

DOCUMENTO DE TRABAJO

Estudio del estado del arte de la digitalización de la cadena de valor del residuo

CT-37 “Transformación digital de la cadena de valor del residuo”





Edita: Fundación Conama

Año: 2025



Este documento está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Participantes del presente documento

Coordinadores CT-37

Miguel Varela Pérez. Fundador. Teimas Global.

Laureano Otero Barrio. Profesional Independiente.

Relatores

Alfredo Fernández-Valmayor Guinea. Responsable Electricidad, Instrumentación y Control. Urbaser.

Luis Palomino Leal. Secretario General. Asociación de Empresas Gestoras de Residuos y Recursos Especiales (ASEGRE).

Manuel de Arcocha Torres. Director de Tecnología. ECOEMBES.

Comité técnico CT-37

Alfredo Fernández-Valmayor Guinea. Responsable Electricidad, Instrumentación y Control. Urbaser

Ana Belén Rodríguez. Responsable de I+D y sostenibilidad. ECOLUM

Ana Laforga Cocho. Docente. ISM

Angela Melado Herreros. Técnica de primera. Fundación Biodiversidad

Antonio Ponce Alonso. Director de Desarrollo Residuos C&I. Veolia

Belén García Fernández. Directora PACKNET. SIGRE

Bruno Iñarra. Investigador. Fundación AZTI

Carlos Repáraz Martín. Gerente Técnico Economía Circular. NTT DATA

Cecilia Chaine Escobar. Investigadora. CIRCE

David San Martín Errea. Investigador senior. Fundación AZTI

Javier Grau. Investigador reciclado mecánico. AIMPLAS

Jesús Alises Del Río. Manager de Eficiencia Operativa y Digitalización. PreZero

Jonatan Viñas Gregorio. Gerente de servicios urbanos. ISM

Julio Lorente Gutiérrez. Responsable Área Jurídica. FER



Luis Palomino. Secretario General. ASEGRE

María Jesús Veleiro López. Directora de análisis estratégico y compliance. Recyclia

Maria Teresa de Diego. Responsable Demanda y clientes. Ferrovial Construcción

Marta Pena Rodríguez. Responsable área de Residuos. SIGFITO

Natalia País. Directora de Proyectos Economía Circular. IMPLICA

Patricia Herrero Martín. Directora Técnica y de Operaciones. ECOLUM

Ramón Riesco García de la Torre. Jefe Área Operaciones. SIGRE

Roberto Ruiz Robles. Especialista Relaciones Institucionales. ECOEMBES

Román Martín Antón. Director Relaciones Institucionales. SIGNUS

Sandra Álvarez Villén. Directora de Operaciones. ECOLEC

Sergio Calvo Yanni. Director de IT. ENVALORA

Susana Fernández Hidalgo. Directora de Desarrollo. SIGFITO



Índice

1.	Antecedentes.....	4
2.	Marco estratégico	5
2.1.	Digitalización: más que tecnología, un motor de transformación y sostenibilidad	5
2.2.	Transformación digital frente al “tsunami” normativo ambiental	6
3.	¿Por qué digitalizar la cadena de valor del residuo?	7
3.1.	Hacia un modelo más sostenible apoyado en la digitalización	8
3.2.	Oportunidades de la digitalización para la cadena de valor del residuo	9
4.	Tendencias globales de la digitalización en el sector residuos.....	12
4.1.	Iniciativas para gestores de residuos	12
4.2.	Iniciativas en sistemas de responsabilidad ampliada del productor	16
5.	Digitalización de los agentes de la cadena de valor del residuo.....	19
5.1.	Gestores de residuos	19
5.2.	Productores de residuos.....	21
5.3.	Sistemas Colectivos de Responsabilidad Ampliada del Productor (SCRAP)	24
6.	Conclusiones	27



1. ANTECEDENTES

La Fundación CONAMA es una organización independiente y sin ánimo de lucro en España, que fomenta el desarrollo sostenible en España e Iberoamérica. Su objetivo es crear redes de colaboración entre gobiernos, sector privado y sociedad civil, facilitando el diálogo y contribuyendo al conocimiento compartido sobre la transición ecológica.

El Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) es uno de sus proyectos más reconocidos, funcionando como un foro de trabajo y debate sobre los retos del desarrollo sostenible en España e Iberoamérica. La 17ª edición se ha celebrado del 2 al 5 de diciembre de 2024 en Madrid. Con más de 6.000 participantes y una red de 346 entidades colaboradoras, CONAMA es el congreso ambiental más relevante en los países de habla hispana.

El congreso estructura su programa de sesiones en nueve ejes temáticos: Energía, Movilidad, Renovación urbana, Desarrollo rural, Biodiversidad, Agua, Calidad ambiental, Residuos, y Economía y sociedad. Los contenidos a presentar en el congreso se desarrollan mediante comités técnicos de expertos que se forman por profesionales multidisciplinares de administraciones, empresas, universidades, centros de investigación y tercer sector (asociaciones, fundaciones y ONG).

En anteriores ediciones, CONAMA ha impulsado iniciativas sobre digitalización y gestión de datos en residuos. En 2014, el comité técnico [“Armonización de datos y trazabilidad de residuos”](#) analizó el estado y barreras de la armonización de datos, destacando avances como el Real Decreto sobre traslado de residuos.

En 2020, el comité [“Industria 4.0”](#) exploró la aplicación de la digitalización en la industria, identificando oportunidades y barreras. En 2022, el comité [“Transformación digital de la cadena de valor del residuo”](#) estudió el estado de la digitalización en España, considerando la normativa vigente y las políticas europeas.

En la última edición del congreso, CONAMA 2024 ha dado continuidad el trabajo realizado anteriormente mediante el comité técnico **“CT37 Transformación digital de la cadena de valor del residuo”**, que ha analizado el progreso de la digitalización en los últimos dos años (2022-2024), evaluando plataformas, conectividad entre Comunidades Autónomas y su relación con el Ministerio.

Los objetivos del comité técnico CT37 Transformación digital de la cadena de valor del residuo son dos principalmente:

- Reforzar la necesidad de digitalización de la cadena de valor en relación a las novedades en el marco legislativo.
- Actualizar el estado de la digitalización de los agentes que intervienen en la cadena de valor del residuo.

También se examinarán casos de éxito y sectores que aún enfrentan dificultades, respondiendo a la pregunta clave: ¿Cómo mejorar la digitalización de la cadena de valor del residuo?



2. MARCO ESTRATÉGICO

2.1. Digitalización: más que tecnología, un motor de transformación y sostenibilidad

¿De qué hablamos cuando hablamos de digitalización? La RAE define el verbo digitalizar con dos acepciones: la primera, “*registrar datos en forma digital*” y la segunda, “*convertir o codificar en números dígitos, datos o informaciones de carácter continuo, como una imagen fotográfica, un documento o un libro*”. El glosario de Gartner dice: “*La digitalización es el uso de tecnologías digitales para cambiar un modelo de negocios y brindar nuevas oportunidades de producir ingresos y valor*”.

Definiciones aparte, digitalización es el proceso de convertir información y procesos tradicionales en formatos digitales mediante tecnologías avanzadas. Esto permite la automatización, mejora la eficiencia, y facilita la gestión y el acceso a datos en tiempo real.

Durante la última década, el auge de la digitalización coincide con la aceleración de nuevas tecnologías como computación en la nube, machine learning, inteligencia artificial, business intelligence, blockchain e internet de las cosas.

Sin embargo, digitalizar no es simplemente “acumular más tecnología”. Digitalizar implica progreso porque descarga labores manuales en procesos automáticos, eliminando trabajos repetitivos y errores humanos y liberando nuevas formas de pensar que permitan avanzar a las organizaciones dentro del ecosistema y, en muchos casos, aumentar su productividad y rentabilidad.

Y también abordar problemas ambientales. Según el “Foro Económico Mundial”, las tecnologías digitales tienen el potencial de reducir las emisiones de CO₂ en un 15 %. El rápido incremento de la digitalización podría contribuir a mitigar el calentamiento global mediante:

- Ahorro de energía: gestionar los documentos en la nube, además de optimizarlos, siempre será más efectivo energéticamente que almacenarlos en espacios físicos.
- Ahorro de recursos: El 90% de los residuos generados en una oficina es papel y cartón, cada empleado genera 50 kilogramos de papel en un año.
- Compromiso con el medio ambiente: La tendencia es clara, si queremos acelerar el paso a la transición ecológica y formar parte del cambio, la digitalización es la vía para comenzar.

Pero no todo son buenas noticias. La digitalización también tiene un impacto y su propia huella de carbono en el medio ambiente: Solo en 2019, la huella de carbono digital representó un 3,7% de las emisiones de carbono totales y representan el 1,4 % del total mundial, lo que representa el mismo porcentaje que la industria de la aviación. El consumo de energía creció más rápido que su tendencia histórica (2,2% en 2023) y el acumulado entre 2013 y 2020 es de casi un 70%¹.

¹ Berrly. (2022, junio). El medio ambiente y la digitalización: ¿Qué puedes hacer en la oficina para reducir el impacto medioambiental? 10 consejos prácticos!. Recuperado de <https://www.berrly.com/es/2022/06/el-medio-ambiente-y-la-digitalizacion-que-puedes-hacer-en-la-oficina-para-reducir-el-impacto-medioambiental-10-consejos-practicos/>



Aun así, el Consejo Europeo señala que, “La digitalización es un instrumento ideal para acelerar la transición hacia una economía climáticamente neutra, circular y más resiliente”².

2.2. Transformación digital frente al “tsunami” normativo ambiental

La Unión Europea aborda el doble desafío social de la transformación digital y la transición ecológica, estudia maneras de contribuir a tender los puentes necesarios entre ellas y subraya el potencial de la doble transición para crear nuevos puestos de trabajo ecológicos y digitales que son necesarios para la recuperación económica tras la pandemia de COVID-19; asimismo, recalca que la transición digital debe ser equitativa e inclusiva y no debe dejar a nadie atrás.

Los debates en torno a los nexos entre la digitalización y el medio ambiente han cobrado un mayor impulso en los últimos años. El Plan de Economía Circular de la UE (2020) o el Plan Industrial Verde (2023) y previamente el Pacto Verde (2019) han desplegado un auténtico “tsunami” regulatorio que va a suponer el establecimiento de modelos de producción más sostenibles pero que introducirán nuevas cargas administrativas y obligaciones que organizaciones de todo tipo tendrán que soportar. La digitalización se vuelve más importante que nunca si queremos mantener la competitividad en el mercado común y también a nivel global.

Algunos ejemplos del tsunami regulatorio post-covid en torno a la sostenibilidad son:

- La Directiva de Información Corporativa sobre Sostenibilidad publicada en 2022 (Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)), cuya transposición a la norma española se encuentra en su última fase tras la aprobación del Proyecto de Ley por parte del Consejo de Ministros el 29 de octubre de 2024.
 - La CSRD introduce obligaciones más detalladas de información sobre los impactos ambientales y sociales de las empresas. Su objetivo es alinear los informes de sostenibilidad con los informes financieros y permitir el acceso a datos confiables y comparables entre compañías.
- La Directiva de Declaraciones Verdes (Green Claims Directive) fue publicada en 2024 y representa un avance significativo hacia una mayor transparencia y responsabilidad en las afirmaciones ambientales. Su propósito es combatir las declaraciones engañosas y fomentar una mayor confianza en el mercado de productos ecológicos, combatiendo el greenwashing.
- El Reglamento de Ecodiseño, publicado en 2024, que se centra en integrar criterios ambientales a lo largo del ciclo de vida de un producto para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia energética dentro de la UE.
 - El reglamento introduce el Pasaporte Digital del Producto para mejorar la transparencia y la trazabilidad de los productos.

² Council of the European Union. (2020, diciembre 17). *Digitalisation for the benefit of the environment: Council approves conclusions*. Recuperado de <https://www.consilium.europa.eu/es/press/press-releases/2020/12/17/digitalisation-for-the-benefit-of-the-environment-council-approves-conclusions/>



- La Directiva de Diligencia Debida (Corporate Sustainability Due Diligence Directive CS3D), publicada en 2024, establece un deber de diligencia y vigilancia corporativa para abordar los impactos adversos en los derechos humanos (como el trabajo infantil) y los impactos ambientales (como la contaminación) dentro de las corporaciones, en sus filiales y en sus "cadenas de actividades" o "cadenas de valor".
 - Las empresas tienen el deber de cuidar sus impactos ambientales y sociales no solo dentro de sus propias instalaciones sino dentro de las de sus filiales y las otras compañías que conforman su cadena de valor: proveedores, fabricantes, socios de ventas, distribuidores, transportistas, contratistas, etc.
- El Reglamento de Traslados de Residuos, publicado en 2024, tendrá un impacto significativo en las empresas europeas, especialmente aquellas que exportan residuos a países no pertenecientes a la OCDE. Introduce normas más estrictas para prevenir una mala gestión de residuos y el tráfico ilegal. La transparencia y la digitalización son componentes vitales de este reglamento.

En definitiva, la adaptación a estas nuevas reglas del juego requiere de tecnologías digitales. En palabras de la propia presidenta de la Comisión Europea Ursula von der Leyen: *"Los retos de nuestra generación, las transiciones "hermanas" digitalización y verde, son más urgentes ahora que al inicio de la crisis del Covid"*.

3. ¿POR QUÉ DIGITALIZAR LA CADENA DE VALOR DEL RESIDUO?

Las organizaciones deben responder de manera ágil y eficaz a las demandas de clientes y sociedad, impulsadas por la rápida evolución tecnológica y la transformación digital acelerada tras la pandemia. Integrar tecnología no es suficiente; debe formar parte de todos los aspectos empresariales y sus relaciones para crear una cultura dinámica y sostenible.

La digitalización se ha convertido en una obligación para cualquier entidad que quiera mantenerse competitiva. En España, un 56% de las pymes ya considera crucial un alto nivel de digitalización para su supervivencia³, evidenciando que la transformación digital es esencial para la competitividad y reducción del impacto ambiental.

El futuro de las organizaciones depende de su capacidad de adaptarse a la transición ecológica y digital. Esta transformación es clave para repensar estratégicamente la sostenibilidad de los productos y procesos, ofreciendo una oportunidad de mercado y fomentando patrones de producción y consumo que funcionen para las personas y el planeta.

Como agentes implicados en la cadena de valor del residuo, el futuro de nuestras organizaciones depende de nuestra capacidad para adaptarnos a los retos de esta transición ecológica, que viene de la mano de una inevitable transformación digital.

³ GoDaddy. (2023). *Observatorio de Digitalización GoDaddy 2023*. Recuperado de https://cincodias.elpais.com/cincodias/2023/11/02/pyme/1698912536_747321.html



3.1. Hacia un modelo más sostenible apoyado en la digitalización

El viaje hacia la digitalización transcurre por el camino de la sostenibilidad. Con la ayuda de políticas e inversiones adecuadas, la transformación digital nos permitirá impulsar esta transición económica y ecológica.

Conceptos como economía circular o residuo cero son una oportunidad única para mejorar las cadenas de valor de las empresas logrando un uso más eficiente de los recursos y volviendo a incorporar al proceso productivo los recursos aprovechables de los residuos. En definitiva, aumentando la resiliencia de las organizaciones, lo que mejora la competitividad a nivel global.

Para ello, la digitalización permite medir y analizar los datos recopilados y tener una mejor comprensión del impacto ambiental, social y económico de nuestras acciones, lo que es fundamental a la hora de tomar decisiones responsables en el mundo cambiante y complejo en el que vivimos aparte de, como ya hemos visto, cumplir con la extensa normativa que afecta a la cadena de valor del residuo.

Algunos **objetivos de las estrategias** de digitalización son:

- Reducción de la huella ambiental: La digitalización sostenible busca reducir el impacto ambiental de las actividades humanas mediante el uso eficiente de los recursos naturales.
- Promoción del desarrollo sostenible: La digitalización sostenible busca contribuir al desarrollo económico, social y ambiental sostenible, generando beneficios para las generaciones presentes y futuras. Esto incluye la creación de empleo, el fomento de la innovación y la mejora de la calidad de vida.
- Mejora de la eficiencia y la productividad: La digitalización sostenible trata de mejorar la eficiencia y la productividad en todos los sectores, optimizando procesos, reduciendo costes y aumentando la competitividad empresarial. También mejora en el manejo de residuos y recursos.
- Transparencia y responsabilidad social corporativa, en la famosa triple hélice ESG: medioambiente, sociedad y gobernanza.

Algunos **obstáculos** a los que se enfrenta el proceso de digitalización son:

- Costes iniciales elevados: La adopción de tecnologías sostenibles y la reestructuración de procesos pueden requerir inversiones significativas.
- Falta de infraestructura adecuada: En muchas zonas geográficas, la falta de infraestructuras adecuadas, como buen acceso a internet o redes eléctricas estables, puede limitar el uso efectivo de soluciones digitales sostenibles.
- Brechas digitales y exclusión: Las diferencias y dificultades en el acceso a la tecnología y la alfabetización digital pueden plantear desigualdades sociales y económicas.



- Resistencia al cambio: La resistencia cultural y organizativa al cambio siempre dificulta la adopción de nuevas tecnologías, especialmente en industrias o sectores tradicionales que pueden ser reticentes a abandonar métodos establecidos.

Frente a esto, las **soluciones** propuestas pudieran ser:

- Incentivos financieros y políticas de apoyo: Los gobiernos y las instituciones pueden establecer incentivos financieros, como subvenciones y créditos fiscales, para facilitar la adopción de tecnologías sostenibles. Además, las políticas que promuevan la inversión en infraestructura digital pueden ayudar a cerrar las brechas de acceso.
- Educación y capacitación: Se deben desarrollar programas de educación y capacitación digital para garantizar que todas las personas tengan las habilidades necesarias.
- Alianzas y colaboraciones: La colaboración entre el sector público, el sector privado y la sociedad civil es básico para superar los desafíos de la digitalización sostenible.
- Enfoque en la sostenibilidad a largo plazo: Es fundamental adoptar un enfoque holístico y a largo plazo, considerando beneficios económicos e impactos sociales y ambientales a largo plazo.

3.2. Oportunidades de la digitalización para la cadena de valor del residuo

Si hay un elemento clave en la economía circular es la correcta gestión de los residuos y su reciclaje ya que es el que posibilita la reutilización de los materiales consumidos o utilizados y hace posible la circularidad. La gestión adecuada de los residuos implica un conjunto de acciones adecuadas a lo largo de todo el proceso, (recogidas, transporte, almacenamiento, tratamiento, etc.) que deben de ser continuamente monitorizadas y controladas y eso no puede hacerse a través de un simple Excel.

Las herramientas digitales permiten consolidar y centralizar toda la documentación en un espacio único, minimizar riesgos, ayudar a evitar los errores manuales y la ineficiencia por alta carga administrativa, maximizar la calidad de los datos, eliminar el papel e incrementar la trazabilidad desde origen a destino de todos los residuos gestionados.

Algunos **ejemplos** de logros que la cadena de valor del residuo puede obtener por medio de la digitalización son:

- Cumplir con la legislación sobre residuos y generar documentos legales. Autorizaciones y notificaciones de traslado, recogida y transporte, archivo cronológico, datos de negocio, vehículos y personal, cartas de porte, certificados y etiquetas identificativas.
- Mejorar la clasificación, almacenamiento y valorización de los residuos.
- Gestionar y centralizar datos e información, evitando errores en los procesos y reprocesos. Recogidas, traslados, pedidos, stocks, entradas y salidas.
- Reducir la posibilidad de multas y sanciones.



- Gestionar y controlar los permisos, licencias y otros documentos como los seguros.
- Garantizar la trazabilidad de los residuos de principio a fin.
- Predecir la generación de residuos. Planificar la retirada de los mismos.
- Impulsar planes de sostenibilidad, residuos cero y economía circular en las empresas.
- Reducir la huella de carbono minimizando el uso de papel y del transporte.
- Reducir los costes operativos de las industrias, gracias a la optimización del uso de recursos y la reintroducción de residuos en el ciclo productivo.
- Automatizar la preparación de informes, memorias anuales, declaraciones, certificaciones ISO 14001, 9001 y EMAS, etc.
- Cumplir los plazos, con recordatorios y alertas de vencimiento.
- Generar indicadores, informes y cuadros de mando con visión global para ayudar a la toma de decisiones y a la mejora continua.

Las herramientas digitales van desde tecnologías emergentes hasta software y plataformas ya establecidas, todas diseñadas para promover la eficiencia, la transparencia y la sostenibilidad en las operaciones y que la cadena de valor del residuo no puede desaprovechar.

- Internet de las cosas (IoT) que permite la conexión y comunicación entre dispositivos y sistemas, lo que facilita la monitorización y gestión inteligente de recursos, como el consumo de energía y agua, así como el seguimiento de emisiones y residuos.
- Inteligencia Artificial (IA), ofrece capacidades de análisis avanzadas que pueden identificar patrones, optimizar procesos y tomar decisiones autónomas, lo que ayuda a mejorar la eficiencia y la precisión en una variedad de aplicaciones, desde la logística, la gestión energética, o la gestión de los residuos.
- Blockchain, tecnología que proporciona un sistema seguro y transparente para rastrear y verificar transacciones, lo que puede ser útil para garantizar la trazabilidad y la integridad en cadenas de suministro sostenibles y sistemas de gestión de residuos.
- Sistemas de gestión ambiental (SGA), proporcionan herramientas para monitorear, medir, reportar y mejorar el desempeño ambiental de una organización, ayudando a implementar prácticas sostenibles y cumplir con estándares y regulaciones.
- Plataformas de colaboración y compartición de recursos, que facilitan la colaboración entre diferentes actores, permitiendo el intercambio de recursos, conocimientos y mejores prácticas para promover la economía circular y la eficiencia en el uso de recursos.
- Software de control de residuos, herramientas de control y análisis de datos que permiten procesar grandes volúmenes de información para identificar tendencias, oportunidades y áreas de mejora en términos de sostenibilidad, ayudando a tomar decisiones informadas y basadas en datos.





4. TENDENCIAS GLOBALES DE LA DIGITALIZACIÓN EN EL SECTOR RESIDUOS

4.1. Iniciativas para gestores de residuos

Las iniciativas que se están dando en los gestores de residuos se están viendo impulsadas por el desarrollo que están teniendo en los últimos años diversas tecnologías, así como la combinación de estas, y las nuevas posibilidades de integración entre ellas. Esto está dando lugar a nuevas posibilidades y aplicaciones en el sector.

Las tecnologías más importantes que están permitiendo incrementar la digitalización de los gestores de residuos son las basadas en adquisición de datos digitales como pueden ser los sensores IoT, y los sistemas de visión artificial en conjunción con algoritmos de inteligencia artificial; y por otro lado aquellas que hacen uso de esos datos digitales, como la automatización robótica de procesos, y las plataformas de almacenamiento y análisis de datos.

Los sensores IoT (Internet of Things)

Los sensores IoT se han convertido en elementos fundamentales en la digitalización de residuos gracias a que permiten instalar sensórica y obtener información en tiempo real en lugares donde antes no se podía, como elementos móviles o lugares remotos y aislados.

Esto se debe a dos características principales, fuentes de alimentación eléctrica autónoma, y transmisión datos de forma inalámbrica de bajo consumo.

La mayoría de los sensores IoT utilizados en la gestión de residuos emplean baterías de litio debido a su alta densidad energética, lo que les permite operar durante largos períodos, incluso años, sin necesidad de reemplazo. Además, estas baterías son ligeras y compactas, facilitando su integración en los dispositivos. En algunos casos, los sensores pueden complementar o incluso sustituir a las baterías de litio mediante paneles solares. Esta opción es especialmente atractiva en ubicaciones con alta exposición solar, ya que permite una operación autónoma y sostenible.

La creación de redes de transmisión inalámbrica de bajo consumo también ha permitido el despliegue de los sensores IoT. Estas redes, como LPWAN (Low Power Wide Area Network) y BLE (Bluetooth Low Energy), están diseñadas específicamente para la conexión de sensores IoT consiguiendo un bajo consumo gracias a transmitir pequeñas cantidades de datos a intervalos regulares y no de manera continua, además presentan un gran alcance ya que permiten estructuras de malla que comunican los sensores entre sí hasta alcanzar una puerta de enlace para transmitir la información al sistema de almacenamiento de datos.

Visión e inteligencia artificial

La conjunción de nuevas técnicas de visión artificial y la aplicación de algoritmos de inteligencia artificial con gran capacidad de computación, está permitiendo resolver un gran problema en la gestión de residuos como es la identificación y clasificación de estos en distintos flujos dada variabilidad en las formas de un mismo residuo y falta de homogeneidad inherente a un conjunto de residuos.



El primer paso consiste en la adquisición de imágenes de alta calidad de los residuos mediante cámaras. En este punto es crucial determinar una correcta posición de las cámaras y una iluminación adecuada que suele requerir lámparas adicionales. Una vez pre procesadas las imágenes, se utilizan redes neuronales convolucionales (CNN) y Deep learning para entrenar modelos algorítmicos para identificar cada tipo de residuo. El proceso de entrenamiento implica mostrar a la red neuronal una gran cantidad de imágenes etiquetadas, donde cada etiqueta corresponde al tipo de residuo que se quiere clasificar, una vez entrenada la red es capaz de ajustar sus parámetros internamente para mejorar el etiquetado de imágenes.

Automatización robótica de procesos

La automatización robótica de procesos consiste en introducir sistemas robóticos capaces de realizar tareas repetitivas y/o peligrosas con mayor precisión y eficiencia que los humanos. Esta tecnología sobre todo combinada con las nuevas capacidades de visión artificial ya mencionadas, y las cámaras de infrarrojo cercano (NIR), que ya llevan años utilizándose en el sector, está permitiendo una mayor automatización de las plantas de tratamiento y gestión de residuos.

Las principales tendencias en este apartado son, el uso de robots manipuladores consistentes en brazos robóticos capaces de separar y clasificar un residuo de un flujo, vehículos de conducción autónoma para el transporte de material, y drones equipados con cámaras y/o sensores para monitorear vertederos.

Plataformas digitales

Las plataformas digitales engloban concepto muy amplio de software que es capaz de recopilar, almacenar, procesar y visualizar grandes volúmenes de datos generados a lo largo de toda la cadena de valor del residuo, gran parte de la potencia de estas plataformas sale a relucir cuando se implementan en la nube proporcionando una mayor accesibilidad a los mismos, escalabilidad y acceso a mejores herramientas de análisis de estos.

Estas plataformas permiten la monitorización en tiempo real, y el acceso a los datos desde distintos dispositivos y de distintos interlocutores de manera controlada. Además, a través del análisis de estos datos por técnicas de inteligencia artificial y big data, para obtener patrones y predicciones, se pueden obtener conclusiones valiosas que permitan optimizar los procesos, mejorar la eficiencia y tomar decisiones más informadas.

A continuación, se muestran diversas **iniciativas** particulares basadas en estas tendencias:

Proyecto ICEBERG

[Hyperspectral imaging to sort construction & demolition waste - Iceberg](#) es un proyecto europeo que busca diseñar tecnologías que permitan el reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD) que ha desarrollado un sistema de visión hiperespectral capaz de clasificar distintos materiales como mezcla de materiales como cerámicos, hormigón, residuos de placas de yeso y mezclas de espuma aislante (PUR y PIR).



Figura 1. Uso de imágenes hiperespectrales para la clasificación automática de residuos de construcción y demolición.

Fuente: Iceberg – Circular economy of building materials.

POLITAG ECOTRACE

[Polytag Ecotrace](#) es una iniciativa para optimizar el reciclaje de plástico de un solo uso en el Reino Unido. Este programa utiliza una tecnología innovadora que consiste en etiquetas UV que se adhieren a los envases de plástico. Los centros de tratamiento de residuos escanean estas etiquetas para recopilar datos en tiempo real sobre las tasas de recuperación, lo que permite a las marcas rastrear el destino de sus envases. Esta información proporciona una visión del ciclo de reciclaje, ayudando a las marcas a desarrollar estrategias más sostenibles, reducir el riesgo de "greenwashing" y alcanzar sus objetivos de sostenibilidad.



Figura 2. Etiquetas UV que se adhieren a los envases de plástico.

Fuente: Polytag Ecotrace.

Sensores IOT en la recogida de residuos de Madrid

La [iniciativa](#) busca optimizar la gestión de la limpieza urbana al monitorear el nivel de llenado de los contenedores de residuos, papeleras y los expendedores de bolsas para excrementos caninos para integrarlos en una plataforma, permitiendo a los servicios de limpieza actuar de forma más eficiente y reducir las emisiones de CO₂. El Ayuntamiento de Madrid ha instalado ya más de 325 sensores

en las papeleras y planea instalar un total de 12.000, junto con 6.082 sensores adicionales para los expendedores de bolsas.



Figura 3. Madrid despliega los sensores de llenado y disponibilidad de bolsas en papeleras.
Fuente: Ayuntamiento de Madrid.

RECYCLEYE QUALIBOT®

[Recycleye](#) consiste en un robot de clasificación de residuos con Inteligencia Artificial (IA) en la planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos en Algimia de Alfara, Valencia. El robot utiliza un sistema de visión artificial para identificar y separar los materiales reciclables presentes en la línea de rechazo, lo que permite aumentar la eficiencia del proceso de tratamiento, reducir los costes de clasificación y maximizar la recuperación de materiales.



Figura 4. Robot de clasificación de residuos con Inteligencia Artificial.
Fuente: Recycleye.

GREYPARROT FACILITY DASHBOARD

[Greyparrot Facility Dashboard](#) es una herramienta que utiliza inteligencia artificial para monitorizar y optimizar el rendimiento de las plantas de recuperación de materiales (MRF). La plataforma ofrece una vista general en tiempo real de los procesos y materiales en la planta, incluyendo datos sobre el rendimiento de las cintas transportadoras, la composición de los materiales y las pérdidas. El objetivo es ayudar a los operadores a tomar decisiones proactivas para mejorar la eficiencia de la

clasificación, la pureza del producto final y reducir la cantidad de materiales valiosos que terminan en residuos.



Figura 5. Panel de control de instalaciones.
Fuente: Greyparrot.

4.2. Iniciativas en sistemas de responsabilidad ampliada del productor

Las siguientes iniciativas mostradas han sido puestas en marcha por ECOEMBES:

SmartWaste

Ecoembes pone a disposición de la administración pública y operadores su plataforma de datos [Smartwaste](#), que forma parte del Sistema General de Gestión de Residuos (SDGR), y cuyo principal objetivo es la transparencia del sector para ello su función es recopilar todos los datos de los diferentes agentes que participan en las operaciones del sector.

SmartWaste es independiente de los sistemas hardware y software del proveedor y operador, lo que permite concentrar todas las tecnologías empleadas en sus operaciones en una única plataforma.

A su vez, SmartWaste permite disponer entre otros de los siguientes datos

- Ubicación exacta de los contenedores y/o otros puntos de recogida
- Histórico de llenado del contenedor
- Ruta real realizada por los camiones
- Histórico de recogidas de cada contenedor
- Kilos recogidos por contenedor, municipio, región, comunidad autónoma.
- Kilos que entran en planta
- Kilos procesados



- Disponibilidad de planta
- Efectividad y Calidad de Separación
- Balas producidas por material por turno
- Balas recogidas por reciclador

Estos datos, permiten realizar análisis y aplicar palancas de valor, y poder determinar cuestiones como las siguientes:

- Contenerización óptima.
- Rutas de recogida óptimas.
- Frecuencias de recogida óptimas.
- Identificación temprana de posibles problemas de calidad y separación que garanticen la calidad de las balas.
- Trazabilidad del residuo.

Herramienta de aportación

Este proyecto tiene como objetivo principal incrementar la recogida de envases de manera selectiva por parte del ciudadano, con la vista puesta en cumplir los objetivos que requiere la ley por comunidad autónoma y material.

El proyecto ha consistido en la creación de una herramienta de analítica avanzada a través del machine learning la cual permite predecir y recomendar las acciones necesarias para optimizar la recogida selectiva de envases, tales como:

- Acciones de mejoras de contenerización
- Acciones de campañas de marketing y concienciación.
- Campañas políticas públicas implantadas.

Todos los datos recogidos para medir estas acciones forman un total de dieciocho millones de registros, son trabajados, analizados y modelizados para generar una visualización en forma de web que sea accesible para todas las unidades de gestión.

Identificación temprana de impropios en camión

Proyecto que consiste en la instalación de una cámara en los camiones de recogida para detectar los impropios depositados empleando inteligencia artificial. Esto permite arrojar una visión de la calidad de separación por zonas y municipios, permitiendo tomar medidas o aplicar campañas de concienciación focalizadas.

Por otro lado, la identificación temprana de impropios directamente en el camión antes de la llegada a la planta permite tomar medidas en las instalaciones para mejorar la calidad de separación.



Caracterización en tiempo real mediante Inteligencia Artificial: balas de salida

Se han instalado varios sistemas de caracterización en tiempo real mediante cámaras de RGB a las que se aplica el reconocimiento de imágenes mediante Inteligencia Artificial. Estos sistemas se encuentran analizando en tiempo real las líneas de salida de las fracciones de las plantas del material valorizable, previas a las prensas (Grey Parrot, Recycleye) y línea de rechazo (Trashify).

El objetivo de estos sistemas es evaluar la calidad de separación de la planta mediante el cálculo de un indicador en tiempo real y el cálculo automático del ETMR de la bala, con el fin de poder garantizar su cumplimiento y la calidad al reciclador.

Gemelo Digital

Mediante uso de tecnología puntera de simulación de eventos discretos utilizado en otros sectores como Automoción y Aeronáutica, se ha creado el modelo digitalizado de varias plantas de selección, con el fin de tener una réplica digital de todos los procesos y poder realizar estudios de mejora y optimizaciones sin afectar a la producción real.

Gracias al Gemelo Digital Ecoembes trabaja en el diseño y validación de la planta del futuro.

Ventanilla única de adhesión

En la actualidad, los productores deben de trabajar con varios Sistemas Colectivos de Responsabilidad Ampliada del Productor en función el flujo o tipología de sus envases. Con la intención de simplificar los procesos, los Sistemas Colectivos están trabajando conjuntamente en mecanismos de integración de estos datos.

Para ello, los Sistemas Colectivos emplean API's entre plataformas para poder automatizar los intercambios de información o al menos automatizar algunos de los procesos por los que el usuario debe de emplear plataformas de diferentes SCRAPS. Por ejemplo, en el caso de Ecoembes:

- Se ha habilitado un servicio de Single Sign On para que el usuario pueda pasar desde la plataforma de un SCRAP en el que se encuentre trabajando a Ecoembes sin necesidad de tener que introducir una nueva contraseña. Este servicio se basa en mecanismos OAUTH donde se delega la autenticación del usuario en la plataforma de origen de la petición.
- Se ha habilitado un servicio en el cual se puede generar desde otro SCRAP el fichero de carga en Excel con toda la información necesaria para que el productor pueda emplearlo en la plataforma de declaración de Ecoembes y finalizar así el proceso de declaración.



5. DIGITALIZACIÓN DE LOS AGENTES DE LA CADENA DE VALOR DEL RESIDUO

El comité técnico formuló una encuesta con preguntas específicas dependiendo del rol de la entidad en la cadena de valor del residuo (generador o productor, gestor o SCRAP). A continuación, se indican los resultados y las principales conclusiones de las encuestas realizadas:

5.1. Gestores de residuos

En relación con la participación de los gestores en la encuesta sobre la digitalización de los agentes de la cadena de valor, se analizaron 13 respuestas recibidas.

Los gestores participantes valorizaron cantidades variables entre 65% de los residuos peligrosos y el 90% de los residuos no peligrosos gestionados.

Se observa la **confianza del 70 % en la aportación de la digitalización para afrontar los retos futuros**. El 30 % restante tiene una visión negativa por el desconocimiento de los futuros cambios y de las nuevas normas.

Sobre las siguientes cuestiones planteadas:

Prioridades en la Digitalización de Procesos

Los gestores de residuos han identificado las siguientes áreas como prioritarias para la digitalización:

- **Clasificación** de residuos
- **Seguimiento y monitoreo** de residuos
- **Recolección** de residuos

Seguido en importancia de: **Informes y cumplimiento**, **Interacción** con el cliente y **Análisis de datos** y toma de decisiones.

Requisitos para una Herramienta de Gestión de Residuos

Los participantes en la encuesta principalmente consideran que la herramienta de gestión de residuos, debe integrarse con otros sistemas, facilitar el cumplimiento normativo, generar informes y ser sencilla, ágil y fiable. Se indican a continuación todas las respuestas por orden de relevancia:

- **Integración** con sistemas empresariales (ERP), administraciones públicas (eSIR, GAIA, SIRA, etc.) y sistemas de responsabilidad ampliada del productor. Adaptable a las necesidades de la empresa
- **Cumplimiento legal** y adaptación a la normativa



- Utilidades como cuadros de mando, generación de **informes**, mediciones y toma de decisiones
- **Agilidad, fiabilidad, sencillez**, claridad, ser intuitiva y productiva
- Disponibilidad de **formación, atención telefónica**, accesibilidad en la nube y pago mensual, permanentemente actualizado
- **Trazabilidad**
- Facilite la **interacción con clientes**
- **Gestión de almacén, inventario, envases y rutas**

Las ventajas e inconvenientes de uso de la Plataforma e-SIR

Se identificaron las siguientes **ventajas**:

- **Homogeneidad y cumplimiento legal**: Facilita el cumplimiento de la normativa en la mayoría de las Comunidades Autónomas.
- **Unificación a nivel nacional**: Beneficiosa para empresas con centros en todo el territorio, permitiendo un registro único de residuos.
- **Mejora de la comunicación y trazabilidad**: Facilita la consulta de datos y amplía el periodo de validación.
- **Orden en la gestión**: Mejora la gestión de los actores involucrados en el ciclo de gestión de residuos.

Sin embargo, también se han identificado varios **inconvenientes**:

- **Complejidad en la tramitación de notificaciones previas** a través de la sede electrónica del MITERD.
- **Rigidez**: No permite aceptar varios documentos simultáneamente ni corregir errores una vez emitidos.
- **Excesiva información de introducción manual** y falta comunicación con los ERP.
- **Falta de retorno de información útil**: No proporciona suficiente información sobre flujos y porcentajes de valorización.
- **Gestión ineficiente de clientes**: No permite exportar listados de documentos generados ni gestionar clientes de manera eficiente.

Mejoras propuestas para e-SIR

Los participantes plantearon las siguientes mejoras para que la aplicación resulte de mayor utilidad al sector:



- **Integración de Notificaciones Previas:** Permitir la aceptación de varios Documentos de Identificación simultáneamente.
- **Flexibilidad en comunicaciones de traslados:** Incorporar traslados de última hora sin esperar diez días.
- **Conexión con otros sistemas:** Mayor integración y opciones de duplicidad.
- **Reducción de campos a validar:** Simplificar la tramitación de documentos.
- **Flexibilidad en comunicaciones de traslado:** Proporcionar información detallada y permitir la exportación de listados de DI y la gestión de clientes.

Uso de Plataformas Autonómicas

- Los participantes indicaron que utilizan SIRA (Andalucía), SDR (Cataluña), GAIA (Galicia) y ADCR (Comunidad Valenciana). Tres participantes emplean hasta cuatro de estas plataformas.

Mejoras propuestas para las Plataformas Autonómicas

- Los participantes destacaron que debe escucharse la opinión de las empresas y de los usuarios, unificar las plataformas para que únicamente se emplee e-SIR, y en caso de mantenerse las plataformas autonómicas mejorar la interconexión y el alineamiento con e-SIR para reducir fallos y evitar disparidades.
- Así mismo deben ser sencillas y alinearse con las herramientas de los gestores, ofreciendo flexibilidad y agilidad.

Otras cuestiones

- En su mayoría no tienen datos o los tienen de forma parcial sobre la digitalización por sectores y tamaño de empresa.
- En cuanto a la integración para poder llevar el control y reducir la huella de carbono, en su mayoría lo tienen parcialmente integrado o no lo tienen.
- Para asegurar el cumplimiento de las obligaciones y requisitos legislativos de tipo ambiental, los gestores utilizan servicios externos en su mayoría, y en menor medida se encarga un departamento de la empresa.

5.2. Productores de residuos

Las respuestas obtenidas de los doce productores de residuos que participaron en la encuesta identifican diversas tendencias y desafíos comunes en la gestión de residuos y la digitalización de procesos. Estas empresas pertenecen a diversos sectores como industria, movilidad y transportes, agricultura y alimentario, construcción o energía.

Los productores reportan porcentajes variables de residuos reciclados o recuperados, con cifras que oscilan entre el 50% y el 100%. La mayoría alcanza entre el 80% y el 98%.



Todos los productores encuestados, consideran que la digitalización es de gran relevancia para mejorar la eficiencia, el control y el cumplimiento en la gestión de residuos.

Detalles sobre las demás cuestiones planteadas:

Digitalización de Procesos

Una mayoría de los productores de residuos (aproximadamente el 80%) cuenta con herramientas de digitalización, aunque reconocen que queda camino por recorrer para su integración completa.

A pesar de estar bastante satisfechos con las herramientas actuales, el 90% considera que aún pueden mejorarse. La transformación digital cuenta con el apoyo de las personas clave dentro de las organizaciones y tiene un presupuesto asignado.

Las empresas están priorizando la digitalización en áreas clave como:

- Seguimiento y monitoreo de residuos
- Informes y cumplimiento normativo
- Análisis de datos y toma de decisiones
- Recolección y clasificación de residuos
- Mejora de la interacción con el cliente

Otras de las áreas que consideran previstas para una futura digitalización son: Operaciones, Medioambiente, Logística, Marketing, Ventas, Compras, (Ciber)seguridad, y Diseño de productos o servicios.

En relación a las características que se consideran más relevantes ante herramientas de gestión de los residuos:

- **Facilidad de uso:** Se prioriza que la herramienta sea intuitiva y fácil de manejar para todos los usuarios.
- **Integración con sistemas actuales:** La herramienta debe ser compatible con los sistemas ya existentes para evitar duplicidad de esfuerzos.
- **Seguridad y veracidad de los datos:** Es esencial garantizar que la información gestionada sea segura, precisa y esté disponible para su análisis.
- **Mejora en la gestión de informes y cumplimiento:** La herramienta debe facilitar la creación de informes, asegurar el cumplimiento normativo y optimizar la toma de decisiones.
- **Formación y soporte técnico:** La capacitación adecuada y el soporte técnico continuo son clave para maximizar el uso de la herramienta.



En cuanto a las estrategias que aseguran el cumplimiento de las normativas medioambientales en estas compañías:

- Procesos y asesores
- Plataformas de actualización legal
- Software especializado
- Auditorías

Desafíos en la Digitalización

Los encuestados identifican las siguientes barreras ante la digitalización de sus procesos de gestión de residuos:

- Falta de experiencia técnica
- Resistencia al cambio
- Integración con sistemas existentes
- Preocupaciones sobre la seguridad de los datos

Medidas para Garantizar la Trazabilidad del Producto y Dificultades

Los participantes señalaron varias dificultades para asegurar la trazabilidad de los productos antes de que se conviertan en residuos:

- Diseño del producto y los materiales.
- Recursos (tiempo)
- Gestor único y trazable
- Dificultades por la dispersión de centros y diversidad de personal (interno y externo)

Necesidades de los Productores para Mejorar la Segregación en Origen

- Incentivar y ofrecer opciones para una mejor segregación
- Concienciación del personal y proporcionar los medios adecuados (espacio y contenedores)
- Diseño de productos y materiales que faciliten la segregación
- Formación y sensibilización de los usuarios

Buenas Prácticas para Mejorar la Eficiencia en la Gestión de Residuos

- Implementación de sistemas software
- Digitalización y seguimiento de residuos internos y proveedores.



- Espacios habilitados y personal sensibilizado para el almacenamiento adecuado.
- Formación y concienciación continua del personal sobre segregación y reutilización.
- Donación de materiales reutilizables y reutilización de residuos en proyectos cercanos.

5.3. Sistemas Colectivos de Responsabilidad Ampliada del Productor (SCRAP)

Los Sistemas Colectivos de Responsabilidad Ampliada del Productor (SCRAP) representan el cuarto agente en la cadena de valor del residuo. La encuesta de digitalización ha recogido las respuestas de cuatro SCRAPS, encontrando perspectivas diversas.

Digitalización de los Procesos

La digitalización de los procesos clave de negocio es fundamental para los SCRAPS, que presentan un nivel alto de digitalización, siendo todavía amplio el margen de mejora, aunque afirman estar satisfechos. Destinan un presupuesto específico a la inversión tecnológica y cuentan con el apoyo de los directivos dentro de cada organización.

Los SCRAPS encuestados identifican una serie de desafíos y temores relacionados con la implementación de la digitalización:

- Altos costos de implementación
- Preocupación sobre la seguridad de los datos
- Integración con sistemas existentes
- Resistencia al cambio
- Marco normativo cambiante y muy prolijo

Asimismo, proponen una serie de apoyos y recursos que facilitarían los esfuerzos de digitalización:

- Formación y capacitación
- Incentivos y subvenciones gubernamentales
- Alianza con proveedores de tecnología
- Soporte técnico

Evaluando el grado de preparación de las empresas para una mayor digitalización, el 75% de los SCRAP han identificado sus necesidades de digitalización, y todos ellos emplean o subcontratan especialistas en Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Además, la mitad de los encuestados reportan contar con una infraestructura informática adecuada para apoyar sus planes de digitalización.

La digitalización en las áreas empresariales



La inversión en digitalización se ha concentrado en áreas empresariales prioritarias:

- **Marketing, ventas y servicios al cliente** (gestión de clientes, procesamiento de pedidos, servicios de asistencia, etc.)
- **Administración** y recursos humanos
- **(Ciber) seguridad** y cumplimiento de la normativa de Datos Personales (LOPD)
- **Integración con otras sedes internas o empresas de la cadena de valor**
- **Medioambiente** y sostenibilidad

En menor medida, también se ha identificado financiación en sectores como diseño de productos y servicios, planificación y gestión de proyectos, operaciones, logística y almacenamiento. En un futuro, prevé invertir especialmente en las áreas prioritarias mencionadas anteriormente.

Los beneficios experimentados con la digitalización son múltiples. De manera unánime, los SCRAP han obtenido una mayor precisión de los datos, una mejora en la toma de decisiones y un mejor cumplimiento de las regulaciones. El 75% de los SCRAP ha observado una mejora en la eficiencia y en el servicio al cliente.

Formación interna

El nivel de conocimiento de los empleados de los SCRAP es muy dispar, encontrando individuos con un alto grado de conocimiento junto a otros con poco o nulo conocimiento en digitalización. Las empresas llevan a cabo formaciones específicas cuando se implementa una nueva herramienta.

El 75% de los encuestados contempla el futuro en el sector con optimismo, declarando que una apuesta decidida por la digitalización facilitará el camino. No obstante, la mitad de los participantes manifiesta temor por los cambios normativos inminentes y uno de ellos expresa incertidumbre debido al desconocimiento y la falta de información.

Plataforma e-SIR

Los SCRAP identifican una serie de ventajas en el uso de la plataforma e-SIR:

- Posibilidad de gestionar la documentación digitalmente
- Criterios homogéneos
- Herramienta fácil y sencilla de utilizar
- Subidas masivas de información a través de archivos XML

Asimismo, se han señalado ciertos inconvenientes:

- Falta de actualización de datos
- Cambios técnicos sin preaviso
- No se encuentra en uso en la totalidad del territorio nacional



- Ausencia de visión global sobre las consultas de histórico de una organización

Los encuestados también proponen nuevas funcionalidades que debería incorporar la plataforma e-SIR para responder a las necesidades del sector, destacando la integración con otras plataformas para compartir información, así como la capacidad de consulta y descarga de información específica por SCRAP.

Uso de plataformas autonómicas

Dos de los SCRAP encuestados afirman emplear plataformas autonómicas. Las más mencionadas son GAIA (Galicia) y SDR (Cataluña), seguidas por SIRA (Andalucía), ADCR (Comunidad Valencia), SINGER (Islas Baleares) e IKS (País Vasco).

En general, existe la percepción de que las plataformas de información de residuos de las Comunidades Autónomas presentan una falta de homogeneidad y conexión en su funcionamiento. Se proponen alternativas para mejorar la interoperabilidad entre las plataformas, y su conexión con el Ministerio, con el objetivo de tener información armonizada y comparable. Algunas de estas propuestas incluyen:

- Creación de una única plataforma
- Criterios de estandarización de información y gestión
- Protocolos de comunicación ágiles y mayor actualización de la información
- Simplificación de procesos

Trazabilidad

Las respuestas a las cuestiones sobre trazabilidad han sido escasas, posiblemente debido a que fueron las últimas preguntas del cuestionario, lo que ha afectado a la calidad de las respuestas. No se proporcionan ejemplos de medidas que se estén adoptando para garantizar la trazabilidad del producto antes de que se convierta en residuo.

Uno de los SCRAP encuestado indica que su sistema informático les permite conocer la información relativa a la cantidad de residuos recogidos a nivel municipal y en función del tamaño del municipio, pudiendo así obtener datos sobre residuos provenientes de territorios con menor densidad de población o zonas rurales. No se han aportado respuestas a las dificultades que estos procesos de medición pueden presentar.



6. CONCLUSIONES

La digitalización en la cadena de valor del residuo es crucial para abordar el *"tsunami normativo ambiental"* y mejorar la sostenibilidad de los procesos. Este comité técnico ha analizado avances, barreras y oportunidades en la transformación digital de los gestores, productores y sistemas colectivos (SCRAPs).

Los principales **beneficios de la digitalización** identificados en el marco de este comité técnico se centran en aspectos relacionados con:

- Reducción del impacto ambiental: optimización del uso de recursos y minimización de residuos.
- Mejora de la eficiencia: procesos más ágiles y automatizados, con una menor dependencia del trabajo manual.
- Trazabilidad y transparencia: herramientas digitales que aseguran el seguimiento y la responsabilidad en el manejo de residuos.
- Cumplimiento normativo: adaptación a regulaciones cada vez más estrictas mediante plataformas digitales.

En cambio, los principales **desafíos o barreras** percibidos son:

- Costes iniciales elevados: Inversiones significativas en tecnologías y capacitación.
- Falta de experiencia técnica y resistencia al cambio: Barreras culturales y técnicas en empresas tradicionales.
- Falta de integración: Dificultades en la conectividad entre sistemas existentes.
- Brechas digitales: Falta de infraestructura tecnológica en ciertas regiones.

Algunas **tendencias tecnológicas claves identificadas** son:

- Internet de las Cosas (IoT): sensores para monitoreo en tiempo real.
- Inteligencia Artificial (IA): análisis avanzado para la clasificación y optimización de procesos.
- Plataformas digitales: sistemas centralizados para el manejo de datos, cumplimiento normativo y toma de decisiones.

Finalmente, con respecto a las **recomendaciones** podemos mencionar:

- Incentivos financieros y formación: Claves para facilitar la adopción de tecnologías.
- Colaboración público-privada: Necesaria para superar barreras estructurales.
- Simplificación normativa: Integrar plataformas nacionales y autonómicas para mayor homogeneidad.



- Foco en la sostenibilidad: Uso de herramientas digitales para mejorar prácticas sostenibles.

El informe concluye que, aunque existen retos significativos, **la digitalización** de la cadena de valor del residuo **ofrece oportunidades críticas** para mejorar la sostenibilidad, **competitividad y cumplimiento normativo** en el sector.