de la incorporación de *softwares* de seguimiento del servicio de contenedores de residuos y de planificación de rutas, para equilibrar y trazar trayectos. Sin embargo, la condición más importante que deben alcanzar los proveedores de servicios antes de la implementación de tecnologías digitales es la estandarización de procesos y servicios, de ahí la trascendencia de la planificación estratégica, a efectos de asegurar la continuidad de las operaciones y la disponibilidad de los equipos y los recursos humanos indispensables.

8. Conclusiones

En los últimos años se han producido avances significativos en la implementación de prácticas innovadoras en el sector de los residuos sólidos en todo el mundo. Actualmente, existen claros ejemplos del uso de herramientas tecnológicas en varias ciudades, en particular en países desarrollados, como Canadá y Estados Unidos, que evidencian el impacto de sistemas más eficientes, seguros y transparentes en la gestión de residuos sólidos urbanos y viabilizan la transición hacia la digitalización del sector y una economía circular. América Latina y el Caribe comienza a adentrarse en procesos de innovación en el sector de residuos sólidos, por lo cual la información sobre las tendencias globales en tecnologías inteligentes se vuelve fundamental para identificar las mejores prácticas y herramientas disponibles en el mercado en función de las características de cada territorio.

El futuro de la gestión de residuos sólidos es digital, por eso la industria 4.0 y las tecnologías inteligentes comienzan a generar un gran interés entre los prestadores de servicios de la región. Los proveedores de servicios de gestión de residuos urbanos deben avanzar hacia procesos operativos que reduzcan costos, pero también cumplan con las expectativas de los usuarios en cuanto a obtener información en tiempo real; que originen un menor impacto ambiental y aporten a la transición a una economía circular y a la mitigación del cambio climático. En ALC, la recopilación y el análisis de datos son esenciales para asegurar la trazabilidad de los procesos de gestión de residuos, generar indicadores y monitorear los sistemas de gestión. Contar con información eficiente, oportuna y confiable contribuirá al diseño e implementación de políticas públicas y fortalecerá la transición a una economía circular; por esta razón es importante incorporar tecnologías inteligentes en la prestación de servicios de gestión de residuos sólidos urbanos.

Los desafíos que enfrenta la digitalización del sector son significativos en ALC, no solo por el costo de los dispositivos tecnológicos, sino también por el desarrollo y mantenimiento de las tecnologías y los sistemas digitales. Asimismo, se requiere un proceso de alfabetización digital de la población, a fin de promover el conocimiento y la formación de los profesionales que ofrecen los servicios de gestión de residuos sólidos y desarrollar el interés de la población objetivo en el uso de las tecnologías digitales. Del mismo modo, es esencial diseñar e implementar estrategias de protección de datos y privacidad de la información, por medio de planes y programas orientados a la ciberseguridad, y garantizar un ecosistema para la digitalización, que incluya acceso a Internet, energía, interfaces entre sistemas y aplicaciones, entre otros elementos. Finalmente, es sustancial disponer de un sistema estandarizado para la prestación de los servicios municipales de gestión de residuos sólidos y de la infraestructura necesaria. Experiencias en la región muestran que este proceso está avanzando con soluciones que se adaptan en presupuesto y requerimientos al contexto de ALC.

Las ciudades y los países de la región tienen características diferentes, por eso la transición a la digitalización de los servicios de gestión de residuos sólidos urbanos no es ni será homogénea; en ese sentido, la incorporación de tecnologías y el desarrollo digital deben hacerse de manera gradual. En este documento se ha puesto especial énfasis en determinar el uso de tecnologías en función de la “madurez” tecnológica del prestador del servicio y de la comunidad que atenderá, para garantizar una transición segura y eficiente hacia la digitalización del sector.

La integración de procesos de innovación a las políticas públicas del sector de residuos sólidos de la región es fundamental para viabilizar procesos presupuestales y administrativos directos que permitan a los prestadores de servicios de gestión de residuos sólidos municipales incursionar

en tecnologías inteligentes de manera sostenible e implementar proyectos escalables a nivel local y regional. La transición hacia la digitalización del sector requiere un esfuerzo compartido entre todos los actores de la cadena de residuos sólidos urbanos y, por lo tanto, la promoción de estos canales de conocimiento, comunicación y desarrollo colectivo.

9. Bibliografía

- Alarcón, P., S. Acosta, L. Breukers, M. Correal, L. Durón, G. González, C. Hernández, C. Piamonte, A. Rihm, A. Rojas y C. Sagasti. 2023. Evaluación regional de flujo de materiales: residuos sólidos municipales para América Latina y el Caribe. Washington, D.C.: BID. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.18235/0004841>.
- Benítez-Bravo, R., R. Gómez-GonBenítez-Bravo, R., R. Gómez-González, P. Rivas-García, J. E. Botello-Álvarez, O. F. Huerta-Guevara, A. M. García-León y J. F. Rueda Avellaneda. 2021. Optimization of Municipal Solid Waste Collection Routes in a Latin American Context. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 71(11): 1415-1427.
- Berg, H., J. Sebestyén, P. Bendix, K. Le Blevenec y K. Vrancken. 2020. Digital Waste Management. Reporte de EIONET ETC/WMGE 2020/4. Mol, Bélgica: ETC/WMGE. Disponible en: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-wmge-reports/digital-waste-management>.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo). s.f. *Hub* de residuos sólidos y economía circular. Washington, D.C.: BID. Disponible en <https://hubresiduoscirculares.org/en/>.
- Chen, Ch. y H.-T. Pao. 2022. The causal link between circular economy and economic growth in EU-25. *Environ Sci Pollut Res Int*, Oct;29(50):76352-76364. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35668259/>.
- CiA (CAN en automatización). 2019. CiA@ 422 series: CANopen application profile for municipal vehicles. Disponible en <https://www.can-cia.org/news/cia-in-action/view/cleanopen-updated/2019/1/8/>.
- Deer, R. 2021. Why U.S. cities are ending single stream recycling. *Roadrunner: Modern Waste & Recycling*, 8 de julio. [Texto de blog.] Disponible en: <https://www.roadrunnerwm.com/blog/why-cities-are-ending-single-stream-recycling>.
- DOE (Departamento de Energía de Estados Unidos). 2014. Case Study – Compressed Natural Gas Refuse Fleets. Washington, D.C.: DOE. Disponible en: https://afdc.energy.gov/files/u/publication/casestudy_cng_refuse_feb2014.pdf.
- Ekins, P., T. Domenech, P. Drummond, R. Bleischwitz, N. Hughes, L. Lotti. 2019. The Circular Economy: What, Why, How and Where. París: OCDE. Disponible en: <https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/Ekins-2019-Circular-Economy-What-Why-How-Where.pdf>.
- El Tiempo*. 2016. Emvarias estrena flota de carros a gas. *El Tiempo*, 28 de octubre. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/emvarias-estrena-flota-de-carros-a-gas-34867>.
- EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). s.f. Facts and Figures about Materials, Waste and Recycling. Washington, D.C.: EPA. <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials#NationalPicture>.
- Farnsworth, T. 2021. Why Are Some Curbside Services No Longer Accepting Glass? *Recycle Nation*, 11 de febrero. [Texto de blog.] Disponible en: <https://recyclenation.com/2021/02/why-are-some-curbside-services-no-longer-accepting-glass/>.
- Fenston, J. 2020. Most Local Glass Isn't Recycled. Northern Virginia Jurisdictions Are Changing That. *NPR*, 3 de febrero. [Texto de blog.] Disponible en: <https://www.npr.org/local/305/2020/02/03/802234307/most-local-glass-isn-t-recycled-northern-virginia-jurisdictions-are-changing-that>.
- . 2021. D.C. To Recognize 'Superstar' Recyclers in Each Ward. *Dcist.com*, 7 de abril. [Texto de blog.] Disponible en: <https://dcist.com/story/21/04/07/dc-recycling-inspection-superstars/>.
- Greenwalt, M. 2017. A Look at Route Optimization Solutions for the Waste Industry. *Waste 360*, 26 de junio. [Texto de blog.] Disponible en: <https://www.waste360.com/waste-collection-transfer/a-look-at-route-optimization-solutions-for-the-waste-industry>.
- Jacoby, M. 2019. Why Glass Recycling in the US is Broken, *Chemical and Engineering News*, 11 de febrero. [Texto de blog.] Disponible en: <https://cen.acs.org/materials/inorganic-chemistry/glass-recycling-US-broken/97/i6>.

Johnston, M. 2019. Fueling Trash Trucks With RNG. *BioCycle*, 6 de mayo. [Texto de blog.] Disponible en: <https://www.biocycle.net/fueling-trash-trucks-rng/>.

Koscinski, K. 2022. Environmental groups and Pittsburgh officials call on Pennsylvania to modernize its recycling system. *90.5 WESA*, 26 de mayo. [Texto de blog.] Disponible en: <https://www.wesa.fm/politics-government/2022-05-26/environmental-groups-and-pittsburgh-officials-call-on-pennsylvania-to-modernize-its-recycling-system>.

Mavropoulos, A. y A. W. Nilsen. 2020. *Industry 4.0 and Circular Economy: Towards a Wasteless Future or a Wasteful Planet?* NJ: John Wiley & Sons.

Naciones Unidas. 2022. La Tierra se enfrenta a una triple crisis planetaria. Nueva York: Naciones Unidas. Disponible en: <https://unric.org/es/la-tierra-se-enfrenta-a-una-triple-crisis-planetaria/>.

News Americas Now. 2021. The Future of Barbados Does Not Include Waste. *News Americas Now*, 7 de mayo. [Texto de blog.] Disponible en: <https://www.newsamericasnow.com/caribbean-news-barbados-news-the-future-does-not-include-waste/>.

NMED (Departamento de Medio Ambiente de Nuevo México). s.f. Plan de gestión de residuos sólidos e informes. Disponible en: <https://www.env.nm.gov/solid-waste/solid-waste-management-plan-and-reports/>.

Ohio EPA (Agencia de Protección Ambiental de Ohio). 2017. Solid Waste Management Districts. Orientación/Ficha 1005. OH: Ohio EPA. Disponible en: https://dam.assets.ohio.gov/image/upload/epa.ohio.gov/Portals/34/document/guidance/gd_1005.pdf.

OptimoRoute. 2020. Waste Collection Service Finds the Features They Need to Get the Job Done. *OptimoRoute*, 26 de octubre. [Texto de blog.] Disponible en: <https://optimoroute.com/waste-collection-route-planning/>.

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2023. Unlocking Circular Economy Finance in Latin America and the Caribbean: The catalyst for a positive change. Nairobi: PNUMA. Disponible en: <https://www.unepfi.org/publications/unlocking-circular-economy-finance-in-latin-america-and-the-caribbean-the-catalyst-for-a-positive-change/>.

Quinn, M. 2021. Searching for operational insight, MRFs comb data from AI. *WasteDive*, 6 de octubre. [Texto de blog.] Disponible en: <https://www.wastedive.com/news/mrf-robotics-ai-data-recycling-everest-amp-rumpke/606978/>.

RCI (Radio Canadá Internacional). 2021. Electric vehicles will change how cities look. Just ask the Scottish city of Dundee. RCI, 12 de noviembre. [Texto de blog.] Disponible en: <https://ici.radio-canada.ca/rci/en/news/1839407/electric-vehicles-will-change-how-cities-look-just-ask-the-scottish-city-of-dundee>.

Redling, A. 2018. How new waste truck technologies are changing fleet management. *Waste Today*, 19 de julio. [Texto de blog.] Disponible en: <https://www.wastetodaymagazine.com/news/video-telematics-waste-collection-fleet-vehicles/>.

Rosengren, C. 2022. Waste Management planning \$1.6B in ESG investments, says automation and attrition could phase out upward of 7,000 jobs. *WasteDive*, 2 de febrero. Disponible en <https://www.wastedive.com/news/waste-management-q4-2021-esg-rng-recycling-automation/618103/>.

Sayer, P. y T. Olavsrud. 2021. BI buyer's guide: Top 12 business intelligence tools. *CIO*, 15 de enero. [Texto de blog.] Disponible en: <https://www.cio.com/article/222558/top-business-intelligence-bi-tools.html>.

Schwartz, E. 2021. What Does Business Intelligence Mean for the Waste and Recycling Industry? *Waste Advantage Magazine*, 30 de diciembre. [Texto de blog.] Disponible en: <https://wasteadvantagemag.com/what-does-business-intelligence-mean-for-the-waste-and-recycling-industry/>.

Source Intelligence. 2023. Packaging EPR Laws in the U.S. *Source Intelligence*, 6 de abril. [Texto de blog.] Disponible en: <https://blog.sourceintelligence.com/packaging-epr-laws-in-the-us>.

Sulemana, A., E., A. Donkor, E. K. Forkuo y S. Oduro-Kwarteng. 2018. Optimal Routing of Solid Waste Collection Trucks: A Review of Methods. *Journal of Engineering*, 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2018/4586376>.

SWANA (Asociación de Residuos Sólidos de América del Norte). 2016. Managing Municipal Solid Waste Collection Systems: Course Guide. Silver Spring, MD: SWANA.

The Recycling Partnership. 2020. The Recycling Partnership is Transforming for Good. *The Recycling Partnership*, 19 de mayo. [Texto de blog.] Disponible en: <https://recyclingpartnership.org/the-recycling-partnership-is-transforming-for-good/>.

Tomich, M. P., P. R. Vos y J. D. Underwood. 2021. The Refuse Revolution. Leading the way to a sustainable future. Nueva York, NY:: Energy Vision. Disponible en: https://energy-vision.org/wp-content/uploads/2021/12/The_Refuse_Revolution.pdf.

Waste 360. 2019. The Most Advanced Fleet Maintenance Software for the Solid Waste and Recycling Industry. *Waste 360*, 12 de marzo. [Texto de blog.] Disponible en <https://www.waste360.com/fleet-technology/the-most-advanced-fleet-maintenance-software-for-the-solid-waste-and-recycling-industry>.

-----, 2021. Six Reasons Why Telematics is a Game Changer for the Waste & Recycling Industry. *Waste 360*, 16 de septiembre. [Texto de blog.] Disponible en <https://www.waste360.com/fleet-technology/six-reasons-why-telematics-is-a-game-changer-for-the-waste-recycling-industry>.

10. Anexo

Todas las referencias que aparecen en esta publicación son ilustrativas y no tienen ningún propósito comercial ni afiliación con el BID.

| Tema/Categoría | Descripción |
|--|---|
| Aplicaciones de comunicación y educación | <u>Ecolana</u> La plataforma indica los centros más cercanos en los que se pueden entregar los residuos reciclables. El generador residencial de residuos debe verificar qué materiales se reciben en cada centro de recolección. Según el material y la cantidad, se paga a los recicladores. Estos materiales se envían de los centros de recolección a los centros de reciclaje para su valorización. Esta aplicación está disponible en Google Play y App Store. |
| Aplicaciones de comunicación y educación | <u>Ecoins</u> Esta aplicación enseña a los usuarios cómo separar los residuos sólidos para su valorización y dónde depositarlos, en función del material clasificado. El usuario gana puntos "ecoins" por cada entrega, que luego puede canjear por productos de los patrocinadores. Esta aplicación está disponible en Google Play y App Store. |
| Aplicaciones de comunicación y educación | <u>ReciclApp</u> Con esta aplicación los usuarios pueden seleccionar fecha y hora para que un reciclador acuda a su casa o negocio y recoja los residuos separados para su reciclaje. Cuenta con un proceso de gamificación a través de puntos "Recikarma", que se pueden canjear por productos elaborados con residuos reciclados. Esta aplicación está disponible en App Store, Google Play y App Gallery. |
| Aplicaciones de comunicación y educación | <u>Recypuntos</u> Esta aplicación conecta al generador, en el hogar, la empresa, la institución, con las múltiples soluciones existentes en materia de residuos. Está disponible para Android e iOS y se puede descargar a través de Google Play. |
| Aplicaciones de comunicación y educación | <u>ReciVeci</u> Esta herramienta busca recuperar materiales reciclables y entregarlos directamente, y de forma segura, en manos de los recicladores de base, a fin de dignificar su labor ciudadana. Con ese objetivo, conecta a los ciudadanos con los recicladores de base. |
| Aplicaciones de comunicación y educación | <u>Scrapp</u> Esta aplicación permite a los consumidores escanear el código de barras de un producto o envase para determinar si el artículo es reciclable y dónde se puede reciclar. |
| Tecnologías de la comunicación | <u>LIME</u> , proveedor de servicios en Argentina y Colombia https://www.lime.net.co/page/index |
| Tecnologías de la comunicación | <u>Renca</u> , proveedor municipal de servicios en Chile https://renca.cl/renca-limpia/ |
| Almacenamiento temporal | <u>BlauCorp</u> en México https://www.blaucorp.com/es |
| Almacenamiento temporal | <u>Urbetrack</u> en Argentina https://www.urbetrack.com/ |

| | |
|---|--|
| Almacenamiento temporal | Isbel en Uruguay https://isbel.com/sobre-isbe/ |
| Almacenamiento temporal | Big Belly en Estados Unidos https://bigbelly.com/ |
| Almacenamiento temporal | Rubicon in Estados Unidos https://www.rubicon.com/ |
| Recuperación | Grey Parrot Con el uso de IA, el sistema permite rastrear más de 67 tipos de residuos con un 98% de precisión en plantas de clasificación. Muestra masa, recuento, valor financiero, grado alimentario, marca, etc. |
| Disposición final | Geotropics La recopilación de datos sobre vertederos mediante drones y SIG produjo un modelo topográfico de precisión centimétrica e imágenes aéreas de alta resolución para el proceso técnico de cierre del vertedero de Duquesa, en República Dominicana. |
| Gestión comercial/ Atención al cliente | Solu5Inco es un <i>software</i> para la gestión comercial de los servicios de recolección de residuos. El sistema realiza el seguimiento y control de la gestión comercial de las empresas operadoras, para lo cual administra los servicios de atención al usuario, facturación, cartera, recolección, consumo, corte, reconexión, gestión de cartera e informes. También cuenta con herramientas integradas, como las siguientes: i) Sistema de tarifas: Para gestionar y calcular las tarifas de los servicios de recolección. ii) Análisis y seguimiento de la información: Seguimiento y control de los formatos requeridos por los organismos de control y vigilancia. iii) Validador de planes: Para garantizar la integridad de los datos comunicados a los organismos de control y vigilancia. iv) Consolidación de operaciones: Consolida la información de cada una de las operaciones del cliente, para lo cual facilita la visualización de información, permite la consulta de estadísticas y el cumplimiento de metas, entre otros datos útiles para la administración del negocio. |
| Gestión comercial/ Atención al cliente | Solin Cloud es un <i>software</i> abierto, personalizable, modular e integrado que permite controlar a los suscriptores del servicio de gestión de residuos sólidos por ciclos, rutas, barrios, zonas y categorías. Gestiona eficientemente los procesos de facturación, atención a usuarios, cartera y cobranza y maneja alternativas de toma y registro de lecturas, tanto manuales como por terminales portátiles. El sistema habilita la gestión individual, por abonado, de la cuenta de contribuciones y subsidios, lo cual posibilita la generación y soporte de la cuenta para la administración municipal. El sistema está integrado con subsistemas para la administración y control de la contabilidad, tesorería y cuentas por pagar, cuentas por cobrar y cobranzas, nómina, facturación y ventas, etc. |
| Gestión comercial/ Atención al cliente | Software Amerika cuenta con el módulo comercial que realiza esta gestión en los procesos de catastro, contactos, atención al usuario, lectura e inspección, facturación, facturación presencial (en línea), cobros, convenios y aplazamientos, cortes, reconexiones, fraudes, reliquidaciones, cartas a clientes, módulo de informes personalizados, informes de cartera, aplicaciones de movilidad para trabajo en campo, facturación electrónica, gestión de correspondencia y una aplicación para realizar operaciones (consulta y pago de facturas) desde dispositivos móviles (Android e iOS). |

Herramientas de BI

Microsoft Power BI es una herramienta de análisis que facilita la elaboración de informes, la minería de datos y la visualización de datos para ofrecer información empresarial valiosa. Gracias a la sencilla interfaz de Power BI, las empresas pueden conectarse de manera simple a diversas fuentes de datos y crear cuadros de mando e informes personalizados. Power BI, que era un complemento de Excel, ha evolucionado hasta convertirse en una plataforma independiente que satisface las necesidades de las organizaciones, desde pequeñas empresas hasta grandes compañías, a un coste relativamente asequible. Con la aplicación Power BI Desktop los usuarios pueden analizar y visualizar datos de fuentes locales o en la nube, así como publicar sus informes en la plataforma Power BI. Ofrece preparación de datos, descubrimiento visual, cuadros de mando interactivos y análisis aumentados.

Existen tres versiones de Power BI:

- i) La versión gratuita Desktop, que es para uso individual.
- ii) La versión Pro, que ofrece funciones actualizadas para mejorar los análisis y, con el pago de una cuota mensual, facilita el análisis colaborativo a partir de Microsoft Office365, SharePoint y Teams a fin de controlar el acceso a los datos sin procesar y a los informes publicados.
- iii) El plan Premium, que funciona con un modelo basado en la capacidad, proporciona información a nivel empresarial, admite la implementación local y cuenta con una infraestructura en la nube dedicada que satisface los requisitos de las organizaciones con necesidades de datos más amplias.^[28] Esta versión posibilita la preparación de datos de autoservicio con conectores predefinidos a datos corporativos almacenados en Microsoft Dynamics 365, Azure SQL Data Warehouse o fuentes de terceros como Salesforce (Sayer y Olavsrud, 2021).

Herramientas de BI

Domo es una suite de gestión empresarial basada en la nube que acelera la transformación digital de empresas de todos los tamaños. Realiza análisis a nivel micro y macro para proporcionar a los equipos una visión en profundidad de sus métricas empresariales, así como para resolver problemas de forma más inteligente y rápida.

Presenta estos análisis en visualizaciones interactivas para que los patrones resulten obvios a los usuarios, lo cual facilita el descubrimiento de perspectivas procesables. Gracias a los indicadores clave de rendimiento compartidos, los usuarios pueden superar los silos de los equipos y trabajar juntos en todos los departamentos.^[29]

Herramientas de BI

SAS Visual Analytics es una solución diseñada para responder rápidamente a consultas complejas derivadas de conjuntos de datos de distintos tamaños. Facilita la exploración guiada, los cuadros de mando interactivos, las visualizaciones inteligentes y los análisis de autoservicio, y atiende a usuarios con diversos niveles de conocimientos técnicos. Al promover la visibilidad y la alfabetización de los datos, SAS Visual Analytics permite a los usuarios obtener información valiosa.

El diseño versátil y escalable de la herramienta garantiza que los usuarios, más allá de sus conocimientos técnicos, puedan tomar decisiones empresariales fundamentadas a partir de una mayor transparencia de los datos. SAS Visual Analytics, que funciona sobre una arquitectura cohesiva en memoria, fomenta las acciones inteligentes impulsadas por un análisis de datos perspicaz.^[30]

SAS ofrece soluciones de inteligencia empresarial a través de su herramienta Visual Analytics, que está disponible en la nube y se suministra a través de la plataforma SAS Viya, basada en microservicios. La herramienta está diseñada para resaltar automáticamente las relaciones críticas dentro de los datos. La última versión introduce sugerencias automáticas de factores relevantes, acompañadas de perspectivas presentadas a través de visualizaciones y lenguaje natural.

^[28] Véase <https://www.selecthub.com/c/business-intelligence-tools/>.

^[29] Véase <https://www.selecthub.com/p/business-intelligence-tools/domo/>.

^[30] Véase <https://www.selecthub.com/p/business-intelligence-tools/sas-visual-analytics/>.

Entre las funciones más destacadas se encuentran el análisis de sentimientos, para extraer datos de las redes sociales y otros textos; la generación automática de gráficos; las capacidades de mapeo y la preparación de datos de autoservicio.

Herramientas de BI

Tableau es una solución integral de visualización y análisis de datos que permite a las empresas tomar decisiones informadas y basadas en datos. Esta plataforma integra a la perfección datos de diversas fuentes para suministrar información operativa en tiempo real. Tableau facilita la exploración de datos mediante funciones simples, como el filtrado de arrastrar y soltar y las consultas en lenguaje natural, que se adaptan a usuarios con distintos niveles de conocimientos.

Con sólidas opciones de personalización y seguridad, Tableau ofrece a los usuarios un control sobre la visualización de datos que posibilita la creación de impactantes cuadros de mando e historias que comunican eficazmente las narrativas empresariales. El paquete Tableau Creator (versión de escritorio, Prep y una licencia Creator de la versión de servidor o en línea) provee una solución completa para quienes buscan una herramienta de análisis potente y versátil.^[31]

Herramientas de BI

MicroStrategy es una plataforma de análisis de datos que proporciona inteligencia procesable a las organizaciones, al margen de su tamaño. La plataforma permite a los usuarios adaptar las visualizaciones de datos y construir cuadros de mando personalizados en tiempo real. Al aprovechar la conectividad de datos, el aprendizaje automático y el acceso móvil, MicroStrategy ofrece a los usuarios un amplio control sobre sus conocimientos. Dirigida al mercado de inteligencia de negocios (BI) en diversos sectores, MicroStrategy contempla opciones de implantación en la nube, en las instalaciones e híbridas, que conforman una gama versátil de opciones para los usuarios.^[32]

La plataforma de MicroStrategy incluye una interfaz de arrastrar y soltar fácil de usar, que simplifica la creación de visualizaciones de datos personalizadas y el desarrollo de cuadros de mando personalizados en tiempo real. Una de sus características más destacadas es la analítica federada, que permite a los clientes maximizar sus inversiones en fuentes de datos como Tableau, Qlik y Power BI. Esta capacidad posibilita a los usuarios combinar datos de diversas fuentes para elaborar informes completos y obtener información valiosa.

Además, la plataforma incorpora un gráfico semántico empresarial que indexa los activos de datos. Este proceso de enriquecimiento mejora los silos de datos con inteligencia de localización y telemetría en tiempo real, lo cual contribuye a una experiencia analítica más sólida y perspicaz (Sayer y Olavsrud, 2021).

Herramientas de BI

Dundas BI es una potente solución analítica basada en navegador que permite a los usuarios generar cuadros de mando interactivos, personalizar sus visualizaciones, elaborar informes y profundizar en los datos. Es flexible y escalable, con un diseño adaptable que posibilita integrar datos de cualquier tipo de fuente en tiempo real. Accesible desde cualquier dispositivo, funciona por sí sola o los usuarios pueden integrarla en otros tipos de *software*.^[33]

Dundas BI, desarrollada por Dundas Data Visualization, se utiliza principalmente para crear cuadros de mando y cuadros de mando integrales, con la capacidad añadida de realizar informes estándar y ad hoc. La plataforma facilita el análisis y la visualización a través de una interfaz web que se adapta dinámicamente al nivel de conocimientos de los usuarios: los que tienen formación avanzada y los que tienen conocimientos básicos disponen de funciones diferentes. En una versión reciente, Dundas BI introdujo un nuevo motor en memoria, capacidad de consulta en lenguaje natural, análisis de tendencias “apuntar y hacer clic”, compatibilidad con Linux y un entorno de desarrollo de aplicaciones para crear aplicaciones analíticas personalizadas.

^[31] Véase <https://www.selecthub.com/p/business-intelligence-tools/tableau/>.

^[32] Véase <https://www.selecthub.com/business-intelligence-tools/microstrategy-vs-qlik-sense/>.

^[33] Véase <https://www.selecthub.com/p/business-intelligence-tools/dundas-bi/>.

Dundas BI se adapta a 19 industrias, como las de tecnología limpia, minería y construcción. Aunque atiende a grandes empresas, se destaca, sobre todo, en el suministro de soluciones de BI integradas, lo cual demuestra su especialización en este ámbito (Sayer y Olavsrud, 2021).

Herramientas de BI

[Sisense](#) es una plataforma integral de análisis de datos diseñada para democratizar el descubrimiento y el análisis de datos mediante una arquitectura integrable y escalable. Gracias a la tecnología integrada en el back-end, los analistas pueden combinar a la perfección grandes conjuntos de datos de diversas fuentes en una base de datos unificada y cohesionada para toda la organización o agencia. En el front-end, los usuarios con diferentes conocimientos técnicos pueden crear visualizaciones, informes y cuadros de mando para explorar y compartir información y, de esa forma, impulsar el avance de las empresas. Fusion, la solución analítica nativa en la nube e impulsada por IA de Sisense, se integra en los espacios de trabajo empresariales, lo cual les permite a los equipos acceder a métricas y datos clave dentro de su flujo de trabajo.

Adecuada para organizaciones de todos los tamaños, Sisense ofrece opciones de implantación flexibles. Se puede utilizar en las instalaciones, como *software* como servicio (SaaS) alojado en una nube privada, como SaaS totalmente gestionado o por medio de una estrategia híbrida. La plataforma está disponible con precios de suscripción anual y se presenta en tres paquetes: i) BI & Analytics Teams, ii) Product Teams, centrado en la analítica integrada, y iii) Cloud Data Teams, que comprende analítica en la nube basada en código.^[34]

Herramientas de BI

[TIBCO Spotfire](#) es una completa plataforma de inteligencia de negocios y descubrimiento de datos que puede realizar diversas funciones, como análisis en profundidad y sólidos informes visuales, todo impulsado por inteligencia artificial. Ofrece tecnología de streaming de datos, que puede soportar conocimientos con IA, integración de *big data* y combinación con IoT.

Spotfire es adecuado para grandes organizaciones, pero también se adapta a las pequeñas, lo cual hace flexible el *software* y mantiene a los usuarios al mando de sus datos.^[35]

Herramientas de BI

[Google Cloud](#) es una solución moderna de inteligencia de negocios que hace más accesibles los conocimientos al ofrecer capacidades avanzadas de análisis de datos y aprendizaje automático. A través de su plataforma en la nube, Google Cloud proporciona una infraestructura escalable y potentes herramientas de procesamiento de datos que permiten a las empresas de gestión de residuos analizar grandes volúmenes de datos, obtener información valiosa y tomar decisiones basadas en datos para optimizar sus operaciones. Al aprovechar el aprendizaje automático y las herramientas de IA, los proveedores de servicios pueden optimizar la planificación de las rutas, mejorar el mantenimiento de los equipos y prever de manera más precisa los patrones de volumen de residuos. Esto ayuda a reducir costos, minimizar el impacto ambiental y aumentar la eficacia general del servicio.^[36]

Sistemas ERP para la gestión de residuos

[SAP Residuos y Reciclaje](#): Este sistema ERP ofrece una solución integral para gestionar los procesos de gestión de residuos y reciclaje, como la logística, la facturación y el cumplimiento de las normativas.

Sistemas ERP para la gestión de residuos

[AMCS](#): Este sistema ERP provee una plataforma para gestionar todos los aspectos de las operaciones de residuos y reciclaje, como la gestión de clientes, la planificación de rutas y el comercio de materiales.

^[34] Véase <https://www.selecthub.com/p/business-intelligence-tools/sisense/>.

^[35] Véase https://www.selecthub.com/p/big-data-analytics-tools/spotfire/?from_category=69.

^[36] Chat GPT, comunicación personal, 21 de febrero de 2024.

| | |
|--------------------------------------|--|
| Software en la nube | MOBA (Alemania): Computación en la nube para gestión de contenedores, manejo de clientes, seguimiento, navegación y planificación de rutas. |
| Software en la nube | Grupo AMCS (Irlanda): Conexión, estandarización y optimización de los procedimientos internos. |
| Software en la nube | Samsara Networks Inc. (Reino Unido). |
| Software en la nube | Rubicon Global Holdings LLC. (Estados Unidos). |
| Software en la nube | TouchStar Technologies Ltd. (Reino Unido): Seguimiento de la vida útil del vehículo, planificación de rutas, análisis y optimización mediante computación en la nube. |
| Software en la nube | Waste Logics Software Ltd. (Reino Unido): <i>Software</i> de gestión para múltiples dispositivos que incluye funciones como gestión de pedidos en tiempo real, planificación y optimización de rutas, autoservicio de clientes, seguimiento de pedidos y evaluación. |
| Seguimiento | Sigma Ingeniería ha desarrollado el <i>software</i> GeoAseo, que permite la trazabilidad de la operación de recolección planificada versus la ejecutada en Colombia. El <i>software</i> se utiliza en 16 operaciones de recolección de residuos sólidos, con lo cual cubre las rutas de más de 500 vehículos recolectores, y cuenta con múltiples funcionalidades de operación, tales como: i) digitalización de las operaciones diarias y seguimiento de las rutas planificadas y su ejecución, ii) telemática del vehículo, iii) supervisión de la operación, iv) seguimiento en línea del vehículo, entre otras. |
| Seguimiento | <p>El <i>software</i> BEE2WASTE refuerza el control y la supervisión de la recolección de residuos. Este <i>software</i> de gestión basado en la nube permite una planificación inteligente de los circuitos de recolección a partir del aprendizaje del comportamiento de los patrones de datos históricos y en tiempo real. Por lo tanto, los operadores pueden trabajar en cada ruta de recolección con variables como: i) fecha y hora de recolección, ii) zona, iii) tipos de residuos, iv) contenedores según su nivel de llenado, v) vehículos que se utilizarán, vi) centro de operaciones al que pertenecen los vehículos, vii) flujo preferente y viii) posibles tasas de compresión de residuos. Los módulos del <i>software</i> también permiten establecer:</p> <p><i>Niveles de volumen de contenedores y planificación predictiva:</i> Genera información en tiempo real sobre el nivel de llenado actual de los contenedores seleccionados en cada zona.</p> <p><i>Inventario y operación de contenedores:</i> Permite cargar los puntos de recolección en el sistema, con todos los detalles relativos al punto de instalación (tipo de contenedores, modelo, tipos de residuos, etc.). Esta información se puede cargar de forma manual o automática a través de un lector RFID.</p> <p><i>Análisis, KPI y cuadros de mando:</i> Proporciona los KPI más utilizados para la recolección de residuos urbanos, que se actualizan automáticamente; también permite crear KPI a medida, como toneladas acumuladas (globales, por tipo de residuo, etc.), nivel de incidencias, coste de recolección por tonelada recogida o por número de habitantes, KPI de eficiencia y emisiones de CO₂.</p> |
| Software de gestión de flotas | AMCS Route Planner es un sistema de optimización de rutas de recolección de residuos residenciales y comerciales. Está equipado con algoritmos de optimización de rutas adaptados al sector de la recolección de residuos sólidos. Junto con su intuitiva interfaz de usuario, proporciona una solución útil para aumentar la eficiencia en la recolección. Incluye sistemas de optimización de rutas estáticas y dinámicas. El servicio básico provee dos optimizaciones completas del plan director al año para rutas comerciales. La optimización se realiza mediante un contrato de servicio fijo de tres años basado en una cuota de servicio anual. Este planificador ofrece a las agencias de gobierno locales y a los transportistas un control total del coste asociado al servicio (Greenwalt, 2017). |

Software de gestión de flotas

[FleetRoute](#) se basa en la tecnología para dar solución a problemas de rutas de alta densidad en muchas industrias, incluso la de residuos y reciclaje. FleetRoute se puede adquirir como licencia, para que los usuarios puedan crear sus propias rutas, o se puede utilizar el equipo de profesionales de C2Logix. FleetRoute creará rutas completamente personalizadas en función de los requisitos específicos del transportista o del gobierno local, como los datos de las calles y los parámetros exclusivos de la flota y el personal. El programa calculará los pequeños detalles necesarios para crear rutas reales y equilibradas que imiten la realidad de la calle.

Software de gestión de flotas

[RouteSmart Technologies](#) ofrece soluciones de optimización de rutas diseñadas para organizaciones públicas y privadas con el fin de mejorar las operaciones en los trayectos de recolección de residuos residenciales y comerciales, residuos voluminosos, reciclaje, residuos verdes, recolección de productos orgánicos, barrido de calles y quitanieves. RouteSmart provee soluciones locales para el equilibrio y la secuenciación de rutas, así como servicios basados en la nube para la planificación dinámica diaria. RouteSmart for ArcGIS cuenta con las herramientas necesarias para resolver complejos retos en los trayectos mediante la actualización y la mejora continuas de potentes algoritmos y técnicas de optimización que modelan las limitaciones exclusivas de la planificación de rutas en barrios de alta densidad y satisfacen las demandas del servicio comercial.

Software de gestión de flotas

[EasyRoute](#) ayuda a los transportistas y a los gobiernos locales a diseñar rutas de recolección de residuos sólidos más eficientes. Al optimizar las rutas, se reducen los costos, puesto que el número de vehículos necesarios, los kilómetros recorridos, el combustible utilizado y las horas extraordinarias pagadas disminuyen. Usado por cientos de profesionales del sector de los residuos, tanto en empresas privadas de transporte como en servicios municipales, este *software* de optimización de rutas les permite a los usuarios diseñar mejores trayectos de recolección.^[37]

Software de gestión de flotas

El *software* de optimización de rutas [OptimoRoute](#) permite planificar y programar las rutas de recolección de residuos de forma más eficiente y eficaz, al considerar todas las limitaciones del flujo de trabajo y mejorar la eficiencia operativa.^[38]

Software de gestión de flotas

[Dossier Systems](#) proporciona *software* de mantenimiento de flotas y soluciones para la industria de residuos sólidos. La gama de servicios ofrecidos incluye programación de mantenimiento preventivo, gestión de piezas y de combustible. Con las soluciones de Dossier, el personal de las flotas puede gestionar eficazmente los costos y garantizar la seguridad y la eficiencia de los equipos de transporte de residuos (Waste 360, 2019).

Software de gestión de flotas

[Noregon](#) ofrece a las empresas de gestión de residuos un *software* para el diagnóstico y la reparación de camiones de residuos. Denominado JPRO Professional, el *software* provee soluciones de diagnóstico en taller para todas las marcas y modelos de vehículos comerciales. JPRO se conecta y lee todo el vehículo, incluso el motor, la transmisión y el sistema antibloqueo de frenos, en aproximadamente un minuto. A continuación, proporciona definiciones precisas y detalladas de más del 99% de los códigos de fallas (DTC, por sus siglas en inglés). El completo *software* de diagnóstico identifica todos los problemas, por lo cual los gestores pueden encontrar y solucionar más problemas para aumentar el tiempo de actividad y la eficiencia. Al combinar este *software* con NextStep Repair, una herramienta de guía de reparación paso a paso, el personal de mantenimiento puede solucionar problemas con precisión y acceder a la información necesaria para completar las reparaciones rápidamente. Con JPRO y NextStep los mecánicos tienen acceso inmediato a diagnósticos e instrucciones de reparación en tiempo real.^[39]

^[37] Véase <https://www.goeasyroute.com/solutions/overview/>.

^[38] Véase <https://optimoroute.com/business-type/waste-collection/>.

^[39] Véase <https://www.noregon.com/faqs/#jprofaq/>.

Software de gestión de flotas

El software de mantenimiento [SoftFlot](#) cuenta con más de 1.800 usuarios en América del Sur, Centroamérica y México. Este sistema provee un módulo de gestión de mantenimiento que muestra el estado de los sistemas de cada vehículo, de forma que se puedan programar las tareas en el momento más adecuado y con el menor impacto. El sistema permite asignar órdenes de trabajo para cada vehículo por tipo de mantenimiento y presenta el estado de la orden (si está abierta o cerrada), el número de días que lleva en curso (abierta o cerrada), el número de vehículos por tipo y el mantenimiento realizado por mes. Además, ofrece los costos asociados a cada vehículo en términos de mano de obra y piezas de repuesto, así como todos los costos de mantenimiento asociados a un vehículo determinado durante un período de tiempo, entre otras pantallas útiles para el seguimiento y la toma de decisiones. Asimismo, este sistema le permite al administrador de SoftFlot evaluar el rendimiento de los empleados en la resolución de incidencias y obtener un control detallado de las piezas y fluidos utilizados diariamente en los talleres. Por otra parte, cuenta con un módulo de catálogo de neumáticos, donde los usuarios tienen acceso a los datos de cada neumático del vehículo y su estado general (usado, nuevo, reserva, etc.), el coste de compra, el distribuidor y la garantía. El sistema posibilita el análisis de rendimiento de cada vehículo, lo cual optimiza los costos. Contribuye a la toma de decisiones, ya que genera informes, gráficos, procesos de importación y exportación de datos, etc.

Software de gestión de flotas

[Fractal One](#) es un software inteligente para la gestión del mantenimiento de activos físicos; es 100% móvil, en línea y en la nube. En este sistema se pueden cargar los activos de la empresa de recolección, que en este caso son los vehículos, su ubicación, una imagen, datos técnicos, etc. Dispone de un módulo de recursos humanos donde se introducen los datos del personal de mantenimiento (nombre, cargo, foto, firma digital, tarifa horaria de este recurso) que permite al sistema mostrar cifras del coste total de este recurso cuando se asigna una orden de trabajo. El software genera un plan de tareas (tipo de tarea, si es preventiva o correctiva, duración prevista del mantenimiento, tiempo de inactividad por mantenimiento, frecuencia) y, a continuación, incluye las subtareas que deben realizar los técnicos y los recursos necesarios para obtener las cifras de mantenimiento a nivel de coste. El sistema muestra todas las actividades pendientes, asigna y transfiere las órdenes de trabajo, estipula los recursos y técnicos responsables de la ejecución. Por último, el sistema se puede utilizar para revisar los resultados de la gestión a través del módulo de inteligencia, donde se dispone de diferentes tipos de análisis para mejorar y retroalimentar la gestión del mantenimiento, así como para conocer los costos de mantenimiento de la flota y tomar medidas para sustituir equipos o revalorizar a los proveedores de repuestos y servicios subcontratados. Este sistema es utilizado por empresas como Veolia.

Sistemas de control de peso en la flota de recolección de residuos

Ecoload ([Ecoequipos SAS](#) con sede en Colombia) ofrece el sistema electrónico de pesaje a bordo Smart City, que proporciona datos sobre el peso de los contenedores de carga trasera por usuario, registra la fecha y la hora de recolección y posibilita el control de la sobrecarga en el vehículo de recolección. También permite al conductor seleccionar el peso neto, bruto, recogido o entregado.

Sistemas de control de peso en la flota de recolección de residuos

[MOBA](#) (Mobile Automation), con sede en Belo Horizonte, Brasil, y en Santiago, Chile, cuenta con más de 40 años de experiencia en el desarrollo y la fabricación de tecnología de pesaje instalado para diversos equipos. La línea de pesaje instalado MOBA para camiones de residuos se coloca en el chasis y puede pesar con precisión y exactitud todos los residuos recogidos durante el recorrido, con lo cual se elimina la necesidad de básculas estacionarias. Proporciona datos de recolección que se envían a la pantalla instalada y se pueden almacenar en el dispositivo o transmitir de forma remota al software de gestión, lo cual constituye la base ideal para cobros justos, transparentes y proporcionales basados en el peso recogido.

