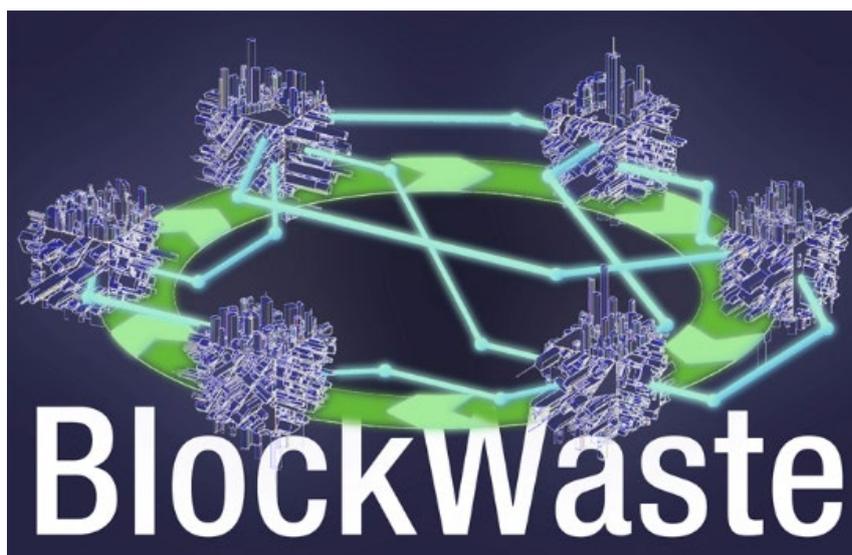


O1.A2.1 Estado comparativo de la digitalización en la gestión de residuos municipales: *Estudio comparativo - cinco países miembros de la UE, Estonia, Alemania, Grecia, Países Bajos y España*



Descargo de responsabilidad

Este proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión UEuropea. Esta publicación refleja únicamente la opinión de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Ficha de resultados:

Programa de financiación	Programa Erasmus+ de la Unión UEuropea
Financiación NA	EL01 Fundación de Becas del Estado Griego (IKY)
Título completo del proyecto	Formación innovadora basada en la tecnología Blockchain aplicada a la gestión de residuos - BLOCKWASTE
Acción Clave	KA2 - Cooperación para la innovación y el intercambio de buenas prácticas KA203 - Asociaciones estratégicas para la educación superior
Número del proyecto	2020-1-EL01-KA203-079154
Duración del proyecto	24 meses
Fecha de inicio del proyecto:	01-10-2020
Fecha de finalización del proyecto:	30-09-2022

Detalles de los resultados:

Título del resultado: O1: Material didáctico para el Blockchain-RSU interdisciplinario

Título de la tarea: O1/A2 - Estudio comparativo de las tecnologías de la información aplicadas a la gestión de residuos a nivel internacional.

Subtarea: Estado comparativo de la digitalización en la gestión de residuos municipales: Estudio comparativo - cinco países miembros de la UE, Estonia, Alemania, Grecia, Países Bajos y España

Líder del resultado: NTUA

Líder de la tarea: FH-Bielefeld

Autor (es): Rainer Lenz, Bielefeld UAS, rlenz@fh-bielefeld.de, Alemania

Christa Barkel, Saxion UAS, c.barkel@saxion.nl, Países Bajos

Maria Menegaki, Universidad Técnica Nacional de Atenas, menegaki@metal.ntua.gr, Grecia

Marija Klõga, Universidad de Tecnología de Tallin, marija.kloga@taltech.ee, Estonia

Juana María Torrecilla, Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales, juanamari-toabril@ctmarmol.es, España

Revisado por: Paraskevas Tsangaratos, Universidad Técnica Nacional de Atenas, ptsag@metal.ntua.gr, Grecia, Ermo Täks, Universidad de Tecnología de Tallin, ermo.taks@taltech.ee, Estonia

Control del documento

Versión del documento	Versión	Modificado
V0.1	30/04/2021	Versión final – 30/06/2021



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Contenidos

Resumen ejecutivo	iii
1 Introducción	1
1.1 Breve descripción del proyecto	1
1.2 Objetivos y enfoque metodológico.....	1
2 Estonia: Estado de la digitalización en la gestión de residuos municipales	3
2.1 Organización de la gestión de los residuos municipales en Estonia.....	3
2.2 Soluciones de TI utilizadas en la gestión de residuos municipales.....	4
2.3 Evaluación final.....	6
3 Alemania: Estado de la digitalización en la gestión de residuos municipales	7
3.1 Organización de la gestión de residuos municipales en Alemania.....	7
3.2 Soluciones de TI utilizadas en la gestión de residuos municipales.....	9
3.3 Evaluación final.....	11
4 Grecia: Estado de la digitalización en la gestión de residuos municipales	12
4.1 Organización de la gestión de los residuos municipales en Grecia	12
4.2 Soluciones de TI utilizadas en la gestión de residuos municipales.....	13
4.3 Ejemplo de buena práctica "Premiar el reciclaje de envases"	16
4.4 Evaluación final.....	16
5 Países Bajos: Estado de la digitalización en la gestión de residuos municipales.....	17
5.1 Organización de la gestión de los residuos municipales holandeses	17
5.2 Soluciones de TI utilizadas en la gestión de residuos municipales.....	18
5.3 Ejemplos de buenas prácticas.....	19
5.4 Evaluación final.....	20
6 España: Estado de la digitalización en la gestión de residuos municipales.....	21
6.1 Organización de la gestión de los residuos municipales en España	21
6.2 Soluciones informáticas utilizadas en la gestión de residuos municipales	21
6.3 Ejemplos de buenas prácticas.....	23
6.4 Evaluación final.....	23
7 Comparación de los resultados con otros estudios	24
7.1 Informe de EIONET "Gestión digital de los residuos"	24
7.2 Proyecto WINPOL "Sistemas y políticas inteligentes de gestión de residuos"	26
7.3 WastelQ - un estudio de caso de Noruega	27
8 Preparación para las aplicaciones de Blockchain en la gestión de residuos	29
9 Referencias	31

Índice de figuras

Figura 1. Estructura esquemática del estudio (fuente: los autores)	2
Figura 2. Asimetría de información entre los usuarios y la gestión municipal de residuos (fuente: los autores)	8
Figura 3. Cuotas de mercado de la recogida de residuos sólidos - Alemania 2020 (fuente: EUWID, 2020)	9
Figura 4. Proyectos digitales en la gestión de residuos municipales en Alemania (fuente: los autores basados en los datos del mapeo de proyectos digitales de la Asociación Alemana de Servicios Locales de Municipios (VKU) y Verband Kommunaler Unternehmen e.V. (2019)- para estadísticas detalladas cf apéndice)	10
Figura 5. Principales áreas de digitalización en la gestión de residuos municipales (fuente: Berg y Sebestyén, 2020, p. 23).	24
Figura 6. Soluciones IoT integradas en el camión de la basura (fuente: Berg y Sebestyén, 2020, p. 22)	25
Figura 7. Principales áreas de digitalización en los proyectos de mejores prácticas (fuente: criba basada en datos de proyectos de WINPOL, 2019)	26
Figura 8. WastelQ - plataforma de datos (fuente: https://www.iswa.org/home/news/news-detail/article/guest-blog-the-4th-industrial-revolution-in-practice-wastelq-the-open-waste-management-platf/109/)	27
Figura 9. Falta de coherencia en los proyectos de gestión digital de residuos	29

Listado de abreviaciones

Abreviación	Definición
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
TI	Tecnología de la Información
UE	Unión Europea
IoT	Internet de las cosas
RAP	Responsabilidad ampliada del productor
PAYT	Pagar por lo que se desecha

Resumen ejecutivo

Los resultados de los estudios por países y la comparación con otros estudios muestran que el proceso de digitalización en el sector de los residuos municipales está todavía en sus inicios. Existe un gran número de proyectos innovadores en los distintos países en los ámbitos de la comunicación con los usuarios, los sistemas de incentivos y, en particular, el uso de la IO en la recogida de residuos, pero no existe una promoción global de estos proyectos en los países, ni a través de programas de apoyo financiero estatal ni mediante la transferencia selectiva de conocimientos técnicos. Por ahora, solo las asociaciones de empresas municipales públicas o privadas de eliminación de residuos son multiplicadoras de información y centros de innovación.

Los proyectos de digitalización descritos en la gestión municipal de residuos están muy impulsados por el uso de las nuevas tecnologías. La instalación de la telemática y el IoT en los camiones de residuos son tareas típicas de los ingenieros mecánicos. La realización de estas tareas es de suma importancia para el buen funcionamiento de los procesos logísticos de una organización. Pero con Blockchain se trata de crear una situación en la que todas las partes interesadas de una cadena salgan ganando, de modo que cada uno de los socios implicados acabe beneficiándose de la colaboración.

Para acabar de responder a la pregunta sobre la preparación para la aplicación de la tecnología Blockchain, se puede afirmar que, sí, desde un punto de vista puramente técnico, la mayoría de las empresas municipales de gestión de residuos están al día y utilizan ampliamente el IoT. Lo que falta es una estrategia de datos clara que incluya el análisis y la puesta en común de los datos con diversas partes interesadas. Sin embargo, no se trata de problemas técnicos, sino de problemas de desarrollo organizativo de las empresas municipales de gestión de residuos.

1 Introducción

1.1 Breve descripción del proyecto

Este estudio comparativo forma parte del proyecto BlockWASTE, que es un proyecto Erasmus Plus financiado por la UE. El proyecto pretende abordar la interoperabilidad entre la gestión de residuos y la tecnología Blockchain y promover su correcto tratamiento a través de la formación educativa, de manera que los datos recogidos se compartan dentro de un entorno seguro, donde no haya lugar a la incertidumbre y desconfianza entre todas las partes implicadas en las cadenas o ciclos de residuos.

Para ello, los objetivos del proyecto BlockWASTE son los siguientes

- Realizar una investigación sobre los residuos sólidos generados en las ciudades y su gestión, de forma que se pueda crear una base de información de buenas prácticas que ayude a reintroducir los residuos en la cadena de valor, promoviendo la idea de Ciudades Circulares Inteligentes.
- Identificar los beneficios de la Tecnología Blockchain dentro del proceso de gestión de residuos municipales (RSU).
- Crear un plan de estudios que apoye la formación de profesores y profesionales de organizaciones y empresas del sector, en la superposición de los campos de la Gestión de Residuos, la Economía Circular y la tecnología Blockchain.
- Desarrollar una herramienta interactiva basada en la tecnología Blockchain, que permita poner en práctica la gestión de los datos obtenidos de los residuos urbanos, visualizando así la forma en que se implementan los datos en la Blockchain y permitiendo a los usuarios evaluar diferentes formas de gestión.

Más información en la web del proyecto BlockWASTE <https://blockwasteproject.eu>.

1.2 Objetivos y enfoque metodológico

El objetivo de este estudio comparativo es documentar el statu quo de la digitalización de la gestión de los residuos municipales en los países de la UE, con el fin de examinar en última instancia en qué áreas tiene sentido la implementación de soluciones de blockchain.

Blockchain no es más que una solución de base de datos que permite rastrear y seguir las transacciones dentro de una cadena de residuos, transferir activos digitales de igual a igual y utilizar contratos inteligentes para automatizar procesos. Pero para una aplicación de base de datos como la Blockchain, el factor decisivo es, por supuesto, la recogida automática de datos a través de dispositivos del Internet de las Cosas, como sensores y cámaras, y el análisis de los datos a través de aplicaciones de IA. En última instancia, este estudio comparativo también trata de la cuestión de la preparación digital de los gestores municipales de residuos en lo que respecta al uso de soluciones Blockchain.

Estudio comparativo: Estado de la digitalización en la Gestión de Residuos	
Estonia Alemania Grecia Países Bajos España	1. Organización de la gestión de los residuos municipales 2. Estado de la digitalización en la gestión de residuos municipales 3. Mejores prácticas 4. Evaluación
Comparación de los resultados con los de otros estudios	
Evaluación: Preparación para las aplicaciones de Blockchain	

Figura 1. Estructura esquemática del estudio (fuente: los autores)

Como se muestra en la Figura 1, este estudio comparativo se basa en la descripción del statu quo de la digitalización en la gestión de residuos municipales en los cinco países de los socios del proyecto: Estonia, Alemania, Grecia, Países Bajos y España. Las soluciones informáticas utilizadas dependen, por supuesto, de la organización y los procesos de gestión de residuos municipales de cada país. Por consiguiente, la descripción del uso de las TI en los municipios va precedida de un capítulo sobre la organización de la gestión municipal de residuos en el país correspondiente. Además, se describen brevemente los ejemplos de mejores prácticas de cada país cuando están disponibles.

Obviamente, una visión comparativa de sólo cinco de los 27 Estados miembros de la UE tiene una importancia limitada. Para mitigar esta limitación, los resultados del análisis se comparan con los resultados de otros estudios sobre este tema. Sin embargo, los datos y el número de estudios sobre este tema son limitados.

2 Estonia: Estado de la digitalización en la gestión de residuos municipales

2.1 Organización de la gestión de los residuos municipales en Estonia

En Estonia, la gestión de los residuos es responsabilidad de los gobiernos locales, que organizan las instalaciones de recogida y separación de residuos. Los gobiernos locales tienen planes de gestión de residuos independientes, que son específicos para cada región y tienen en cuenta la densidad de población y la capacidad local. Los planes locales de gestión de residuos se preparan para determinados periodos de tiempo y están alineados con los principales objetivos del Plan Nacional de Gestión de Residuos 2014-2020 (CE, 2014).

Según la Ley de Residuos, una de las responsabilidades más importantes de las autoridades locales en materia de gestión de residuos es organizar la recogida de residuos municipales en su territorio. Los residuos domésticos/municipales son recogidos y transportados por una empresa de gestión de residuos, contratada por el municipio mediante contratación pública. Se firma un contrato por cinco años y la empresa tiene el monopolio en una determinada zona de recogida de residuos (las zonas de recogida de residuos se definen en la Ley de Residuos). La empresa que ofrece la tarifa más barata para la recogida de residuos suele ganar la licitación. La recogida organizada de residuos tiene que cubrir los residuos municipales (mixtos) generados en la zona. No obstante, la autoridad local puede ampliar la recogida organizada a otros tipos de residuos (Agencia de Medio Ambiente de Tallin, 2014).

Además de la Ley de Residuos, las responsabilidades relacionadas con la gestión de residuos también están reguladas por la Ley de Envases, según la cual las autoridades locales tienen la responsabilidad de organizar la recogida de residuos de envases en su territorio. El objetivo principal es que las autoridades locales coordinen el funcionamiento de un sistema de recogida (acuerdos con organizaciones de recuperación, presentación de los requisitos para el sistema de recogida de residuos de envases, sensibilización y supervisión) (Agencia Medioambiental de Tallin, 2014).

En Estonia, la forma más habitual de recogida de los distintos tipos de residuos incluye puntos de acercamiento a las zonas residenciales. Además, existe un sistema de devolución de depósitos de responsabilidad ampliada del productor (EPR) en el que los puntos de devolución se encuentran principalmente cerca de las tiendas de comestibles locales. Los sistemas de recogida puerta a puerta y de recogida combinada son cada vez más comunes, pero varían en función del plan de gestión de residuos de un gobierno local; son un sistema de recogida de residuos preferido para las urbanizaciones privadas/barrios. Cada vez hay más centros de servicios cívicos para la recogida de diferentes tipos de residuos (residuos electrónicos, residuos de jardín/verdes, residuos de la construcción y otros). Los sistemas de recogida varían en las distintas ubicaciones geográficas en función de la población y la densidad de población (Ministerio de Medio Ambiente de Estonia, 2014, pp. Anexo 4, pp. 7-22)

La recogida de los residuos de envases (no cubiertos por el sistema de depósito-reembolso) está organizada por tres organizaciones de responsabilidad del productor. Los residuos de envases se recogen en su mayoría directamente de las empresas y los minoristas. Los residuos de envases de los hogares se recogen principalmente a través del sistema de puntos de recogida. Además, existe un sistema de depósito y devolución de envases de vidrio, plástico y aluminio que funciona muy bien (organizado por una organización de depósito) (BiPRO, 2014).

Las sanciones por incumplimiento son bajas

La supervisión del Estado sobre el cumplimiento de los requisitos derivados de la Ley de Residuos debe ser ejercida por la Inspección de Medio Ambiente y los gobiernos locales o los organismos de la administración local. En caso de incumplimiento de un precepto, el límite máximo de una multa en virtud del procedimiento previsto en la Ley de Ejecución Sustitutiva y Pago de Sanciones es de 32.000 euros.

Las tasas del servicio de gestión de residuos son fijas

No se ha encontrado ningún sistema especial de incentivos que recompense a los municipios y a los hogares para prevenir o reducir los residuos sólidos en el sector de los RSU. Las tarifas de servicio se fijan en el contrato entre el municipio y el contratista, diferenciadas por paquete de servicios, mientras que el paquete mínimo es obligatorio para un tipo de vivienda determinado, es decir, cada poseedor de residuos tiene que elegir un paquete. El objetivo de las recogidas organizadas por el municipio es claramente incluir al mayor número posible de titulares de residuos en el plan de recogida. Teniendo en cuenta el nivel notablemente bajo de las tarifas del servicio, el resultado parece haber sido exitoso. En varias zonas, los hogares pagan alrededor de 1 euro/mes, aunque la media es de 4-6 euros/mes. Estas tasas se pagan directamente a los proveedores de servicios privados. En el caso de los edificios de apartamentos, la tasa de servicio se calcula como una tarifa plana (Ministerio de Medio Ambiente de Estonia, 2012).

2.2 Soluciones de TI utilizadas en la gestión de residuos municipales

Los resultados y las afirmaciones obtenidas sobre el uso de soluciones informáticas innovadoras en la gestión de residuos municipales podrían ser incompletos y segmentados. No fue posible obtener respuestas personales de todas las empresas municipales de gestión de residuos, y los datos de fuente abierta disponibles no son exhaustivos. Lo que faltaba era, en particular

- información sobre el uso de Blockchain para el seguimiento de la cadena de residuos y el suministro de información fiable
- información sobre el uso de tokens o estrategias de gamificación

IoT (sensores, cámaras, escáneres de residuos)

Según una respuesta escrita del Centro de Reutilización de Residuos de Tallin (<https://tjt.ee/>) los camiones de basura que recogen los residuos municipales en Estonia utilizan GPS y software de seguimiento y son del tipo más moderno y automatizado. En Estonia no se utilizan soluciones inteligentes en los contenedores de basura a gran escala, ya que la cantidad de contenedores de RSU y la frecuencia de su vaciado es demasiado elevada.

Los contenedores inteligentes sólo se utilizan para clientes industriales

Según una entrevista con el representante de Ragn-Sells (www.ragnsells.ee), la empresa utiliza tecnologías de sensores (soluciones RFID), en las que la información relativa al nivel de llenado del contenedor de basura se recoge de los sensores de los contenedores inteligentes en tiempo real. En la actualidad, estos cubos inteligentes sólo se utilizan para clientes comerciales/industriales, ya que necesitan suministro de energía eléctrica, al que se puede acceder fácilmente, por ejemplo, en las instalaciones de fabricación. Además, los clientes industriales suelen utilizar grandes contenedores de basura en los que el volumen de residuos puede reducirse considerablemente antes de la recogida propiamente dicha. Los sensores instalados en los contenedores también se han probado en los contenedores públicos para la

recogida de residuos de envases (en unos 40 contenedores en Tallin). Para los clientes privados esta solución podría ser demasiado costosa.

Para el seguimiento de los residuos generados por los hogares y para la evaluación de las pautas de comportamiento de los clientes privados, se han realizado algunas pruebas piloto en hospitales de Noruega y se prevé su implantación en Estonia en un futuro próximo.

El IoT se utiliza para mejorar la automatización y la eficiencia de los procesos

En Estonia, se utiliza un sistema logístico muy avanzado para los camiones de recogida de residuos, que proporciona notificaciones de la necesidad de recogida junto con información sobre rutas optimizadas para la recogida de residuos, de modo que puedan reducirse el tiempo de recogida y los costes relativos al combustible, el material de los camiones y los recursos humanos. Además, se utiliza una plataforma avanzada de autoservicio para clientes particulares y empresariales, en la que el sistema calcula automáticamente qué servicios se prestan en la dirección del "destinatario del servicio". La tarea más difícil para los desarrolladores del sistema es calcular correctamente los intervalos de tiempo de recogida de residuos.

Se prueba una nueva línea de clasificación para clasificar diferentes tipos de residuos plásticos con espectroscopia de infrarrojos (mediante aprendizaje automático). El sistema reconoce diferentes tipos de plásticos y los separa mediante el uso de aire comprimido.

Según una respuesta escrita del Centro de Competencia en Electrónica, Tecnologías de la Información y la Comunicación de Eliko, la empresa Bepco está utilizando el sistema RFID (identificación por radiofrecuencia) para controlar los envases reutilizables de su sistema de gestión de residuos (<http://bepco.ee/rfid-tracking/>). Un vídeo más detallado está aquí: <https://youtu.be/iEfEQsJJ07Q>.

Las aplicaciones para teléfonos inteligentes que ayudan a los ciudadanos en la gestión de residuos son

- Página web informativa (también hay una aplicación disponible para teléfonos inteligentes) para los ciudadanos que muestra dónde depositar los diferentes tipos de residuos domésticos: <https://kuhuviaa.ee/>
- Juego para los ciudadanos sobre cómo clasificar correctamente los distintos residuos domésticos: <https://www.energia.ee/prugimang>
- Además, se está desarrollando un sistema de notificación de la hora de entrega para teléfonos inteligentes. Esta aplicación para clientes permitiría a los ciudadanos reunir y programar los horarios de recogida de residuos.

Diferentes sistemas de información para tipos de residuos específicos

Los principales sistemas de información que prestan servicios de gestión de residuos en Estonia son

- PROTO - Registro de productos y residuos problemáticos en Estonia
- PAKIS - Registro de envases que lleva un registro de los envases de los productos que circulan en el mercado estonio, los residuos de envases generados, la reutilización de envases, la recuperación de residuos de envases, etc.
- OJS - Sistema de información para la gestión de residuos peligrosos
- JATS - Sistema de información sobre residuos

2.3 Evaluación final

Los recientes avances tecnológicos ofrecen nuevas soluciones inteligentes en todas las fases de la gestión de los residuos municipales. Sin embargo, la aplicación de las nuevas tecnologías depende de muchos factores, desde las oportunidades económicas hasta la organización general de la gestión de residuos y las pautas de generación de los mismos. Según los expertos de VJK, las empresas de residuos estonias no han realizado inversiones a gran escala en el desarrollo de tecnología en los últimos años, ya que los posibles avances en la gestión de residuos han sido bastante poco claros (OSKA, 2019). Hasta ahora no se han encontrado en Estonia programas específicos de financiación pública (a nivel de gobierno federal, regional o local) para apoyar la transformación digital de los proveedores públicos de gestión de residuos municipales.

3 Alemania: Estado de la digitalización en la gestión de residuos municipales

Según el Observatorio de la ECO-Innovación (2019), Alemania es un país puntero en el contexto de la gestión de residuos, el reciclaje y las tecnologías medioambientales. Últimamente, la atención se centra cada vez más en la digitalización y sus potenciales para la economía circular y la protección del medio ambiente y los recursos. El Ministerio de Medio Ambiente alemán lanzó una "Agenda Digital" en 2020.

Además, "Alemania aún no ha desarrollado un Plan de Acción de Ecoinnovación (Eco-AP) específico, pero ha aplicado una política de ecoinnovación. Varias estrategias allanan el camino de la ecoinnovación, la I+D y la investigación e inversión, pero corren el riesgo de quedarse en un nivel estratégico mientras no estén flanqueadas por incentivos e instrumentos vinculantes que dirijan la dirección. Acaba de iniciarse un nuevo programa de I+D con el nombre de "Economía circular con uso eficiente de los recursos - Ciclos de construcción y minerales (ReMin) (2020-2024).

El [Observatorio de la Ecoinnovación](#) publica el índice de ecoinnovación, que demuestra el rendimiento de la ecoinnovación de un país en comparación con la media de la UE y con los mejores resultados de la UE.

La puntuación muestra que el rendimiento global de Alemania en comparación con los 27 países y la media de la UE es bueno. En 2019, Alemania ocupa el sexto lugar en el Índice de Ecoinnovación (Figura 1 en el enlace anterior). Ha perdido tres puestos en comparación con el índice de 2017 y seis puestos desde 2015, cuando ocupaba el primer lugar, pero sigue contando entre los líderes

3.1 Organización de la gestión de residuos municipales en Alemania

De acuerdo con la estructura federal de Alemania, las responsabilidades, la rendición de cuentas y las obligaciones en materia de gestión de residuos se reparten entre el gobierno federal, los 16 estados federados y las comunidades locales y ciudades. El Ministerio de Medio Ambiente nacional establece las prioridades, participa en los procesos legislativos medioambientales a nivel nacional y europeo y supervisa su aplicación, formula estrategias de aplicación con objetivos y define los requisitos para las instalaciones de residuos. Los estados federados y las comunidades/ciudades locales son responsables de la aplicación de las leyes nacionales y europeas. Para la aplicación, cada estado nacional adopta su propia ley de gestión de residuos que contiene otras disposiciones de aplicación para los municipios y ciudades del respectivo estado federal en la medida en que lo permita la legislación nacional y europea. Dado que no existe una planificación central o uniforme de la gestión de residuos para toda Alemania, en ocasiones existen conceptos de gestión de residuos y normas sobre requisitos muy diversos en vigor a nivel estatal y municipal (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2016).

Separación de residuos e información sobre los hogares

Los residuos generados por los hogares alemanes se recogen de forma descentralizada mediante un servicio semanal puerta a puerta. Se pide a cada hogar que separe sus residuos en la mayoría de los casos en cuatro contenedores específicos de diferentes colores:

- cubos verdes para los biorresiduos
- contenedores amarillos para los residuos de envases, plásticos y metales
- cubos azules para el papel
- cubos negros para los residuos.
- Los residuos voluminosos pueden depositarse directamente en un punto central de recogida del municipio o, en el caso de cantidades mayores, también serán recogidos por el servicio de residuos.
- Las latas y otros envases de un solo uso y rellenables pueden llevarse a los supermercados, cuando estén vacíos, para recoger el depósito pagado al comprar estos productos. Todos los envases de bebidas, con algunas exenciones para el vino, etc., tienen una tasa de depósito.
- Los residuos de vidrio, como las botellas de vino vacías, se depositan en contenedores centrales de recogida repartidos por toda la ciudad.

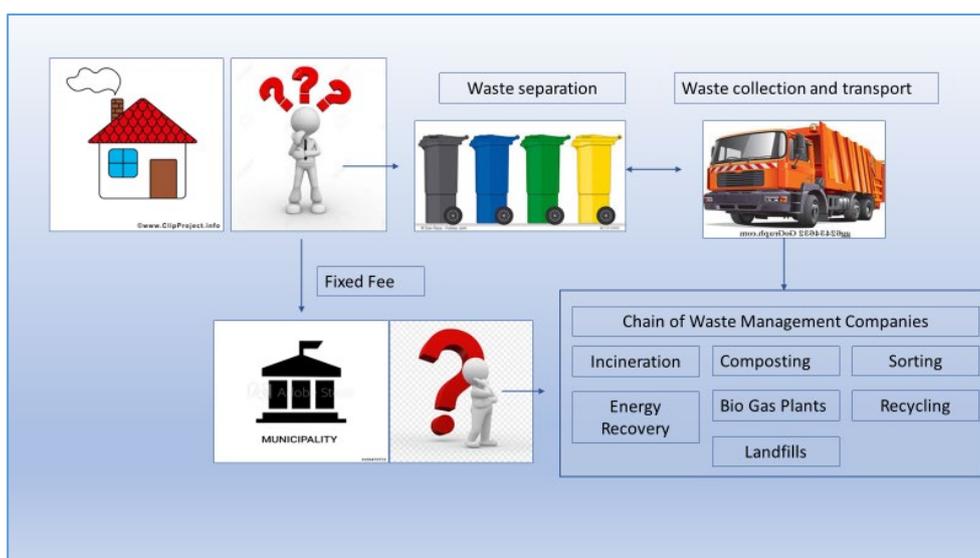


Figura 2. Asimetría de información entre los usuarios y la gestión municipal de residuos (fuente: los autores)

Tasa doméstica fija

Los ciudadanos suelen pagar una tasa fija a los municipios por la recogida de residuos domésticos. La tasa es definida por las autoridades locales. En algunos municipios más progresistas, la tasa de residuos depende del peso de los residuos domésticos producidos. Sin embargo, esto requiere, en primer lugar, que el contenedor esté equipado con un chip RFID y, en segundo lugar, que los camiones de la basura midan el peso con una báscula en el camión al vaciar los contenedores de basura.

La recogida de los residuos de envases es gratuita para los ciudadanos, ya que el productor de un producto es responsable del mismo cuando se convierte en residuo (la llamada "responsabilidad ampliada del productor - ERP"). A diferencia de otros países de la UE, en

Alemania la ERP solo se aplica a los residuos de envases domésticos, mientras que en la mayoría de los países europeos se incluyen los residuos de envases comerciales e industriales (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2016).

Recogida y transporte de residuos domésticos

En Alemania, en base a la ley de economía circular, los municipios son responsables de la eliminación de los residuos domésticos privados y de los residuos comerciales similares a los domésticos. La responsabilidad de los municipios abarca la recogida y el transporte de los residuos, las medidas para promover la prevención y la recuperación de residuos, y la planificación, construcción y funcionamiento de las instalaciones de eliminación de residuos de acuerdo con la legislación nacional y regional. El servicio puede ser prestado por las propias autoridades públicas de gestión de residuos o en forma de encargo a empresas de APP (Asociación Público-Privada) o a empresas privadas de gestión de residuos tras una licitación.

El mercado de la recogida y el transporte de residuos está formado por un 52% de empresas de propiedad municipal, mientras que las empresas privadas tienen una cuota de mercado del 41% y el 7% corresponde al segmento de las APP (ASA et al, 2020).

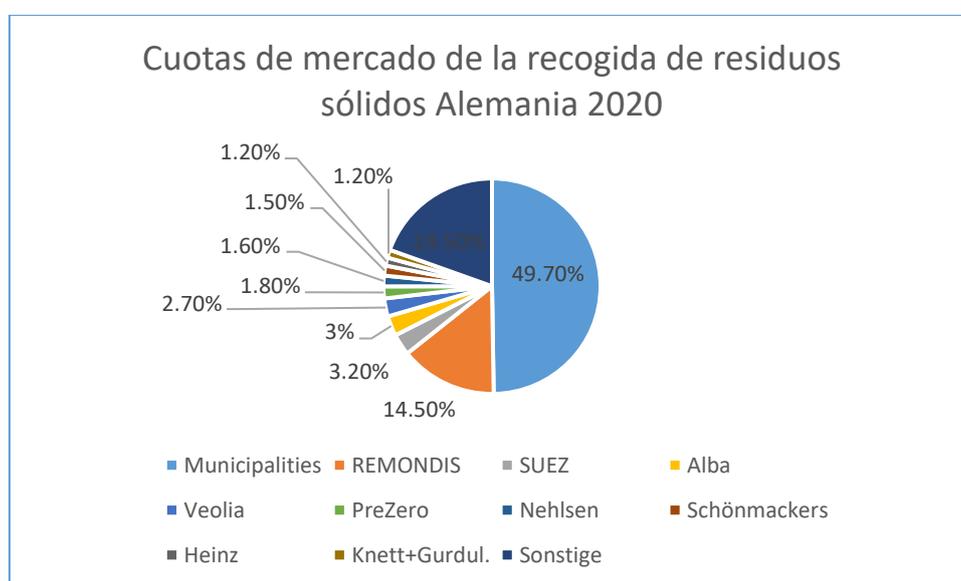


Figura 3. Cuotas de mercado de la recogida de residuos sólidos - Alemania 2020 (fuente: EUWID, 2020)

3.2 Soluciones de TI utilizadas en la gestión de residuos municipales

Debido a la estructura organizativa descentralizada de la gestión de residuos alemana, no existen estadísticas centrales sobre proyectos digitales innovadores en la gestión de residuos municipales. Sólo la Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU), la Asociación Alemana de Servicios Públicos Locales, lleva a cabo un [mapeo de las aplicaciones digitales](#) de sus empresas miembros y publica todos los proyectos en su página web. Utilizando la palabra clave "Gestión de Residuos" en su función de búsqueda se obtienen 23 ejemplos de buenas prácticas de aplicaciones digitales en empresas locales de gestión de residuos. Además, la Verband Kommunalen Unternehmen e.V. (2019) publicó un estudio "[Abfallwirtschaft Digital](#)" (Gestión digital de residuos) con 18 ejemplos de mejores prácticas de gestión digital de residuos. En total, esto da como resultado 46 proyectos digitales en la gestión de residuos

municipales en 43 municipios. Éstos fueron seleccionados de acuerdo con las siguientes categorías:

- Talleres de ideas digitales
- Reconocimiento de objetos e imágenes de limpieza (análisis de datos)
- Máquinas y robots de limpieza autónomos
- Contenedores inteligentes equipados con sensores para medir el llenado
- Aplicaciones de notificación de residuos o códigos QR para los ciudadanos
- Sistemas telemáticos para la comunicación entre vehículos y oficinas
- Sensores de rendimiento móviles que registran datos para la optimización de procesos

Como ninguno de los proyectos de la lista tenía una aplicación de Blockchain, ésta no se incluyó como categoría explícita.

El proceso de selección condujo a los siguientes resultados:

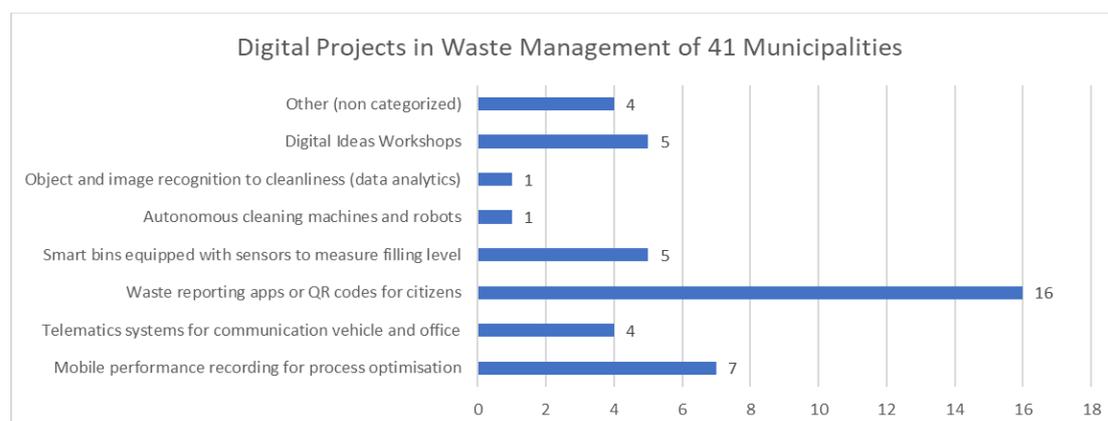


Figura 4. Proyectos digitales en la gestión de residuos municipales en Alemania (fuente: los autores basados en los datos del [mapeo de proyectos digitales de la Asociación Alemana de Servicios Locales de Municipios](#) (VKU) y Verband Kommunalen Unternehmen e.V. (2019)- para estadísticas detalladas cf apéndice)

La mayoría de los proyectos digitales son aplicaciones de notificación de residuos para que los ciudadanos informen de la existencia de basura en los parques o incluso para notificar errores durante la recogida de basura. En definitiva, se trata de los primeros pasos tentativos hacia la comunicación e interacción con los ciudadanos, aunque todavía no superan la asimetría informativa antes mencionada. La mayoría de estas aplicaciones no son interactivas, sino que están diseñadas como una vía de comunicación unidireccional. Por lo general, no existe una estrategia de comunicación basada en datos que se adapte individualmente al perfil del usuario de cada hogar. Una estrategia de este tipo supondría una imagen completamente nueva de los municipios como proveedores de servicios para los hogares en materia de gestión de residuos.

Los proyectos digitales, que incluyen el equipamiento de cubos de basura con sensores para medir los niveles de llenado, también avanzan hacia la superación de la asimetría de la información. Los sensores de los cubos de basura inteligentes permiten al municipio asignar cubos a sus propietarios e informar a los hogares sobre su generación individual de residuos

al mes. Si se cambian las estructuras de las tarifas, pasando de las fijas a sistemas de pago por uso, se crearían más incentivos para evitar los residuos. El problema aquí será la protección de datos y el derecho a la intimidad de los ciudadanos. La protección de datos y el anonimato serían sin duda más fáciles de conseguir con una solución basada en Blockchain. Básicamente, la superación de estos obstáculos requerirá la creación de confianza entre los ciudadanos y los municipios, que sólo puede instalarse a través de conceptos innovadores de comunicación y participación.

Los sistemas telemáticos para la comunicación en tiempo real entre los camiones de residuos y las oficinas de los municipios van de la mano de un registro móvil del rendimiento que prepararía la optimización del proceso. Hoy en día, los camiones de residuos podrían estar equipados con todas las soluciones modernas de IoT que producen una gran cantidad de datos en tiempo real.

3.3 Evaluación final

Hasta la fecha, entre los enfoques para digitalizar la gestión de los residuos municipales faltan las siguientes tecnologías:

- Análisis de Big Data basado en IA
- Blockchain y tokenización

Básicamente, los enfoques adoptados hasta ahora parecen ser proyectos digitales aislados que apenas se integran en una estrategia de transformación digital coherente para la transformación de la gestión de residuos municipales. Los enfoques son en gran medida impulsados por la tecnología y no se centran en los ciudadanos y la prevención de residuos como una prioridad principal. De todos modos, la tecnología por sí sola no puede hacer que esto suceda. Esto requiere una transformación fundamental de la organización y la misión de los municipios: El objetivo de todas las actividades y operaciones debe ser evitar los residuos en los hogares, es decir, en los ciudadanos.

4 Grecia: Estado de la digitalización en la gestión de residuos municipales

4.1 Organización de la gestión de los residuos municipales en Grecia

La estructura administrativa con respecto a la gestión de residuos en Grecia incluye a los siguientes actores:

- El Ministerio de Medio Ambiente y Energía (YPEN) es responsable del desarrollo y la aplicación de las políticas medioambientales y de gestión de residuos a nivel nacional.
- El Ministerio del Interior (YPES) es responsable de la supervisión de las Administraciones Descentralizadas (DA) y las autoridades locales (Regiones y Municipios).
- La Agencia Helénica de Reciclaje (HRA) o "Gestión Alternativa de Residuos" es una entidad privada de interés público, sin ánimo de lucro, supervisada por el YPEN. Su principal objetivo es el desarrollo, la planificación y la aplicación de políticas de reciclaje y recuperación de residuos.
- Las Asociaciones de Gestión de Residuos Sólidos ("FoDSA" en griego), son las entidades regionales de gestión de residuos sin ánimo de lucro que engloban a los municipios de cada región y son responsables del desarrollo, la aplicación y la supervisión de los Planes Regionales de Gestión de Residuos.
- Los municipios son responsables de la elaboración y aplicación de los Planes Locales de Gestión de Residuos (basados en los Planes Regionales de Gestión de Residuos).
- Sistemas de Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP) y Organizaciones de Responsabilidad del Productor (ORP), que son organizaciones privadas agrupadas por sectores, que consisten en productores responsables bajo la política de RAP. Grecia cuenta con sistemas de RPE (para los RSU) para las pilas, los RAEE y los envases.
 - Un PRO para la recogida de pilas llamado AFIS S.A.
 - Dos empresas de recogida de RAEE: ANAKYKLOSI S.A. y FOTOKYKLOSI S.A.
 - Cuatro PROs para los envases:
 - ✓ La Hellenic Recovery Recycling Corporation (HERRCO), que es el sistema más extendido y cuenta con una amplia red de "contenedores azules" para los residuos de envases y una segunda red de "campanas azules" para la recogida selectiva de vidrio.
 - ✓ El Centro de Gestión Ambiental Alternativa S.A. ("KEPED" S.A., en griego) es un PRO, que promueve una recogida a nivel nacional de los residuos de envases de aceites lubricantes.
 - ✓ El Rewarding Packaging Recycling, que lleva a cabo la recogida selectiva de residuos municipales de envases a través de 51 "Casas de Reciclaje" distribuidas en las principales zonas urbanas de todo el país (véase el ejemplo de buenas prácticas más abajo).
 - ✓ AB Vassilopoulos es una cadena de supermercados que cuenta con el único PRO de Grecia y de Europa que recoge residuos de envases y ofrece una recogida selectiva de materiales en sistemas integrados de reciclaje de residuos de envases (papel, plásticos, metal y vidrio). El sistema utiliza "centros de reciclaje" y máquinas de venta inversa en los locales de los supermercados de todo el país (AB Vasilopoulos S.A., 2017). Ofrecen

- incentivos monetarios a los ciudadanos para el reciclaje (1 euro por cada 33 envases) a través de vales de compra.
- ✓ Los PROs que ofrecen un esquema de reembolso de depósito voluntario son gestionados también por la Cervecería Ateniense para las botellas de cerveza y bebidas (HRA, 2019); (Cervecería Ateniense, 2020).

4.2 Soluciones de TI utilizadas en la gestión de residuos municipales

Hasta ahora no se ha extendido la aplicación de soluciones informáticas en los RSU en Grecia. Algunos municipios han empezado a llevar a cabo acciones locales, y se han anunciado algunos nuevos intentos, principalmente a través de proyectos piloto.

Aplicación piloto del sistema de pago por vertido

El municipio de Elefsina, en la región del Ática, ha puesto en marcha un sistema de pago por tirar (PAYT) en una aplicación piloto en el marco del programa LIFE Medio Ambiente (Life + Environment Policy and Governance, 2011). Los resultados han sido solo moderadamente exitosos. Según Vitoraki (2019), la infraestructura de reciclaje y la comodidad para los ciudadanos no se diseñó adecuadamente. Es necesario mejorar el sistema de recogida para que el reciclaje sea más cómodo para los ciudadanos. La recogida puerta a puerta es una opción que debe examinarse para algunos o todos los distritos municipales.

Varios proyectos de contenedores inteligentes

La región de Chania, en Creta, participó en un proyecto del programa LIFE titulado: "Gestión sostenible de los residuos mediante herramientas TIC-LIFE EWAS", cuyo objetivo era optimizar la recogida de residuos en términos de frecuencia de recogida y planificación de rutas. Los sensores enviaban datos de los niveles de llenado de cada contenedor a través de GPRS.

Los municipios de Metsovo y Ziros, en Hepirus, participaron en el proyecto INTERNET OF BINS, cofinanciado por el programa Interreg IPA CBC "Grecia - Albania 2014 - 2020". El proyecto innovador contiene tres elementos:

- Solución integrada de gestión de residuos "inteligente"/Mejora de la capacidad: Instalación de equipos de gestión inteligente de residuos y de monitorización telemática (sistema de monitorización de contenedores-sensores de llenado ultrasónico y aplicación de software, suministros para la gestión de residuos).
- Reducción de las molestias visuales: Instalación de sistemas subterráneos de recogida de residuos en puntos críticos y
- Enfoques ecológicos de la gestión de residuos: suministro y distribución de contenedores de compostaje (para residuos domésticos), campañas de sensibilización, planes de optimización y seguimiento de la gestión de residuos (plan de análisis y gestión de datos), aplicaciones móviles y web de información temática.

IoT en los camiones de residuos y en la comunicación con los residentes

El municipio de Halandri participó en el proyecto "Waste4Think" financiado por el programa Horizonte 2020 de la UE. La gestión de residuos del municipio combina dos características:

- La comunicación con los residentes para garantizar su compromiso (página web del municipio actualizada, uso de las redes sociales, eventos de concienciación para la reutilización y el reciclaje, horario de recogida para los residentes).
- IoT en los camiones de residuos: GPS y sistemas informáticos, en los vehículos de recogida de biorresiduos y papel/cartón.

Uso de los datos de los hogares y comunicación con los residentes

El municipio de Vari-Voula-Vouliagmeni implementó la recogida selectiva de seis (6) flujos de residuos. El municipio tiene contratos con sistemas de recogida selectiva (HERRCO) y aplica diferentes sistemas de recogida según las características de los hogares, el tipo de residuos y la zona (puerta a puerta, en la acera, comunal, etc.).

Las acciones de gestión de residuos y reciclaje del municipio se comunican a los residentes para garantizar su compromiso, de muchas maneras, incluyendo, entre otras, información y directrices fácilmente accesibles para los residentes a través de la página web del municipio, eventos sociales, o el apoyo prestado a grupos voluntarios de protección civil y medioambiental.

Incentivos y comunicación con los ciudadanos combinados con contenedores inteligentes

Para aumentar la participación de los ciudadanos en el procedimiento, el municipio de Voula-Vari-Vouliagmeni concede como incentivos puntos de fidelidad y descuentos en la entrada a las playas, en las tarifas de las guarderías, etc. El municipio implantó soluciones de gestión de residuos "SMART" que incluyen la telemática para la optimización de las rutas de recogida, y contenedores "SMART" con sensores que indican el nivel de llenado y la ubicación de los contenedores.

El municipio de Vrilissia aplica una recogida selectiva de doce (12) flujos de residuos. La comunicación y la difusión continuas e innovadoras de la gestión de residuos y el reciclaje del municipio están diseñadas para garantizar el compromiso de los residentes, con esfuerzos que incluyen, entre otros::

- una plataforma en línea para sensibilizar, informar y educar a los residentes sobre el compostaje, la correcta recogida selectiva de productos orgánicos, etc;
- información y directrices fácilmente accesibles para los residentes a través de la página web actualizada del municipio, eventos sociales, talleres;
- el uso de la plataforma intermunicipal de recompensa por el reciclaje "Follow green" que promueve el reciclaje formando y educando a los residentes a través de juegos, artículos sobre el reciclaje, etc. mientras se obtienen puntos canjeables en los negocios locales;

Plataforma de recogida de datos para el seguimiento de los flujos de residuos y el sistema de tasas de pago.

Heraklion (GR) y la región de Creta participaron en el proyecto "WIN - POL" (Waste Management Intelligent Systems and Policies, PGI04924) financiado por Interreg Europe 2014-2020. El proyecto tiene como objetivo mejorar la gestión de residuos en las ciudades europeas mediante el uso de sistemas de IoT y de incentivos. WINPOL ha logrado un hito importante con la preparación de seis planes de acción, cada uno de los cuales se aplicará en

una de las seis ciudades seleccionadas. En el caso de Heraklion se van a implementar y probar las siguientes acciones

- un sistema innovador de recogida de datos sobre biorresiduos
- una plataforma de seguimiento de los flujos de residuos y optimización de la cadena de suministro a nivel municipal
- una plataforma que supervise los residuos recogidos en los Puntos Verdes a nivel regional y comparta los datos con los usuarios
- introducción de sistemas de pago para financiar a los municipios

La región de Ática ha anunciado una licitación para el desarrollo de una plataforma digital remota, que se utilizará para integrar los programas de recompensa dirigidos a la concienciación sobre el reciclaje, con los rincones de reciclaje y los sistemas de contenedores de superficie y subterráneos.

La plataforma remota agregará, en un único sistema de información, todos los datos obtenidos de los rincones de reciclaje, de los ciudadanos, de los municipios y de todas las demás partes interesadas. La información será procesada por la plataforma para formular procedimientos y presentar y comunicar los resultados a las partes implicadas.

Las principales funciones de la plataforma serán

- Comunicación con los rincones de reciclaje que forman parte de la red y, más concretamente, con los organismos o equipos de control locales (consolas de gestión local - KTD)
- Comunicación con los ciudadanos y recicladores a través de la web, apps, etc.
- Informar y concienciar a los ciudadanos.
- Premiar a los ciudadanos en función de los residuos reciclados a través de los rincones de reciclaje contratados.
- Registro de los volúmenes de residuos recogidos por rincón de reciclaje, por usuario y por municipio.
- Aviso de "cubo lleno" y optimización de las rutas de recogida. Para optimizar las rutas de recogida, se colocará en cada camión de la basura una tableta con un software hecho a medida. El software recibirá datos sobre el nivel de llenado de los cubos desglosados por rincón de reciclaje y cubo de material. A partir de estos datos desglosados por entidad de recogida de materiales reciclables y camión disponible, el software configurará cada día las rutas de recogida óptimas y las remitirá a los respectivos agentes de recogida o a las tabletas de los camiones, en función de los acuerdos con los agentes de recogida.

La plataforma procesará conjuntos de datos constantemente actualizados y tendrá la capacidad de editarlos y visualizarlos en función del público interesado. Además, la plataforma podrá conectarse con cualquier otro sistema inteligente de clasificación en origen de materiales reciclables (como puntos verdes estáticos o móviles) o con cualquier otra plataforma digital de recompensas al reciclaje.

La Agencia Helénica de Reciclaje (HRA/EOAN) ha desarrollado, con el apoyo técnico de D-Waste, una nueva plataforma especializada denominada "GRE-CYCLE", que permite informar a los ciudadanos de forma rápida, sencilla y responsable sobre cuestiones específicas de reciclaje. Los usuarios también pueden, en cuestión de segundos, enviar fotos y comentarios

sobre temas específicos de reciclaje, utilizando su teléfono móvil. La aplicación está disponible para iOS y Android y se puede descargar en tiendas online gratuitas. La app se ha desarrollado utilizando software de código abierto. En concreto, para la visualización de los datos se ha utilizado Google Maps junto con CMS de código abierto.

4.3 Ejemplo de buena práctica "Premiar el reciclaje de envases"

La solución informática más conocida dentro de la Responsabilidad Ampliada del Productor es la de una Organización Responsable del Productor llamada Rewarding Packaging Recycling (RPR) que estableció una red de 51 "Casas del Reciclaje" en las principales zonas urbanas del país.

RPR gestiona un sistema integrado de recogida selectiva que utiliza una red de máquinas de devolución de envases (RVM), los Centros de Reciclaje Rewarding (RRC) o "Casas del Reciclaje", que se instalan en zonas públicas de fácil acceso. Cada RRC ocupa un espacio de aproximadamente 11 m² y está diseñado para aceptar residuos de envases de esencialmente cuatro flujos de residuos: plásticos, metal, vidrio y papel/cartón, mientras que recientemente ha habido una disposición adicional en algunos de los RRC para los envases de madera (principalmente palets). El RRC mantiene los materiales desechados separados y reduce su tamaño (aplastamiento para el vidrio, prensado para las latas y prensado o triturado para los plásticos), a la vez que ofrece una recompensa monetaria a sus usuarios (1€ por cada 33 unidades), que se ofrece como vale de descuento en los supermercados colaboradores o puede donarse a organizaciones benéficas.

La PRO supervisa las operaciones de gestión de residuos, como la recogida, la transferencia, el tratamiento, el personal y el mantenimiento de los equipos, que son ofrecidos por contratistas. Además, la PRO se encarga de comunicar los datos a la EOAN (Organización Griega de Reciclaje). Los municipios colaboradores son responsables del suministro de electricidad para el funcionamiento de los equipos cuando se instalan en lugares públicos.

La PRO consiguió un nuevo Récord Guinness por el "mayor número de botellas de vidrio recicladas en una semana" y el segundo Récord Guinness por el "mayor número de botellas de plástico recicladas en una semana". La primera "Casa del Reciclaje" móvil del mundo, cuyo funcionamiento se basa en la energía solar, se creó en 2020 para que el servicio se desplegara por la Riviera de Atenas.

4.4 Evaluación final

Las soluciones informáticas en Grecia se han aplicado parcialmente en proyectos piloto. En los últimos dos años, algunos municipios han empezado a aplicar tecnologías inteligentes para optimizar principalmente la recogida y la separación de residuos, pero queda mucho por hacer en un futuro próximo para alcanzar los objetivos del Plan de Gestión de Residuos revisado. Los proyectos de investigación en curso son prometedores. Sin embargo, aún no se han evaluado sus resultados. El nuevo instrumento económico, es decir, el pago por tirar (PAYT) que se aplicará en un futuro próximo, de acuerdo con el NWMP revisado, exige que se establezcan muchos cambios tecnológicos de forma regular.

5 Países Bajos: Estado de la digitalización en la gestión de residuos municipales

5.1 Organización de la gestión de los residuos municipales holandeses

En los Países Bajos, los residuos son recogidos en los hogares por los municipios o en su nombre. Como los residuos de los comercios y establecimientos similares suelen recogerse al mismo tiempo que los residuos domésticos, una proporción (pequeña) no procede de los hogares. Los residuos se recogen puerta a puerta. Esto incluye también los residuos domésticos (voluminosos) recogidos a través de contenedores de recogida (subterráneos). Los residuos reciclables se depositan en las instalaciones de la calle (como los contenedores de vidrio), en los patios municipales o en las calles medioambientales.

En el marco de la política pública de residuos domésticos 2025 (VANG-HHA, 2014), la política neerlandesa se comprometió a la transición hacia una economía circular y a cerrar las cadenas de materias primas y materiales en la medida de lo posible. El objetivo es que en 2020 un máximo de 100 kg de residuos gruesos y finos por habitante y año vayan a parar al tratamiento final (incineración). Para 2025, esta cifra deberá reducirse aún más hasta un máximo de 30 kg de residuos al año.

El programa de aplicación incluye varias líneas de acción para lograr una mayor separación de residuos y una menor cantidad de residuos domésticos:

- Las partes de la cadena trabajan juntas para cerrar las cadenas. El enfoque de la cadena se centra principalmente en los productos que forman parte de los residuos domésticos en su fase de fin de vida. Algunos productos también se encuentran en otros flujos de residuos (por ejemplo, los residuos de oficina).
- Reducir la cantidad de material que sale de la cadena como residuo de los hogares reduciendo la cantidad de material que sale de la cadena como residuo de los hogares.
- Hacer que los contaminadores paguen. Se da espacio a las empresas y a los ciudadanos y se abordan los fallos del mercado.
- Estimular y facilitar que las empresas y organizaciones innovadoras formulen conjuntamente una ambición sostenible y tomen medidas concretas para ponerla en práctica.

El principio de "quien contamina paga" se puso en práctica con el sistema de tasas DIFTAR que utilizan la mayoría de los municipios. DIFTAR es la abreviatura de tarifas diferenciadas, lo que significa que los hogares o las personas jurídicas pagan diferentes tarifas por los distintos tipos de residuos en función de las cantidades. Cuanto mayor sea la cantidad de residuos que no se pueden reciclar, mayor será la tasa de recogida de residuos. Por el contrario, si se ofrecen menos residuos, la tasa variable de eliminación de residuos es menor, pero la tasa fija sigue siendo la misma.

En 2019, un hogar holandés pagó 244 euros de media al año por el servicio de gestión de residuos del municipio. Pero las tasas varían mucho de un municipio a otro. Los municipios con bajos costes de gestión de residuos han introducido generalmente la diferenciación de tarifas en el suministro de residuos (diftar). En los municipios DIFTAR, los habitantes suelen separar sus residuos de forma más sistemática, lo que se traduce en un menor volumen de residuos.

5.2 Soluciones de TI utilizadas en la gestión de residuos municipales

En los Países Bajos hay varios proveedores que ofrecen soluciones completas de gestión de residuos para los servicios municipales de medio ambiente y limpieza. Entre ellas se encuentran soluciones tecnológicas avanzadas para la recogida de residuos domésticos, la planificación de rutas, la tecnología de vehículos (en carretera y RFID), los servicios de verano e invierno y la asistencia al cliente. Los proveedores han creado sus propias plataformas que apoyan la gestión de los proveedores, el control del nivel de servicio, la elaboración de informes dinámicos y el análisis. Esto permite a los ayuntamientos hacer un uso más eficiente de los presupuestos disponibles optimizando las rutas, gestionando los contenedores y visualizando la recogida en tiempo real. Proporciona acceso en tiempo real a los datos de los clientes y del servicio, de modo que las consultas puedan ser atendidas inmediatamente. Esto minimiza las rondas de vaciado (perdidas) y mejora el servicio al cliente. Proporcionan un acceso individual, protegido por contraseña, a un entorno en el que se almacena información configurable y específica del cliente. Esto incluye la frecuencia de recogida, el historial de servicios, los servicios adicionales disponibles, las quejas o preguntas, los cambios o mensajes y, si procede, el estado de la cuenta y la factura, incluidos los extractos, las facturas y las opciones de pago en línea.

Soluciones móviles y para vehículos

Las soluciones para vehículos pueden adaptarse a los requisitos funcionales y al presupuesto de cada municipio. Los datos de las rutas se leen desde las tabletas. Se admiten las instrucciones de conducción y la interacción con la administración, así como la tecnología de vehículos para supervisar el rendimiento del servicio, ya sea de forma independiente o en combinación con RFID. Algunos proveedores también ofrecen su propio sistema de pesaje certificado para la recogida de residuos que está totalmente integrado en la solución de back-office de los sistemas ERP. El pago se basa en el peso/frecuencia (diftar), o en los programas de seguimiento del reciclaje.

Solución Blockchain para la supervisión del transporte transfronterizo de residuos

Para reducir los costes de supervisión relacionados con el transporte europeo de residuos, el Ministerio holandés quería combinar la tecnología Blockchain con los sistemas informáticos existentes. De este modo, las autoridades de inspección pueden automatizar una parte importante de sus tareas. Esto libera conocimientos y experiencia para otras tareas importantes que no pueden realizarse sin ayuda humana (todavía). La prueba de concepto de la aplicación Blockchain pretende demostrar que la tecnología Blockchain puede utilizarse para crear eficiencia y transparencia en el proceso de transporte transfronterizo de residuos en la UE. Además, pretende reducir los costes de supervisión relacionados con el transporte europeo de residuos. Los atributos de Blockchain son:

- Las solicitudes de permisos se comprueban, verifican y aceptan a través de una máquina experta en inteligencia artificial.
- Las balanzas conectadas a través de dispositivos del Internet de las Cosas comunican el peso al proceso y al permiso.
- Los datos del permiso se comparten con todas las partes interesadas y determinan las siguientes tareas del proceso en la Blockchain.

5.3 Ejemplos de buenas prácticas

OpenWaste: una plataforma de recogida para las organizaciones responsables

Debido a la ampliación de la responsabilidad del productor en el mercado de los residuos comerciales, varias empresas de recogida de residuos (organizaciones de productores responsables) recorren la misma ruta en los centros urbanos para atender a sus propios clientes. A menudo, también conducen unos detrás de otros en relación con los horarios de entrega. Si se agrupa la recogida de residuos comerciales por parte de diferentes recolectores y se recoge con un camión de basura neutral, el número de movimientos de transporte en las zonas difíciles del centro de la ciudad puede reducirse en más de un 60% sin que el cliente final note nada.

OpenWaste facilita el registro central de los participantes de PRO en la recogida conjunta de residuos industriales en un centro urbano o parque empresarial mediante un único vehículo neutro (White Label). El resultado es menos tráfico y menos emisiones nocivas (CO₂, NO_x y polvo fino).

Ayuntamiento de Apeldoorn - Recycleservice 2025

Los elementos clave del Recycleservice 2025 son: la recogida inversa con un servicio de alto nivel sobre los recursos separados y el pago por tirar los residuos. La recogida inversa implica un servicio de alto nivel para los materiales reciclables (recogida en la acera mediante contenedores) y un servicio de bajo nivel para los residuos (la gente los lleva a los puntos de entrega). Si los ciudadanos optan por un servicio de alto nivel para los residuos finos (cubo de basura en casa), los cubos pueden vaciarse cuando se les avise, pero pagan una tasa de residuos más alta.

Los primeros resultados obtenidos tras la aplicación de la nueva política en sólo la mitad de la ciudad de Apeldoorn son muy prometedores. Partiendo de 123 kg de residuos finos per cápita y una tasa de separación del 66 % en 2017, los residuos finos descendieron a 89 kg per cápita y la tasa de separación subió al 74 % (WINPOL, 2019, p. 53).

Municipio de Ámsterdam: detección de objetos para reconocer el vertido de residuos

Desde principios de 2020, un equipo más dedicado (Ontwikkelteam Openbare Ruimte) comenzó a trabajar en el uso productivo y a gran escala del Objectdetection-Kit. Esto comenzó con el despliegue de Objectdetection-Kit en un enfoque para reducir y prevenir el arrojado de residuos alrededor de los contenedores de basura. En un barrio se realiza un escaneo diario de los residuos. Este barrio tiene 300 ubicaciones con contenedores de basura y dura 2 horas para escanear todo. Esto permite conocer los lugares donde se arroja la basura. En este momento, Ámsterdam utiliza los datos de varias semanas para definir los lugares más problemáticos. A continuación, estos lugares son objeto de medidas concretas, como una campaña adicional o autobuses urbanos (WINPOL, 2019, p. 20).

Ciudad de Ámsterdam: compartir los datos sobre residuos con el público

Ámsterdam cuenta con un portal de datos abierto y en tiempo real sobre residuos. Tiene un acuerdo con cada proveedor para que los datos recogidos pertenezcan al público, sean accesibles y comprensibles. Las partes interesadas y los proveedores pueden acceder fácilmente a los datos necesarios. Ámsterdam consiguió datos valiosos para diferentes trabajadores de la ciudad: por ejemplo, planificadores urbanos, agentes de la ley, trabajadores

sociales. Todos ellos pueden utilizar los datos para mejorar sus actividades. (WINPOL, 2019, p. 29).

5.4 Evaluación final

En los Países Bajos, la atención prestada a la economía circular y el objetivo concreto de 100 kilogramos de residuos domésticos en el marco público han hecho que muchos municipios trabajen en planes de recogida diftar y/o inversa. También hay muchos planes de posrecolección. Casi la mitad de los municipios ya han introducido la recogida diftar y/o inversa, y unos cuarenta están trabajando con una combinación de separación en origen y posrecolección.

También hay que señalar algunos obstáculos y dilemas. Muchos residentes y administradores creen que la separación en origen ya no es necesaria, lo que socava los planes en esa dirección. Pero la postseparación no es una solución para el papel, el vidrio y, sobre todo, para el VGF. De hecho, el componente orgánico de los residuos se fermenta en pequeña medida durante la postseparación y se convierte en biogás, pero aún no existe una solución circular para el digestato restante (contaminado). Además, el PMD procedente de la postseparación no puede utilizarse fácilmente como una materia prima realmente de alta calidad, sobre todo debido a los problemas de separación, contaminación y olor causados por los residuos orgánicos.

Otro obstáculo para la circularidad urbana es la normativa y los acuerdos que impiden a los municipios hacerse cargo de los residuos industriales que se asemejan a los domésticos. Esto da lugar a importantes desventajas, como una recogida ineficaz, las molestias causadas por los numerosos vehículos de recogida y, sobre todo, la escasa separación y reciclaje de los residuos industriales. Parece que los Países Bajos son una excepción negativa en este sentido a nivel internacional. Por lo tanto, existen considerables oportunidades en este sentido.

Por otro lado, se presta mucha atención a la circularidad, que ocupa un lugar destacado en la agenda municipal. Las innovaciones digitales se limitan actualmente al IoT y a la recopilación de datos, para obtener información, procesos administrativos más eficientes y, especialmente, para la optimización de rutas. El uso de la tecnología sigue siendo fragmentado y poco o nada se orienta al cierre de la cadena.

Las aplicaciones de Blockchain en los residuos municipales aún no están disponibles, pero se espera que con una mayor digitalización y tecnificación del sector, estas aplicaciones no tarden en llegar.

6 España: Estado de la digitalización en la gestión de residuos municipales

6.1 Organización de la gestión de los residuos municipales en España

En España, la gestión de los residuos urbanos domiciliarios es principalmente responsabilidad de las entidades locales y, en mayor o menor medida, de las comunidades autónomas. El reto al que se enfrentan las administraciones es articular modelos de gestión eficientes que permitan cumplir con las obligaciones y objetivos legales derivados de las múltiples y diversas legislaciones comunitarias, nacionales y autonómicas que afectan a estos residuos.

Los sistemas de control, inspección y vigilancia han mejorado en los últimos años, pero siguen siendo insuficientes. En este ámbito, cabe destacar la actuación del Servicio de Protección de la Naturaleza (SEPRONA), con el que las administraciones deben colaborar estrechamente.

A nivel estatal, España no cuenta con ningún sistema de incentivos que premie a los municipios y a los hogares por prevenir o reducir la producción de residuos. Las tasas de recogida de residuos en España varían geográficamente y oscilan entre 25 y 52 euros al año. Teniendo en cuenta que el salario medio bruto anual en España es de 24.009,12 euros según el INE, el gasto que supone la tasa de recogida de residuos local oscila entre el 0,10% y el 0,22%, lo cual es una tasa baja. A pesar de las bajas tasas, los vertederos ilegales crecen exponencialmente en el país.

Dentro del esquema de Responsabilidad Ampliada del Productor, algunos PROs establecieron un sistema de depósito para los residuos reciclables que recompensa a los ciudadanos por devolver los contenedores después de su uso. En Valencia, la recompensa es la recarga de saldo virtual o "reciclos" a cambio de cada envase reciclado, bien a los contenedores amarillos convencionales o a las máquinas especiales de depósito instaladas en estaciones, centros comerciales y de ocio. La recompensa de los "reciclos" es canjeable por vales de transporte, vales para gastar en tiendas locales o para el uso de patinetes eléctricos.

6.2 Soluciones informáticas utilizadas en la gestión de residuos municipales

A nivel estatal, regional o local, no hay programas de financiación pública en España para apoyar la digitalización en la gestión de residuos. Las ciudades, comunidades y municipios han tratado de involucrarse en proyectos de la UE para conseguir financiación para soluciones innovadoras. Por lo demás, el proceso de innovación está impulsado por el sector comercial.

IoT - Contenedores y camiones inteligentes

En cuanto al IoT para la gestión de residuos, muchos gestores de residuos están haciendo uso de esta herramienta. Algunas ciudades, como Sevilla o Barcelona, ya han apostado por el desarrollo de este tipo de soluciones innovadoras, consiguiendo un importante ahorro de costes y reduciendo también las emisiones de CO₂ y las molestias ocasionadas por el tráfico de recogida de residuos o las alteraciones del descanso de las personas.

La empresa Hirisens, operador de control ambiental especializado en la búsqueda de soluciones tecnológicas basadas en el Internet de las Cosas, ha desarrollado un nuevo servicio denominado Hiriwaste. Esta solución se basa en la colocación de un sensor en los contenedores de residuos y su posterior conexión a su plataforma IoT, que funciona en formato web. Esto permite visualizar el estado de cada contenedor en tiempo real. Mejora el proceso la eficiencia de la recogida, ayuda a optimizar las rutas de recogida y conlleva un

aumento de la satisfacción de los usuarios. El sistema también puede adaptarse a otros tipos de residuos.

Compartir los datos de los residuos a través de la plataforma y las herramientas de análisis de datos

En cuanto al Big Data, Minsait junto con Ecoembes, la entidad encargada de gestionar la recuperación y el reciclaje de plásticos, latas y bricks, y cartón y papel en España, creó en 2018 una plataforma de datos diseñada para que los actores de la cadena de residuos puedan compartir el acceso a los datos. Las herramientas de análisis de datos transforman los datos brutos en conocimiento para los gestores públicos, que los utilizan para una mejor planificación y toma de decisiones a la hora de, por ejemplo, establecer rutas de recogida dinámicas que se adapten al aumento o disminución de residuos por ruta o por contenedor, según la época del año o la composición demográfica de la zona, gracias a las estimaciones realizadas a partir de los datos recogidos.

Aplicaciones piloto de la tecnología Blockchain

Heura, junto con Signeblock, ha aplicado la tecnología Blockchain al reciclaje de residuos agrícolas. Se trata de una solución para garantizar la trazabilidad y la optimización de la gestión de los envases utilizados en los procesos agrícolas, potenciando la protección del medio ambiente y la generación de modelos eficientes de economía circular.

A principios de 2021 Ecoembes y Minsait anunciaron el despliegue de una red Blockchain para aumentar la transparencia y fomentar la colaboración en la Economía Circular. Se trata de un proyecto que ha supuesto un importante reto de innovación tecnológica y que tendrá un notable impacto en la sostenibilidad medioambiental. Esta red de registros distribuidos permitirá ayudar a las administraciones públicas, entidades locales, operadores, recicladores y otras organizaciones a compartir y controlar de forma segura todos los datos del sistema y agilizar todas las transacciones vinculadas al proceso de clasificación de residuos.

Varias aplicaciones para teléfonos inteligentes como ayuda

Existe una gran variedad de aplicaciones móviles, en su mayoría ofrecidas por las empresas privadas, para ayudar a los ciudadanos a reciclar:

- App "Recicla y suma", que paga a los españoles por reciclar. La empresa PENSUMO, promotora de modelos de negocio innovadores enmarcados en la Economía Circular y en el Top SDG 8 de la Red Española del Pacto Mundial, irrumpe con una nueva propuesta sencilla pero potente: "Tú reciclas, nosotros pagamos".
- La app "RECICLA" informa a los usuarios registrados sobre cómo reciclar de forma prepagada y qué residuos se demandan. Comenzará con un millón para gastar en el reciclaje de prepago (desde 0,02€ y hasta 1€). El proceso se inicia con una foto enviada a través de la app en la que aparece el material a reciclar con el contenedor de fondo.
- La app "EMTRE" está probada en la Comunidad Valenciana por la Entidad Metropolitana para el Tratamiento de Residuos (EMTRE), informando a los usuarios sobre cómo llegar al ecoparque más cercano, cuántas veces han ido al ecoparque en los últimos meses o qué tipo de residuos a reciclar han producido.

6.3 Ejemplos de buenas prácticas

Ayuntamiento de Gijón - identificación de usuarios de ecoparques

La práctica consiste en la instalación de mecanismos de control de acceso y registro de depósitos en un recinto de ocio cívico (CAS). El sistema permite controlar el acceso mediante una tarjeta de identificación. Además, los usuarios deben registrar el tipo de residuos que van a depositar, así como su cantidad.

Para poder controlar las entradas a los lugares de esparcimiento cívico y los depósitos de los ciudadanos y las empresas, es necesario establecer un sistema de control de acceso. Esto permite controlar lo que se entrega, por quién y con qué frecuencia. Permite bloquear el acceso a los usuarios que hacen un mal uso del servicio. En el futuro, podría facilitar la implantación de un sistema de pago por depósito.

Municipio de Gijón - aplicaciones para teléfonos inteligentes

EMULSA ha desarrollado dos aplicaciones móviles gratuitas para la ciudad de Gijón -la app Ciudadano y la Reusapp- y un mapa de negocios sostenibles como parte de su Plan Estratégico Empresarial y del Plan Municipal de Gestión de Residuos de Gijón. El objetivo principal es alcanzar el 50% de reutilización y reciclaje fijado por la Unión Europea para el año 2020. Estos tres proyectos también evitan la falta de comunicación con los ciudadanos.

COGERSA SAU - "COOMIDA" -App facilita la donación de alimentos

COOMIDA es una innovadora herramienta tecnológica y cooperativa destinada a facilitar la donación de alimentos (incluidos los excedentes), reduciendo así el desperdicio de alimentos. COOMIDA conecta a donantes locales, bancos de alimentos, voluntarios y organizaciones benéficas a través de una red de colaboración para una gestión eficiente y sostenible de las donaciones de alimentos. COOMIDA permite a los donantes y a las organizaciones benéficas mantener el contacto directamente; por lo tanto, puede reducir el tiempo, las emisiones y los gastos. COOMIDA también permite recuperar donaciones pequeñas y remotas que, de otro modo, podrían superar la capacidad del Banco de Alimentos.

6.4 Evaluación final

Aunque no existe ningún programa de financiación del gobierno central para la digitalización de la gestión de residuos municipales, hay un número considerable de iniciativas locales descentralizadas de municipios o regiones con enfoques innovadores. Estas soluciones descentralizadas deben promoverse sistemáticamente y debe examinarse su transferibilidad a otras regiones. Muchas de las iniciativas proceden del sector privado o se basan en el compromiso voluntario de las ONG. En general, existe una tendencia positiva hacia el cambio de comportamiento medioambiental, aunque esta tendencia podría seguir apoyándose en un mayor uso de las nuevas tecnologías.

Con el aumento del uso de la IO, ya sea en los vehículos de recogida de basuras o en los cubos de basura, se han sentado las bases para una futura conexión con una base de datos blockchain.

7 Comparación de los resultados con otros estudios

A continuación, se comparan los resultados del análisis anterior sobre el statu quo de la transformación digital en la gestión de residuos en cinco países con los resultados de otros países.

7.1 Informe de EIONET "Gestión digital de los residuos"

El Informe EIONET 2020 de Berg y Sebestyén (2020) titulado "Gestión digital de los residuos" analiza el statu quo, las oportunidades y los riesgos derivados de la transformación digital del sector de la gestión de residuos. Los principales impulsores de la digitalización en el sector de los residuos se observan en los siguientes factores

- la presión de los costes, ya que la competencia entre los servicios de residuos públicos y privados es elevada y la digitalización se considera una herramienta para ahorrar costes

- la aparición de nuevos modelos de negocio creados por empresas emergentes impulsadas por la tecnología
- los clientes esperan tener información en tiempo real sobre el estado de los pedidos y desean controlar sus servicios
- el cambio hacia una economía circular combinado con la creciente presión legal y los objetivos de la UE y las políticas nacionales
- la crisis climática que obliga a reducir los gases de efecto invernadero
- la responsabilidad ampliada del productor, que desencadena las actuales políticas de gestión de materiales en el sector empresarial; se espera que los sistemas de responsabilidad ampliada del productor se apliquen a más productos para cumplir los objetivos políticos
- la creciente urbanización que aumenta la presión en las ciudades

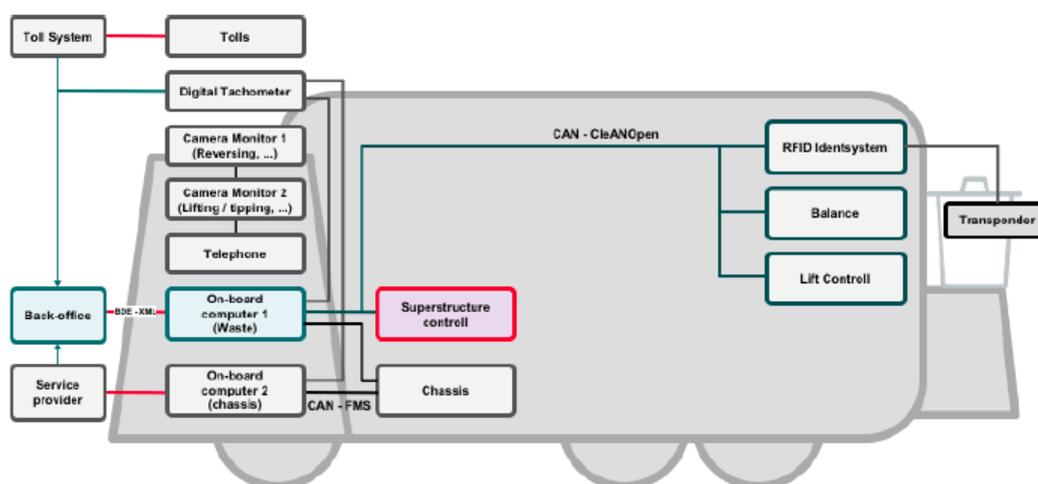
Los autores identificaron tres áreas principales de digitalización en la gestión de los residuos municipales: la comunicación, la recogida de residuos y los procesos internos, y proporcionaron ejemplos de aplicación digital en el campo respectivo (véase la tabla siguiente).

Communication	Waste Collection	Internal processes
Websites	Sensor-equipped vehicles	Billing
Mobile apps	Route planning	Accounting
Integration in other services	Resource planning	Controlling
Third party social media apps	Inventory tracking	Processing of orders
	Documentation	Documentation

Figura 5. Principales áreas de digitalización en la gestión de residuos municipales (fuente: Berg y Sebestyén, 2020, p. 23).

Según Berg y Sebestyén (2020) "La tecnología de la comunicación constituye la mayor parte de las soluciones digitales que ya se utilizan en el sector de los residuos. Aquí la transferencia desde otros sectores es fácil porque la inversión necesaria en hardware es relativamente baja." En el ámbito de los procesos de recogida de residuos, cabe destacar el uso del IoT; se trata, por un lado, del uso de sensores en el contenedor de residuos (contenedores inteligentes) o en el vehículo de recogida de residuos. En los procesos internos de la gestión de residuos, la digitalización se utiliza para automatizar los flujos de procesos hacia la documentación y el registro sin papel. En definitiva, se trata de la transformación digital que ya está en marcha en el sector privado desde hace varios años.

La ilustración de un camión de residuos con todas las posibilidades de uso de las soluciones IoT ofrece una excelente visión general de la digitalización del proceso de recogida de residuos.



Source: Adapted from a BDE/VKU publication (BDE - Bundesverband der deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft and VKU - Verband Kommunalen Unternehmen, 2015)

Figura 6. Soluciones IoT integradas en el camión de la basura (fuente: Berg y Sebestyén, 2020, p. 22)

Al comparar los resultados de EIONET con los del análisis de cinco países, se observan las siguientes similitudes. En última instancia, todos los proyectos de digitalización entran en las categorías definidas por EIONET: comunicación, recogida de residuos y procesos internos. Se informó poco sobre los esfuerzos de digitalización relacionados con los procesos internos, lo que en última instancia se debe a la falta de transparencia sobre la eficiencia de las organizaciones públicas y sus procesos. Los informes de los países confirman el papel positivo del sistema de Responsabilidad Ampliada del Productor, que también se identifica como un motor clave de la innovación. Hay dos aspectos que faltan en los informes de EIONET, pero que aparecen en los informes de los países: La comunicación con los clientes o usuarios y la digitalización de los procesos de recogida de residuos son mutuamente dependientes. Sin una intensa comunicación previa con los usuarios, difícilmente será posible una mayor digitalización de los procesos. El segundo punto es el objetivo de establecer incentivos para los cambios en el comportamiento de los usuarios. En los informes de los países, hay algunos

proyectos que tratan precisamente del diseño de incentivos mediante soluciones digitales. La comunicación, la incentivación y la digitalización deben considerarse en su contexto.

7.2 Proyecto WINPOL "Sistemas y políticas inteligentes de gestión de residuos"

WINPOL es un proyecto europeo financiado por el programa Interreg Europe, que fomenta el uso de equipos y políticas inteligentes en la gestión de residuos municipales. Desde junio de 2018, nueve socios de toda Europa - ocho autoridades públicas representadas por los municipios de Amberes (BE), Drobeta Turnu Severin (RO), Heraklion (GR), el condado de Mehedinti (RO), la región de Creta (GR), EMULSA (ES), Snaga (SI), ERA (MT) y ACR+ (BE) como socio asesor - han estado cooperando en este proyecto de 4,5 años.

En 2019 WINPOL (2019) publicó una "Guía de buenas prácticas" con una lista de 26 ejemplos de buenas prácticas en la gestión de residuos municipales en toda Europa. Un cribado de los 26 ejemplos de buenas prácticas enumerados, de acuerdo con las tres categorías siguientes (1) incentivos (modelo de tarifa PAYT, etc. u otros incentivos), (2) comunicación con los usuarios y (3) digitalización del proceso de recogida de residuos confirma la afirmación del informe de EIONET, así como los resultados de los cinco informes nacionales anteriores. La mayoría de los proyectos están relacionados con la comunicación con los usuarios a través de medios digitales y con la optimización del proceso de recogida de residuos mediante el uso de la IO.

	Best Practise Project	Incentive	Communication	Waste Collection	Others
1	Civic Amenity site access control			x	
2	Connecting online with users: Citizen app, Sustainable businesses map and Reusapp		x		
3	Container sensors for optimized waste collection			x	
4	Customer portal for collected bulky waste at civic amenity sites		x		
5	Electronic closure on waste containers and use of information		x	x	
6	Information-based waste collection		x	x	
7	Mobile app on bulky waste for reuse and recycling		x		
8	Operating aid system and waste collection weighing			x	
9	Route optimization for waste collection				
10	Sharing data on waste and resources with the public		x		
11	Smart bins to recycle anytime, anywhere			x	
12	Solar compact waste bins			x	
13	Waste management data center		x		
14	Waste management data warehouse		x		
15	COOMIDA – Reducing surplus food waste and food needs		x	x	
16	From door-to-door collection to pay-as-you-throw	x			
17	G'scheitfeiern – Reducing waste of events and festivals				x
18	Pay-as-you-throw to reach 80% recycling	x			
19	Pop-up civic amenity sites		x	x	
20	Raising awareness on plastic waste with the CAPS Contest	x	x		
21	Recycleservice 2025 – A reversed waste collection system for residual waste	x	x	x	
22	Reuse Box – New collection scheme for reusable items			x	
23	Second Chance – Reuse on marketplaces			x	
24	Smart collection system to optimise used cooking oil to the biodiesel value chain			x	
25	The Collection – Improving textile waste collection			x	
26	Treatment of biodegradable waste			x	
	sum	4	12	15	1

Figura 7. Principales áreas de digitalización en los proyectos de mejores prácticas (fuente: criba basada en datos de proyectos de WINPOL, 2019)

Llama la atención que dos de los proyectos de WIPOL que figuran en la lista incluyan el intercambio de datos con las partes interesadas en la cadena de residuos a través de una plataforma de información. Algunos países (Grecia y España) también han informado de proyectos de intercambio y análisis de datos de este tipo. Esto indica la necesidad de contar con grupos de datos comunes y de dejar de construir bases de datos propias ("silos de datos"), lo que requiere complejas interfaces para el intercambio automático de datos.

7.3 WastelQ - un estudio de caso de Noruega

El siguiente estudio de caso, WastelQ, destaca por su enfoque holístico, que combina varios aspectos: El uso del IoT en las papeleras o contenedores inteligentes, el almacenamiento y análisis de datos en una plataforma común (intercambio de datos con las partes interesadas) y un sistema de incentivos, que también incluye componentes de economía del comportamiento de nudging.

WastelQ es una plataforma abierta de gestión de residuos que se integra con los modernos equipos de gestión de residuos digitalizados para permitir un modelo de precios de residuos personalizado. El proyecto se originó en una colaboración entre BIR (organización municipal de gestión de residuos en Bergen, Noruega) y una startup digital, WastelQ.

El sistema gestiona las diferentes estaciones de residuos y materiales reciclables de Bergen, que están equipadas con cerraduras y sensores digitales. Algunas de las entradas también están conectadas a un sistema de aspiración subterráneo que traslada automáticamente los residuos a una terminal central de recogida.

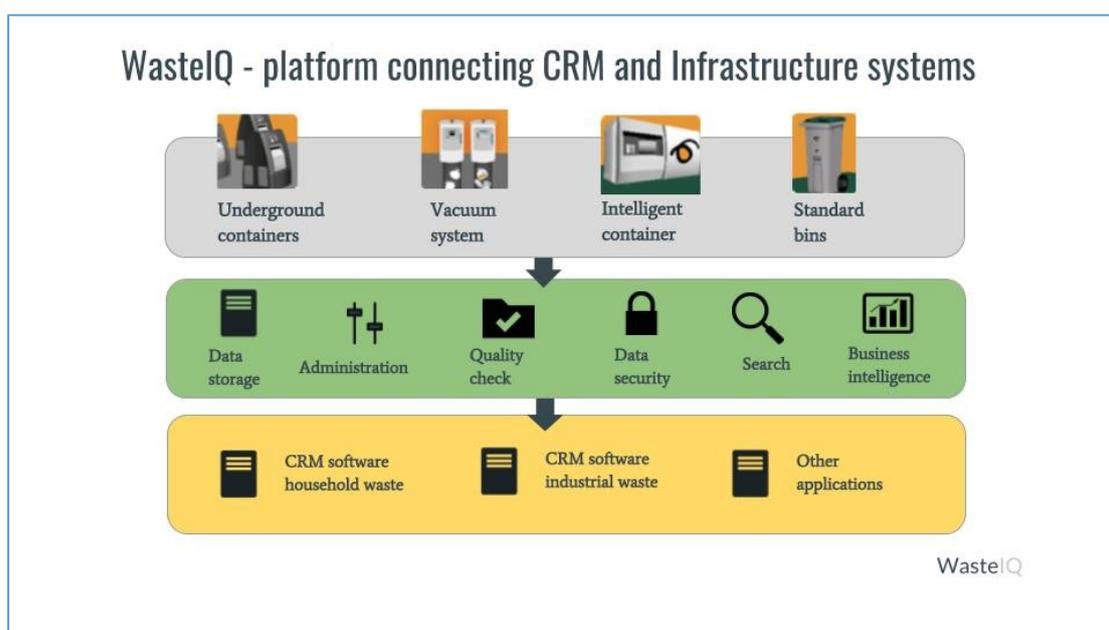


Figura 8. WastelQ - plataforma de datos (fuente: <https://www.iswa.org/home/news/news-detail/article/guest-blog-the-4th-industrial-revolution-in-practice-wastelq-the-open-waste-management-platf/109/>)

WastelQ ha desarrollado un sistema que recopila datos, los enriquece y los distribuye a diversos agentes y sistemas técnicos. El sistema informático agrega datos sobre los volúmenes de eliminación de cada hogar y empresa. También proporciona una visión general de los niveles de residuos de los contenedores e indica cuándo deben vaciarse. Además, el sistema de gestión de residuos es capaz de pesar y calcular el consumo de residuos de cada ciudadano y utiliza los datos para permitir un sistema de pago individualizado con el fin de motivar la reducción de los niveles de residuos personales. Las estaciones de recogida de basura disponen de contenedores gratuitos para clasificar los plásticos y el cartón. De este modo, se incita a los ciudadanos de Bergen a clasificar correctamente sus residuos. La combinación de contenedores inteligentes, recogida de datos y nuevos incentivos económicos ha permitido

hasta ahora reducir el nivel de residuos generales en un 10% y aumentar el nivel de recogida de plásticos en un 29%.

8 Preparación para las aplicaciones de Blockchain en la gestión de residuos

Los resultados de los estudios por países y la comparación con otros estudios muestran que el proceso de digitalización en el sector de los residuos municipales está aún en pañales. O bien, como dicen los autores del informe de EIONET (Berg & Sebestyén, 2020) de forma más diplomática Muestra que el sector de la gestión de residuos se encuentra en una fase temprana de este desarrollo. Las oportunidades, así como el impacto de su transformación digital, todavía están surgiendo y aún pueden ser modeladas.

Existe un gran número de proyectos innovadores en los distintos países en los ámbitos de la comunicación con los usuarios, los sistemas de incentivos y, en particular, el uso del IoT en la recogida de residuos, pero no existe una promoción global de estos proyectos en los países, ni a través de programas de apoyo financiero estatal ni mediante la transferencia selectiva de conocimientos técnicos. Por ahora, solo las asociaciones de empresas municipales públicas o privadas de eliminación de residuos son multiplicadoras de información y centros de innovación.

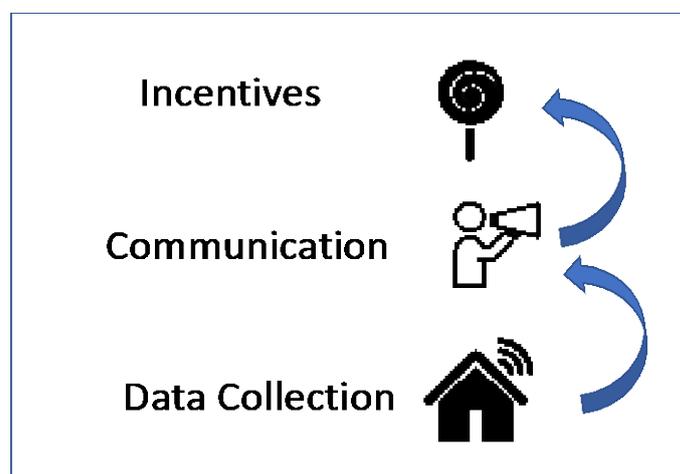


Figura 9. Falta de coherencia en los proyectos de gestión digital de residuos

Si nos centramos exclusivamente en las herramientas informáticas utilizadas en los proyectos, todo parece estar en su sitio: comunicación a través de aplicaciones para teléfonos inteligentes con los usuarios, estructuras de incentivos y multitud de datos sobre el uso del IoT en contenedores y camiones inteligentes. Pero la mayoría de los proyectos son enfoques aislados de la aplicación de herramientas, ya sea para la comunicación o para la recopilación de datos o para el establecimiento de estructuras de incentivos. Lo que falta es la conexión entre estas herramientas: los datos de los usuarios podrían utilizarse para crear perfiles de usuario y establecer una comunicación con los usuarios basada en el perfil, lo que incluye también la elección de los incentivos adecuados. A su vez, la eficacia de los incentivos establecidos en términos de cambio de comportamiento puede medirse en función de los datos sobre residuos de los hogares. En definitiva, se trata de un enfoque coherente de la planificación en el uso de las tecnologías de la información que prioriza sistemáticamente la solución del problema (palabra clave "design thinking").

Además, la mayoría de los proyectos presentados tampoco son de naturaleza colaborativa en lo que respecta a compartir datos con un gran número de grupos de interés y a generar efectos de sinergia entre los socios implicados. Pero la economía circular, para tener éxito, requiere la colaboración entre las partes interesadas, ya sean productores, consumidores, supermercados, ayuntamientos o PROs, que necesitan compartir datos en su colaboración.

Este es exactamente el punto que PwC (2016) enfatiza al escribir:

"La tecnología colaborativa, como Blockchain, promete la capacidad de mejorar los procesos de negocio que ocurren entre las empresas, reduciendo radicalmente el "costo de la confianza". Por esta razón, puede ofrecer un rendimiento significativamente mayor por cada dólar de inversión gastado que las inversiones internas tradicionales".

¿Cuál es el truco? No se puede obtener el rendimiento por sí solo; hay que estar dispuesto y ser capaz de colaborar con los clientes, proveedores y competidores de una manera que nunca se ha hecho antes".

Por lo tanto, el desarrollo y la implementación de un proyecto Blockchain consiste en gran medida en el trabajo de gestión del cambio y de los procesos. Al contrario de lo que se espera, la selección de la solución técnica de Blockchain desempeña un papel secundario. La comunicación intensiva, la comprensión de los intereses de los demás, llevar a las partes interesadas y a los individuos y convencerlos, explicar las posibilidades técnicas de la Blockchain en términos sencillos: estos son los componentes de un proyecto exitoso y la selección de los miembros del equipo del proyecto. (Lenz, 2019, p. 46)

Los proyectos de digitalización descritos en la gestión de residuos municipales están muy impulsados por el uso de las nuevas tecnologías. La instalación de la telemática y el IoT en los camiones de residuos son tareas típicas de los ingenieros mecánicos. La realización de estas tareas es de suma importancia para el buen funcionamiento de los procesos logísticos de una organización. Pero con Blockchain se trata de crear una situación en la que todas las partes interesadas de una cadena salgan ganando, de modo que cada uno de los socios implicados acabe beneficiándose de la colaboración.

Al responder a las preguntas sobre la preparación de la gestión municipal de residuos para el Blockchain, nos damos cuenta de que las soluciones a los problemas técnicos son a veces más fáciles y rápidas de abordar que el cambio de todo un modelo organizativo con vistas a una estrecha cooperación en una red de socios. Para responder finalmente a la pregunta sobre la preparación para la aplicación de la tecnología Blockchain, se puede afirmar que, sí, desde un punto de vista puramente técnico, la mayoría de las empresas municipales de gestión de residuos están al día y utilizan ampliamente el IoT. Lo que falta es una estrategia de datos clara que incluya el análisis y la puesta en común de los datos con diversas partes interesadas. Sin embargo, no se trata de problemas técnicos, sino de problemas de desarrollo organizativo de las empresas municipales de gestión de residuos.

9 Referencias

- ASA et al. (2020). *Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2020*, . Obtenido de https://statusbericht-kreislaufwirtschaft.de/wp-content/uploads/2020/11/2020_Statusbericht_mobil.pdf
- Berg, H., & Sebestyén, J. (2020). Phillip Bendix (Wuppertal Institute), Kévin Le Blevenec (VITO), Karl Vrancken (VITO).
- BiPRO. (2014). *Detailed evaluation report for assessing the waste management plan of Estonia – national, Final Draft*. Obtenido de
- EC. (2014). *National factsheet - Estonia. Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU*. Obtenido de <https://www.municipalwasteurope.eu/sites/default/files/EE%20National%20factsheet.pdf>
- ECO-Innovation Observatory. (2019). *ECO Innovation in Germany*. Obtenido de https://ec.europa.eu/environment/ecoap/sites/default/files/field/field-country-files/eio_country_profile_2018-2019_germany.pdf
- Estonian Ministry of Environment. (2012). *Statement of Estonian MoE on Estonian factsheet*.
- Estonian Ministry of Environment. (2014). *The National Waste Management Plan 2014-2020/ Riiklik Jäätmekava*. Obtenido de https://www.envir.ee/sites/default/files/riigi_jaatmekava_2014-2020.pdf
- European Environment Agency. (2016). *Germany: Municipal waste management* Obtenido de https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/other-products/docs/germany_msw_2016.pdf
- EUWID. (2020). *Kommunen und Remondis dominieren Abfallsammlung in Deutschland. Recycling und Entsorgung*. Obtenido de <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/einzelansicht/Artikel/kommunen-und-remondis-dominieren-abfallsammlung-in-deutschland.html>
- Lenz, R. (2019). *Managing Distributed Ledgers: Blockchain and Beyond*. *Disponibile en SSRN 3360655*.
- Life + Environment Policy and Governance. (2011). *Development of Pay As You Throw Systems in Hellas, Estonia and Cyprus*. Obtenido de http://payt.gr/images/stories/pdf/Laymans_EN.pdf
- OSKA. (2019). *Tulevikuvaade tööjõu- ja oskuste vajadusele: vee- ja jäätmemajandus ning keskkond. Tööjõuvajaduse seire- ja prognoosisüsteem*. Obtenido de Tallinn, 190 lk
- PwC. (2016). *Q&A: What is a blockchain?* Obtenido de <https://www.pwc.com/gr/en/publications/assets/qa-what-is-blockchain.pdf>
- Sahin, I. (2006). *Detailed review of Rogers' diffusion of innovations theory and educational technology-related studies based on Rogers' theory*. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 5(2), 14-23.
- Tallinn Environmental Agency. (2014). *Improving the recycling system of municipal waste in Tallinn based on the examples of best practices. Report*. Obtenido de
- Verband Kommunaler Unternehmen e.V. (2019). *Abfallwirtschaft Digital, Beispiele aus der kommunalen Praxis*. Obtenido de https://www.vku.de/fileadmin/user_upload/Verbandsseite/Publikationen/2020/VKU_Broschuere_Digitalisierung_Abfallwirtschaft_ES.pdf
- Vitoraki, M. (2019). *Implementation of pay-as-you-throw schemes in Greece: major benefits and future potential*.
- WINPOL. (2019). *Good Practices Guide Promoting innovation to improve waste management at the local level*, . Obtenido de www.interregeurope.eu/winpol/good-practices