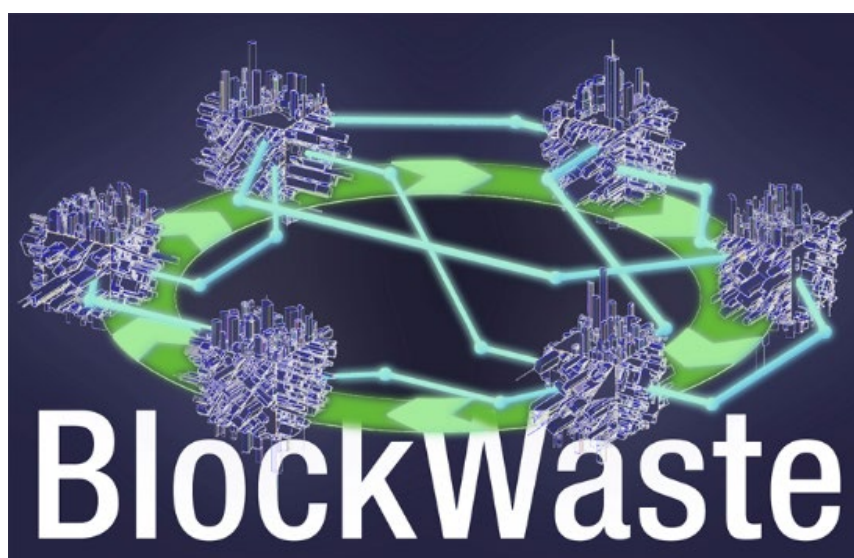


O1.A3 Manuales de Estrategias de Economía Circular aplicadas a la Gestión de Residuos Municipales utilizando tecnología Blockchain

Manual 3: Gestión de residuos municipales basada en blockchain



Descargo de responsabilidad

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



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

Ficha de resultados:

| | |
|--|---|
| Programa de financiación | Programa Erasmus+ de la Unión Europea |
| Financiación NA | EL01 Fundación de Becas Estatales Griegas (IKY) |
| Título completo del proyecto | Formación innovadora basada en la tecnología Blockchain aplicada a la gestión de residuos — BlockWaste |
| Campo | KA2 — Cooperación para la innovación y el intercambio de buenas prácticas KA203 — Asociaciones estratégicas para la educación superior |
| Número de 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 de salida: O1. Materiales de aprendizaje para Blockchain-RSU interdisciplinario

Título de la tarea: A3. Manuales de estrategias de economía circular aplicadas a la gestión de residuos municipales utilizando tecnologías Blockchain

Líder de salida: NTUA

Líder de la tarea: Bielefeld UAS

Autor(es): Rainer Lenz, rlenz@fh-bielefeld.de, Andreas Uphaus, auphaus@fh-bielefeld.de, Bernd Kleinheyer, bkleinheyer@fh-bielefeld.de, Leonie Holste, τ, todos de Bielefeld UAS, Alemania

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

Paraskevas Tsangaratos, ptsag@metal.ntua.gr, Universidad Técnica Nacional de Atenas, Grecia

Revisado por: Athanassios Mavrikos, Universidad Técnica Nacional de Atenas, mavrikos@metal.ntua.gr, Grecia, Perry Smit, Saxion UAS, p.j.smit.01@saxion.nl, Países Bajos

Control del documento

| Versión del documento | Versión | Enmienda |
|-----------------------|------------|----------------------------|
| V0.1 | 31/03/2022 | Versión final — 29/04/2022 |
| | | |
| | | |

Contenido

| | |
|---|----|
| Resumen ejecutivo | iv |
| 1 Introducción | 1 |
| 1.1 Breve descripción del proyecto | 1 |
| 1.2 Objetivos y enfoque metodológico..... | 2 |
| 2 Transformación de la gestión de residuos municipales dentro de la economía circular .. | 3 |
| 2.1 Se necesita un cambio de rol en la gestión de residuos municipales..... | 3 |
| 2.2 Gestión de Datos de Residuos Municipales | 5 |
| 2.2.1 La economía circular requiere información circular..... | 6 |
| 2.2.2 Sin divulgación de información sin integridad de datos y protección de datos | 7 |
| 2.2.3 Gestión de Datos de Residuos Municipales | 8 |
| 2.2.4 Blockchain facilita el intercambio de datos en la economía circular..... | 11 |
| 2.2.5 Blockchain apoya la auto-soberanía de la identidad y la integridad de los datos | 13 |
| 2.3 Gerente de Residuos Municipales — un arquitecto de elección para la toma de decisiones..... | 14 |
| 2.3.1 La economía circular necesita un sistema inteligente de incentivos descentralizados..... | 15 |
| 2.3.2 Gerente de Residuos Municipales — un arquitecto de elección para el cambio de comportamiento..... | 16 |
| 2.3.3 Blockchain permite la incentivación por tokenización..... | 17 |
| 2.3.4 Utilice Blockchain para rastrear y rastrear los ciclos de vida del producto | 18 |
| 2.4 Transformación de la gestión de residuos municipales | 19 |
| 2.4.1 Creación de valor del MWM en la Economía Circular | 19 |
| 2.4.2 Cambios en las operaciones y procesos del MWM | 20 |
| 2.4.3 Cambios en las operaciones y procesos del MWM..... | 21 |
| 2.4.4 Implementación de cambios paso a paso | 23 |
| 2.4.5 Mejora de la automatización mediante IoT y Smart Contracts y Blockchain .. | 23 |
| 2.5 Gestión de Residuos Municipales se convierte en un corredor de confianza | 25 |
| 2.5.1 Mejora de la automatización mediante IoT y Smart Contracts y Blockchain .. | 25 |
| 2.5.2 Blockchain como facilitador de la colaboración P2P..... | 27 |
| 3 Guía para iniciar procesos de gestión de residuos basados en Blockchain..... | 28 |
| 3.1 Etapas de un proyecto Blockchain | 28 |
| 3.2 Identificación de un proceso adecuado para la conversión de Blockchain..... | 28 |
| 3.3 Registro de la cadena de residuos con indicadores clave de rendimiento..... | 30 |
| 3.4 Diseño de un proceso basado en Blockchain | 37 |

| | | |
|-----|--|----|
| 3.5 | Desarrollo de un modelo de gobernanza para aplicaciones Blockchain | 41 |
| 3.6 | Convencer a la alta dirección | 43 |
| 4 | Recomendaciones finales | 47 |
| 5 | Referencias y fuentes para lecturas adicionales | 49 |

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Cuadro1: Definición de los objetivos específicos de las partes interesadas (los autores) | 35 |
| Cuadro2: Indicadores clave de rendimiento específicos de las partes interesadas (los autores) | 36 |

Lista de cifras

| | |
|--|----|
| Figura1: Manual del proyecto BlockWaste (los autores) | 2 |
| Figura2: 9R-estrategias de la economía circular (Kirchherr et al. 2017, p. 224) | 3 |
| Figura3: Estrategias de circularidad y papel de los actores dentro de la cadena de producción (Potting et al. 2017, p. 16) | 4 |
| Figura4: Nivel de cambio — cambio de rol MWM — Tecnología Blockchain (los autores) | 5 |
| Figura5: MWM como proveedor de datos para CE (los autores) | 6 |
| Figura6: La economía circular requiere un flujo circular de información (los autores) | 6 |
| Figura7: Soluciones IoT para integrarse en camiones de residuos (Berg y Sebestyén 2020, p. 22) | 9 |
| Figura8: Herramientas de análisis de residuos (los autores) | 10 |
| Figura9: Flujo de información basado en blockchain (los autores) | 13 |
| Figura10: MWM como arquitecto de elección para la toma de decisiones (los autores) | 14 |
| Figura11: Modelo de pago y recepción (los autores) | 17 |
| Figura12: Transformación de la Gestión Municipal de Residuos (los autores) | 19 |
| Figura13: Transformación de la Gestión Municipal de Residuos (los autores) | 22 |
| Figura14: Ecosistema Big Data e IoT (Lenz 2019.a) | 24 |
| Figura15: Gestión de Residuos Municipales se convierte en un corredor de confianza (los autores) | 25 |
| Figura16: Etapas de un proyecto Blockchain (los autores) | 28 |
| Figura17: Necesitas un Blockchain? (Wüst y Gervais 2018, p. 3) | 30 |
| Figura18: Objetivos de la pirámide de residuos (los autores basados en la jerarquía de residuos de la UE véase el artículo 4 de la Directiva marco de residuos de la UE) | 31 |
| Figura19: Desarrollo de indicadores clave de rendimiento específicos de las partes interesadas en un proceso de colaboración (los autores) | 33 |
| Figura20: Grupos de partes interesadas que participan en el proceso de residuos (los autores) | 33 |
| Figura21: Diseño de un proceso de gestión de residuos basado en Blockchain | 39 |
| Figura22: Estructura de bloques del proceso de gestión de residuos basado en Blockchain (los autores) | 40 |
| Figura23: Retorno positivo de la inversión para cada parte interesada? (Lenz 2019) | 44 |

Lista de abreviaturas

| Abreviatura | Definición |
|-------------|---|
| MWMO | Organizaciones Municipales de Gestión de Residuos |
| GRSU | Gestión de Residuos Sólidos Urbanos |
| IoT | Internet de las Cosas |
| UE | Unión Europea |
| CE | Economía circular |
| PAYT | Paga a medida que lanzas |
| P2P | Peer to Peer |

Resumen ejecutivo

El uso de Blockchain para la gestión de residuos municipales ofrece ventajas si está integrado en un ecosistema digital al servicio de la Economía Circular más amplia. Dado que el caso de la digitalización es un caso de información, generación y circulación de datos, debe abordarse la cuestión del mantenimiento, el acceso y el control de los repositorios de datos de residuos. La economía real, hasta ahora mayoritariamente lineal y física de los residuos (recogida de sustancias, reciclado, incineración, eliminación, etc.) está evolucionando hacia la gestión de flujos circulares. Este impulso puede ser apoyado poderosamente por una economía virtual de residuos que genera, proporciona y comercializa información que refleja el movimiento de sustancias en la «cadena» de residuos («esfera» sería más apropiada). En el futuro, este proceso dependerá de cómo se gestionan y comparten los flujos de datos. Esto será garantizado por las organizaciones municipales de gestión de residuos (MWMO). Estos tendrán que satisfacer un conjunto complejo de necesidades:

- Permitir la creación de valor a partir de flujos de sustancias
- Permitir el acceso múltiple, transparente y fiable de las partes interesadas a los flujos de sustancias y, por lo tanto, a los datos de recursos
- Diseño de flujos de información y datos relativos a las sustancias de recursos
- Estimular el comercio y las transacciones de valor derivados de los recursos circulantes

Las cadenas de bloques pueden ser una herramienta clave que permite a los MWMO desempeñar este papel de manera transparente, eficiente y confiable, ya que las Blockchain permiten el acceso libre, el control del intercambio de datos, la integridad de los datos, las transacciones transparentes y el seguimiento completo de los flujos de recursos.

Pueden ser un factor clave para hacer de la confianza el principal facilitador de la gestión circular de residuos, lo que convierte a los MWMO en el intermediario de confianza de una economía de residuos.

Los dispositivos técnicos en los que se basan las Blockchains actuales son contratos inteligentes, tokens, claves de acceso y nudos de red descentralizados que registran transacciones y eventos digitales.

El uso rápidamente emergente de las tecnologías IoT genera grandes volúmenes de datos que, si se analizan adecuadamente, pueden ayudar a crear un alto valor para las partes interesadas en la gestión de residuos circulares. Como estos datos se pueden compartir a través de Blockchains que los hacen disponibles para el tratamiento de sustancias, la gestión de la cadena de suministro, el marketing de servicios, la comunicación con los clientes y otros fines, las Blockchain pueden operarse como centros de datos que alimentan una multitud de procesos de IoT que apoyan el suministro, la fabricación, la distribución y la recuperación de valores físicos.

Por lo tanto, los MWMO verán que sus roles y funcionamiento cambian radicalmente de ser agentes de recogida-tratamiento-disposición en productores y distribuidores de datos. Esta transformación requerirá nuevas declaraciones de misión, nueva gobernanza y nuevos modelos organizacionales, todo lo cual obligará a los MWMO a adquirir nuevas habilidades, mentalidades y culturas organizacionales.

Aquí se propone un itinerario de transformación digital que involucra Blockchain. Para fines de ejemplificación, se centra en un solo proceso que comienza identificando y mapeando los

procesos existentes y conduce a una prueba piloto después de una cascada de pasos que involucran árboles de toma de decisiones. Un marco de indicadores clave de rendimiento que permiten gestionar los procesos circulares de residuos apoyados por Blockchain proporciona asistencia para pasar de la etapa piloto a la de implementación.

1 Introducción

1.1 Breve descripción del proyecto

Este Manual sobre «Gestión de residuos municipales basada en la cadena de bloqueo» fue escrito en el marco del proyecto BlockWaste, que es un proyecto Erasmus Plus financiado por la UE dirigido por un consorcio de cinco socios de Estonia, Alemania, Grecia, Países Bajos y España, para más detalles cf los logotipos en la página de título.

El proyecto BlockWaste tiene como objetivo abordar la interoperabilidad entre la gestión de residuos y la tecnología Blockchain y promover su tratamiento adecuado a través de la formación educativa, para que los datos recogidos se compartan dentro de un entorno seguro, es decir, un espacio de certeza y confianza entre todas las partes involucradas.

Para ello, los objetivos del proyecto BlockWaste son los siguientes:

- Realizar investigaciones sobre los residuos sólidos generados en las ciudades y la forma en que se gestionan, de modo que puedan utilizarse para crear una base de información de buenas prácticas que permita a las unidades de gestión de residuos 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 sólidos urbanos (RSU).
- Crear un plan de estudio que permita la formación de docentes y profesionales de organizaciones y empresas del sector en la superposición de los campos de Gestión de Residuos, Economía Circular y Tecnología Blockchain.
- Desarrollar una herramienta interactiva basada en la tecnología Blockchain que permita poner en práctica la gestión de los datos obtenidos a partir de 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.

Este Manual de Gestión de Residuos Municipales basado en Blockchain se basa en el análisis de los estudios comparativos previos realizados dentro del proyecto BlockWaste:

- Estudio comparativo de la normativa de gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) en cada país, <https://blockwasteproject.eu/wp-content/uploads/2021/12/O1.A1.-Comparative-study-of-Municipal-Solid-Waste.pdf>
- Estado de la digitalización en la gestión municipal europea de residuos, Estudio comparativo — cinco países miembros de la UE, Estonia, Alemania, Grecia, Países Bajos y España, <https://blockwasteproject.eu/wp-content/uploads/2021/10/O1.A2.1-Comparative-State-of-Digitalization-in-Municipal-Waste-Management.pdf>
- Aplicaciones blockchain para la gestión de residuos, Análisis de casos de uso de Blockchain en la gestión de residuos, <https://blockwasteproject.eu/wp-content/uploads/2021/10/O1.A2.2-Blockchain-Applications-for-Waste-Management.pdf>

Para obtener más información, visite nuestro sitio web del proyecto BlockWaste <https://blockwasteproject.eu>

1.2 Objetivos y enfoque metodológico

El objetivo de este Manual 3 «Gestión de residuos basada en Blockchain» es guiar a los profesionales del sector de la gestión de residuos sobre cómo deben implementar la tecnología IoT y Blockchain como estrategias de Economía Circular. Por lo tanto, se dirige a los profesionales que conocen las ventajas de usar la tecnología Blockchain, así como tener una suficiente comprensión de la Economía Circular y sus objetivos. Para aquellos lectores con menos conocimiento en una de las áreas antes mencionadas, recomendamos leer el Manual 1 (Blockchain) o el Manual 2 (Economía circular). Los manuales 1 y 2 deben entenderse como un breve compendio y proporcionan una visión general de los contenidos esenciales — cf fig 1.

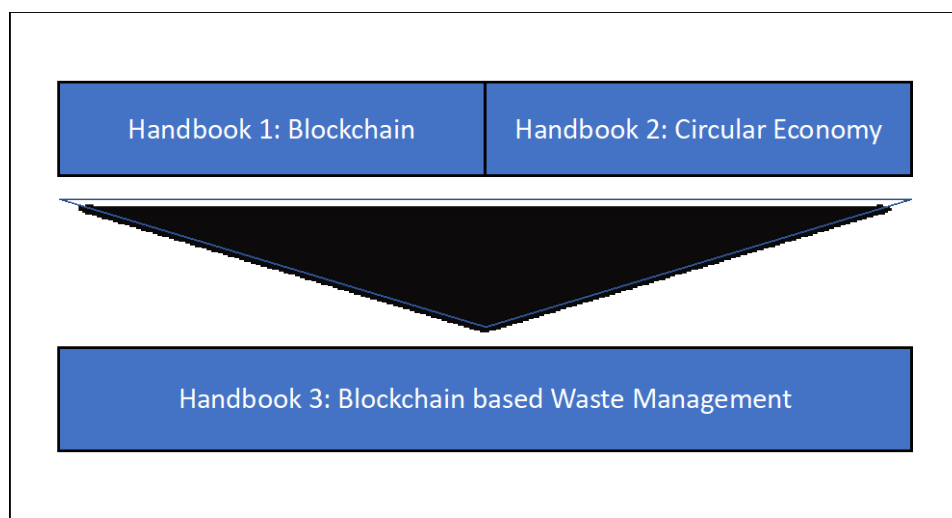


Figura1: Manual del proyecto BlockWaste (los autores)

La estructura del manual sigue una lógica deductiva al presentar, en la primera parte, el papel cambiante de la gestión de residuos sólidos municipales dentro de la transformación del sistema económico actual lineal a la Economía Circular. El enfoque siempre está en el uso de la tecnología Blockchain, que puede hacer una contribución sustancial a la transformación de la gestión de residuos municipales. Los tres temas, la Economía Circular, la transformación de la gestión de residuos municipales y el uso de la tecnología Blockchain, están interrelacionados y se muestran formas de cómo la tecnología Blockchain puede facilitar el cambio de rol necesario de los Administradores Municipales de Residuos en varios aspectos. La segunda parte del manual contiene una guía clara para los administradores de residuos sobre cómo implementar la tecnología Blockchain y convertir los procesos existentes en procesos basados en Blockchain. Esta parte proporciona orientación para el mejor uso de Blockchain y tecnologías de contratos inteligentes dentro del sector de los residuos y proporciona un plan coherente para la implementación y aplicación de estas tecnologías innovadoras en organizaciones corporativas municipales y locales.

2 Transformación de la gestión de residuos municipales dentro de la economía circular

2.1 Se necesita un cambio de rol en la gestión de residuos municipales

El papel tradicional de la Gestión Municipal de Residuos ha sido, desde que las ciudades europeas ampliaron sus servicios a los ciudadanos de finales de la Edad Media, para recoger y eliminar los residuos. En su funcionamiento, la Gestión Municipal de Residuos (MWM) se ha basado en habilidades básicas, en su mayoría manuales (incluso si auto-mated) que permiten el manejo, tratamiento y eliminación de residuos. La toma de decisiones se ha centrado principalmente en 'Qué va a dónde' y 'Cómo podemos conseguirlo allí'.

Con el tiempo, este proceso «lineal» se ha convertido en una larga cadena, la mayoría de la cual ha desaparecido de la vista a los «productores» de residuos. La emergente Economía Circular rompe y remodela esta cadena en un complejo ciclo de flujos de sustancias, datos e intervenciones de las partes interesadas que promete combinar beneficios sanitarios, sanitarios, ambientales y económicos. Kirchherr, Reike y Hekkert (2017) han realizado un metaestudio sobre 114 definiciones de la Economía Circular con el objetivo de crear transparencia en cuanto a la comprensión actual del concepto de Economía Circular. Adaptaron el concepto de estrategias 9R en original de Potting, Hekkert, Worrell y Hanemaaijer (2017) y los visualizaron en la siguiente tabla:

| Circular economy | | Strategies | |
|------------------|--|---|---|
| | Smarter product use and manufacture | R0 Refuse | Make product redundant by abandoning its function or by offering the same function with a radically different product |
| | | R1 Rethink | Make product use more intensive (e.g. by sharing product) |
| | | R2 Reduce | Increase efficiency in product manufacture or use by consuming fewer natural resources and materials |
| | Extend lifespan of product and its parts | R3 Reuse | Reuse by another consumer of discarded product which is still in good condition and fulfils its original function |
| | | R4 Repair | Repair and maintenance of defective product so it can be used with its original function |
| | | R5 Refurbish | Restore an old product and bring it up to date |
| | | R6 Remanufacture | Use parts of discarded product in a new product with the same function |
| | Useful application of materials | R7 Repurpose | Use discarded product or its parts in a new product with a different function |
| | | R8 Recycle | Process materials to obtain the same (high grade) or lower (low grade) quality |
| R9 Recover | | Incineration of material with energy recovery | |
| Linear economy | | | |

Figura2: 9R-estrategias de la economía circular (Kirchherr et al. 2017, p. 224)

De acuerdo con Potting et al. (2017) las estrategias de la 9R se pueden visualizar en un diagrama que documenta la colaboración de los diferentes actores requeridos en la cadena de valor. Aquí queda claro una vez más en qué medida la Economía Circular difiere del modelo económico lineal anterior de las cadenas de suministro y cómo aumenta la complejidad de los flujos de materiales debido a la multitud de conexiones entre los actores.

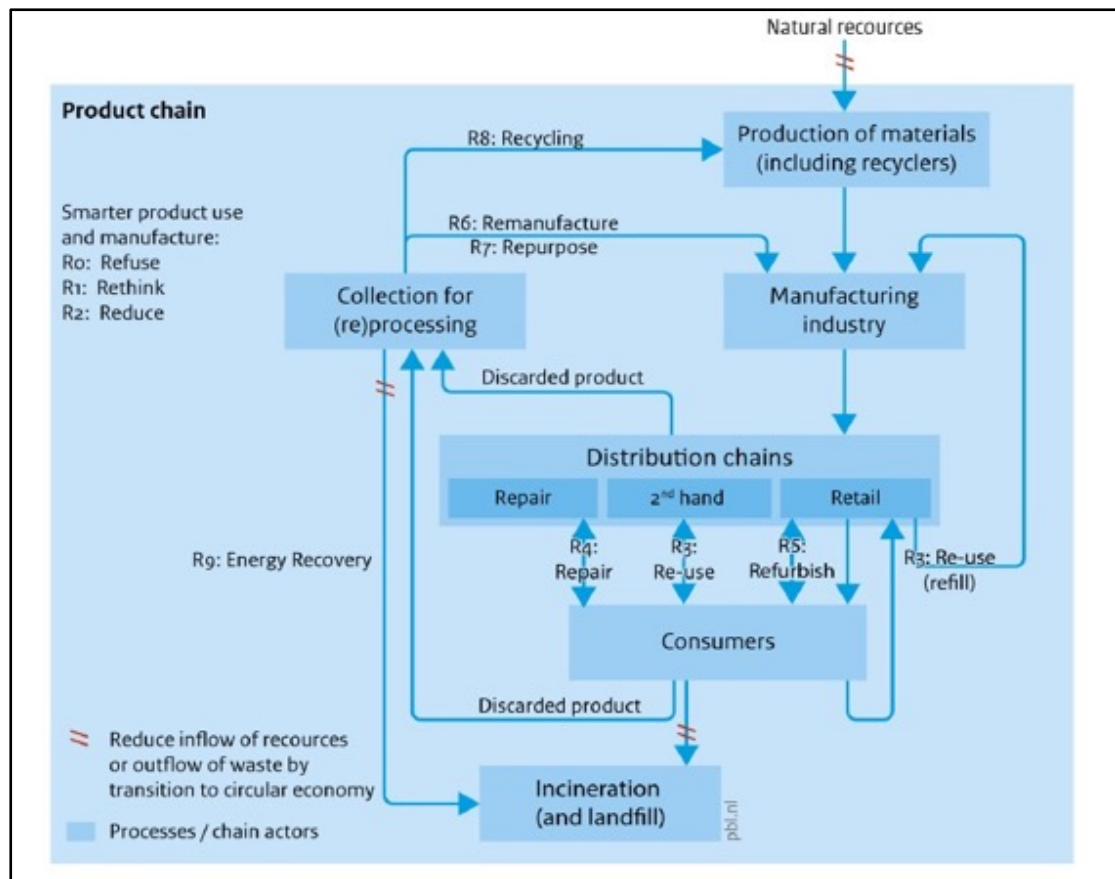


Figura3: Estrategias de circularidad y papel de los actores dentro de la cadena de producción (Potting et al. 2017, p. 16)

Este desarrollo ha sido prefigurado durante mucho tiempo por los bucles de reciclaje y reutilización que fueron parcheados en cadenas de residuos lineales. En el nuevo mundo de los residuos, estos «bucles» y especialmente su gestión ya no van a ser uno de varios, sino que se convertirán en la actividad principal de las organizaciones municipales de gestión de residuos.

En condiciones de economía circular, el enfoque de las organizaciones de gestión de residuos ya no está en la eliminación, sino en la gestión del ciclo, el modelado, el control y la creación de valor. La gestión de residuos municipales se encuentra en el corazón de la economía circular, ya que recoge los flujos de residuos producidos por los ciudadanos y las empresas locales. Estos flujos de residuos se reducirán, redirigirán y procesarán significativamente en el futuro a través de la prevención, la reutilización, la reparación y el reciclaje. El papel de la Gestión Municipal de Residuos es decidir si un producto o sustancia debe reutilizarse, repararse, reciclarse en su conjunto, desmontarse en sus componentes para reciclar recursos valiosos o transformarse en materias primas. Los servicios municipales de residuos continúan recolectando los residuos, pero también y principalmente actuarán como distribuidores de materias primas y objetos valiosos para los participantes en el mercado para uso secundario, para reciclaje secundario, para reparación. Este papel del centro de distribución que requiere una estrecha interacción con los proveedores de servicios, los fabricantes de productos, los productores de piezas de repuesto y los productores de energía se ilustra en la figura 3. Todos los ciclos de reutilización, recuperación y reciclaje pasan por las organizaciones Municipales de Gestión de Residuos como recolectores de residuos que forman una puerta de entrada a las cadenas de valor que emergen en la Economía Circular. El éxito de la transformación de

una economía lineal en una economía circular depende en gran medida del desempeño de la gestión municipal de residuos.

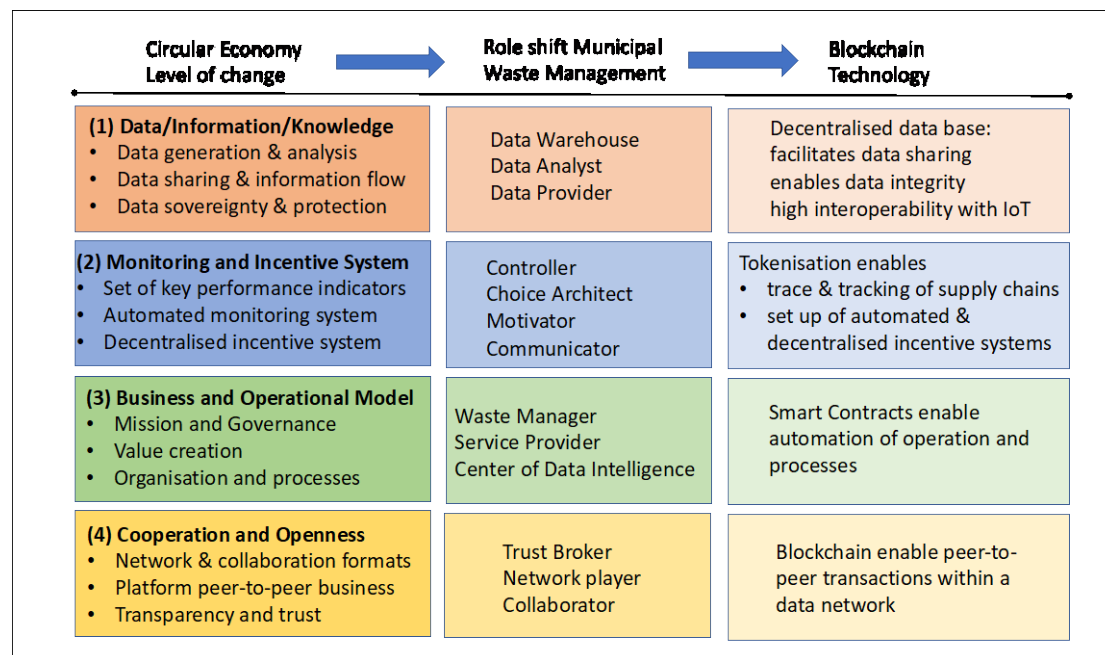


Figura4: Nivel de cambio — cambio de rol MWM — Tecnología Blockchain (los autores)

La transformación en Economía Circular pone al revés el actual modelo económico lineal. Este cambio de sistema requiere cambios fundamentales en diferentes niveles de la economía como se muestra en la figura 4. Por ejemplo, en el nivel (1), el intercambio de datos, es decir, el flujo de información y el conocimiento sobre el material y los escasos recursos dentro de los productos entre las diversas partes interesadas de la cadena de suministro y residuos, se vuelve indispensable. Pero, ¿quién recopila, analiza y proporciona los datos sobre residuos para y a otras partes interesadas? Esto debe ser asegurado por las empresas municipales de gestión de residuos, que actuarán, en el futuro, como almacenes de datos, analistas de datos y proveedores de datos. En consecuencia, cualquier nivel de cambio en las diferentes categorías de la Economía Circular implica un cambio fundamental en los roles y tareas de las empresas municipales de gestión de residuos. El uso de Blockchain tiene un papel central que desempeñar aquí, ya que facilita la transformación de un modelo económico lineal a un modelo económico circular. Para cada uno de los cambios necesarios en los diferentes niveles, el uso de Blockchain ofrece ventajas específicas. El concepto descentralizado de Blockchain permite la cooperación y colaboración necesaria entre las muchas partes interesadas en la Economía Circular.

A continuación, se describe brevemente cada nivel de cambio y se describen los efectos en las tareas de gestión de residuos municipales. El enfoque siempre está en la contribución que el uso de la tecnología Blockchain puede hacer para lograr los objetivos de la Economía Circular.

2.2 Gestión de Datos de Residuos Municipales

A continuación se destaca la importancia de la disponibilidad e intercambio de datos e información para la Economía Circular y se analiza el papel del sector de gestión de residuos municipales como proveedor de datos. Finalmente, se destaca la función de Blockchain como

base de datos descentralizada. La Figura 5 ilustra el camino hacia una estructuración lógica de las acciones de cambio.

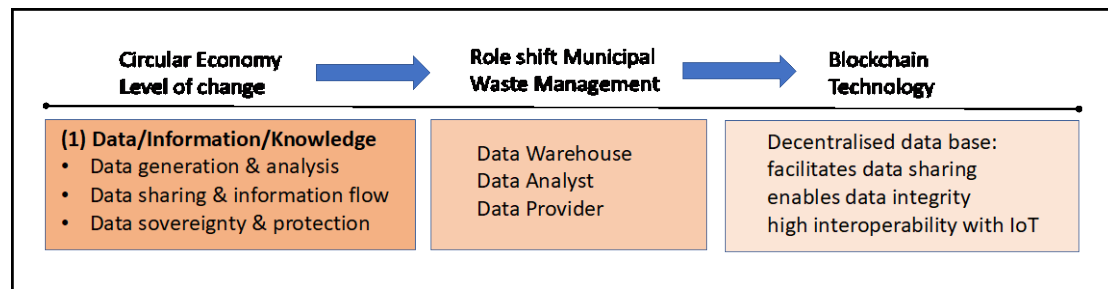


Figura5: MWM como proveedor de datos para CE (los autores)

2.2.1 La economía circular requiere información circular

La gestión de residuos puede ser eficaz si todas las partes interesadas comparten datos e información en la misma plataforma, mientras que cada uno de ellos comprende los múltiples desafíos planteados dentro de cada proceso de cadena. Cada proceso de cadena de valor consta siempre de tres flujos: flujo de material, flujo de pago opuesto y flujo de información. El flujo suave y eficientemente estructurado de la información entre los participantes en la cadena de procesos es lo más importante. Si el flujo de información se obstruye porque no hay interfaces automáticas entre los silos de datos de las empresas o porque los medios de comunicación ralentizan la cadena de información, entonces se producirán retrasos y errores costosos en el flujo de material y el flujo de pago. Además, los costos de monitoreo serán enormes, porque si no hay seguridad de la información sobre el curso del proceso en largas cadenas de suministro, será necesario un monitoreo permanente del status quo. Si los materiales van a fluir en el ciclo en el futuro, entonces es imperativo que el flujo de información también siga el ciclo.

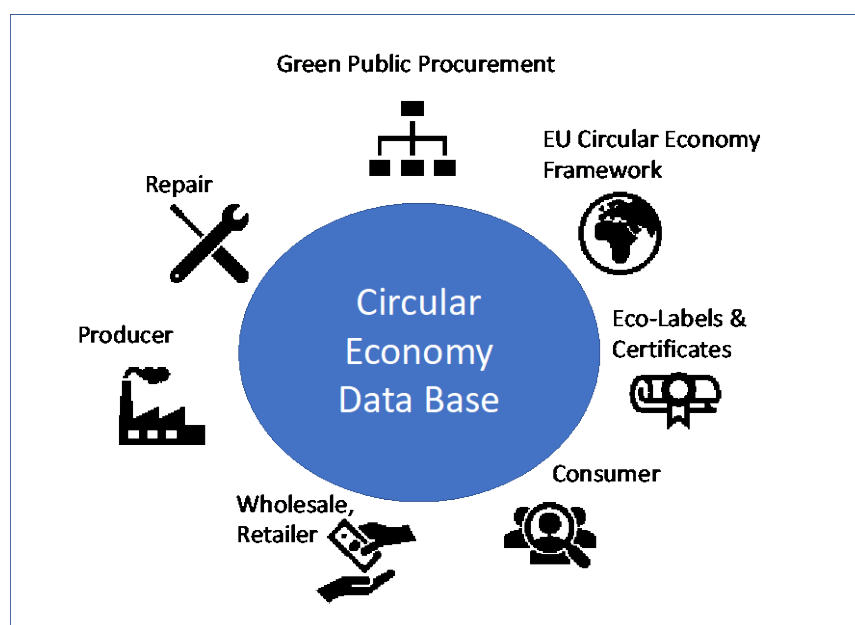


Figura6: La economía circular requiere un flujo circular de información (los autores)

Los productores necesitan saber cuándo y cuánto de qué material reciclado fluye de la Gestión de Residuos Municipales a su producción para permitir una planificación justo a tiempo. Los mayoristas y minoristas que también ofrecerán productos reciclables en el futuro también querrán obtener información sobre la entrega y almacenamiento de estos productos. Los productores deben informar a los consumidores sobre la longevidad de los productos y su compatibilidad con el medio ambiente. Además, los consumidores, los productores y los minoristas deben ser informados en el futuro sobre la cantidad de residuos y las categorías que han destinado para poder calcular las tasas sobre la base de la producción real de residuos. Los talleres de reparación locales desean que los productores informen sobre las instrucciones de reparación y sobre la adquisición de las piezas de repuesto necesarias. La UE desea establecer un marco de presentación de informes sobre la economía circular para supervisar los procesos, de modo que necesite datos e información pertinentes.

La evaluación del impacto ambiental de los productos garantizados por las etiquetas ecológicas y las «agencias de calificación» externas también requerirá una fuente segura de datos. Esto también se aplica a la contratación pública ecológica, que también necesita datos fiables.

2.2.2 Sin divulgación de información sin integridad de datos y protección de datos

Sin embargo, la transparencia y el intercambio de datos conllevan los riesgos de violación de la privacidad o robo de secretos comerciales o la seguridad de la propia base de datos se pone en peligro (ciberseguridad), especialmente porque el suministro de datos para el propósito respectivo y su transferencia a través de interfaces de datos automáticas está asociado con un esfuerzo considerable. Algunos modelos de negocio actuales se basan únicamente en la asimetría de información entre los participantes del mercado y podrían tener dificultades para sobrevivir en el futuro.

Los efectos de la asimetría de la información también son evidentes en el lado receptor de los datos. ¿Puede el destinatario de los datos, ya sea el consumidor, la empresa de reciclaje, etc., confiar en que los datos del producto son genuinos, creíbles y actualizados, y provienen del productor como fuente? ¿Cómo se pueden aportar pruebas de integridad y validez de los datos? La integridad de los datos debe garantizar la coherencia, integridad, exactitud y validez de los datos durante todo el período de conservación. Todos los cambios de datos tendrían que ser documentados de manera rastreable para que los datos no puedan ser cambiados o manipulados desapercibidos o sin autorización.

Las entrevistas realizadas con empresas sobre la introducción de un pasaporte material muestran que las empresas solicitan el control sobre sus datos. En otras palabras, quieren ser soberanos de sus datos y decidir por sí mismos quién tiene acceso a sus datos, en qué momento y en qué medida. Además, no todos los socios de la cadena de suministro y residuos deben tener pleno acceso a todos los datos, y especialmente el acceso a datos corporativos sensibles debe seguir estando restringido. Aquí, una vez más, las cuestiones legales relativas a la responsabilidad por abuso o mal uso de los datos y la documentación de quién tuvo acceso a los registros de datos en qué momento (Rudolphi, 2018) surgen.

Actualmente, la falta de confianza en el intercambio de datos en el sector empresarial se aborda principalmente a través de contratos legales como los requisitos de divulgación, que responsabilizan al destinatario de los datos por el uso indebido o la divulgación de los datos a terceros. O bien, las instituciones públicas o privadas (instituciones supervisoras y

reguladoras, auditores) se interponen como intermediarios de confianza que verifican los datos, los certifican, gestionan los derechos de acceso y supervisan su uso (Verhulst, 2018). En la mayoría de los casos, las soluciones de nube central basadas en la web de las empresas de TI se utilizan para las bases de datos, cambiando la carga de confianza con respecto a la integridad y seguridad de los datos al proveedor de la nube. Desde el punto de vista del consumidor, las etiquetas de los productos y los certificados de instituciones públicas y privadas independientes del productor son particularmente importantes para aumentar la confianza en la validez de la información del productor. En última instancia, las agencias de certificación también actúan como intermediarios de confianza entre consumidores y productores.

Estas soluciones al problema fundamental de la asimetría de la información han creado una industria completa de auditores, empresas de pruebas, agencias de calificación, proveedores de bases de datos en la nube, cuya tarea central es el registro, control, pruebas y gestión de datos. En el lado público, esta carga burocrática se refleja en un número creciente de instituciones públicas encargadas de la supervisión y la regulación basadas en un sistema jurídico complejo. A pesar de este considerable esfuerzo, sigue siendo cuestionable si tal sistema está a la altura de los requisitos de los flujos de información de una economía circular en vista del gran número de participantes, la amplia ramificación de las cadenas de suministro y residuos, los procesos dinámicos y la variabilidad resultante de los datos. La Blockchain como base de datos descentralizada podría funcionar como un corredor de confianza entre las partes interesadas involucradas, como se demostrará a continuación.

2.2.3 Gestión de Datos de Residuos Municipales

La pregunta es ¿Quién recopila y registra datos en la Economía Circular? En última instancia, esto solo puede garantizarse mediante la gestión de residuos municipales. Aquí es donde se acumulan los datos cuando se recopilan residuos de empresas y consumidores. Los camiones de residuos y contenedores inteligentes deben estar equipados con una multitud de sensores y recopilar una multitud de datos sobre cantidad de residuos, calidad, ubicación, ruta y contaminador durante la recolección y almacenarlos directamente en una base de datos.

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

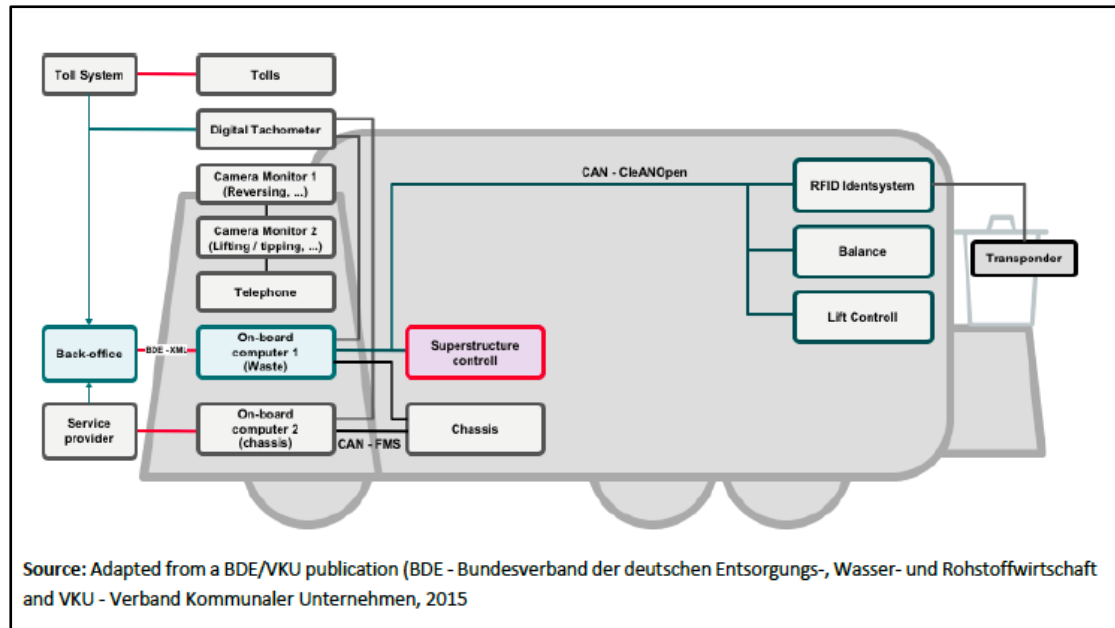


Figura7: Soluciones IoT para integrarse en camiones de residuos (Berg y Sebestyén 2020, p. 22)

Para una implementación exitosa de un sistema de gestión de residuos basado en Blockchain, las autoridades competentes requieren que el sistema recopile y analice datos relativos a una variedad de aspectos de la gestión de residuos (operativo, económico, ambiental y social). Estos pueden incluir recolección, transporte, tratamiento, recuperación y eliminación de materiales y energía. Mediante la aplicación de tecnologías digitales avanzadas (Robotics, IoT, Data Analytics, Blockchain), se podría lograr un cambio hacia un papel de gestión de materiales sostenible que influya en cada sector de gestión de residuos. Por ejemplo, IoT conectará flujos de material e información que podrían ser útiles para que los fabricantes rastreen, monitoricen, controlen, optimicen y eventualmente proporcionen nuevos productos basados en los conceptos de Economía Circular. El aumento de las cantidades de residuos, la crisis climática o la responsabilidad ampliada del productor son las principales fuerzas impulsoras de tal cambio. Sin embargo, los operadores deben abordar cuestiones relacionadas con los costes de inversión, la falta de alfabetización digital y un ecosistema digital, las preocupaciones en materia de seguridad y el temor a la pérdida de puestos de trabajo. La tendencia actual en las prácticas de gestión de residuos que dominarán el futuro cercano implica la introducción de nuevos modelos de negocio, como plataformas de comercio de residuos, conjuntos de software específicos para residuos y análisis de negocios (Berg & Sebestyén, 2020).

Es probable que las actividades de recogida de residuos desempeñen el papel más importante en todo el proceso, ya que pueden influir en las operaciones posteriores de reutilización, reciclado y eliminación (Bertanza, Ziliani, & Menoni, 2018). En todos los casos, cada una de las actividades mencionadas debe abordarse de conformidad con las prioridades acordadas por la Directiva marco 2008/98/CE de la Unión Europea (UE) (European Union, 2008) y con los objetivos establecidos en el Pacto Verde Europeo (European Commission, 2019).

Para la evaluación de las estrategias municipales de gestión de residuos sólidos es necesario contar con grandes bases de datos, recogida sistemática de datos y varios procedimientos de tratamiento (Teixeira, Russo, Matos, & Bentes, 2014). Los datos de gestión de residuos se consideran críticos para la aplicación de políticas y planificación adecuadas para los contextos

locales(Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2018). En la mayoría de los casos, los sistemas de gestión de residuos actuales admiten la entrada manual de datos, lo que a su vez tiene una mayor probabilidad de error e información inexacta. Sin embargo, en un sistema avanzado de recolección de residuos, los contenedores de residuos inteligentes equipados con tecnología de sensores IoT que monitorea los niveles de residuos de contenedores y transmiten datos a un servidor a través de servicios de Internet, tecnologías como RFID y sensores GPS que rastrean la ubicación de un vehículo de recolección de residuos serán la principal fuente de datos. Toneladas de datos generados en los puntos de recolección son, en la mayoría de los casos, no estructurados. Con herramientas de análisis de datos apropiadas, sin embargo, se transformarán en datos altamente estructurados disponibles para su procesamiento. El nivel de llenado de los contenedores de residuos, el nivel de compuestos orgánicos volátiles (COV), la temperatura y la humedad son datos clave de generación de residuos. Estos datos, junto con los datos relativos a la densidad de población, las estrategias y políticas existentes en materia de residuos, el número y las características de las partes interesadas y las infraestructuras, así como la aplicación de un análisis detallado de la composición de los residuos, proporcionarán información a los responsables políticos para determinar sus estrategias de gestión de residuos, actividades de sensibilización y medidas de motivación(Yoo, Rhim, & Park, 2019; Zorpas, 2020). Según el informe ETC/WMGE(Berg & Sebestyén, 2020), «Data Analytics es la tarea de procesar y analizar datos para identificar patrones, extraer información, descubrir tendencias o calibrar modelos». El análisis de datos de residuos implica el modelado descriptivo y predictivo utilizando métodos y técnicas de aprendizaje automático y estadístico. Para ser precisos, los algoritmos basados en árboles, neuronales y evolutivos junto con el uso de IoT pueden proporcionar información útil sobre una multitud de factores: perfiles de las partes interesadas, anomalías en la generación de residuos, clasificación de los productores de residuos, mejora de la logística gracias a la optimización de las rutas de recogida de residuos que reducen el tráfico innecesario y la consiguiente contaminación atmosférica, así como los costes asociados(Anh Khoa et al., 2020).

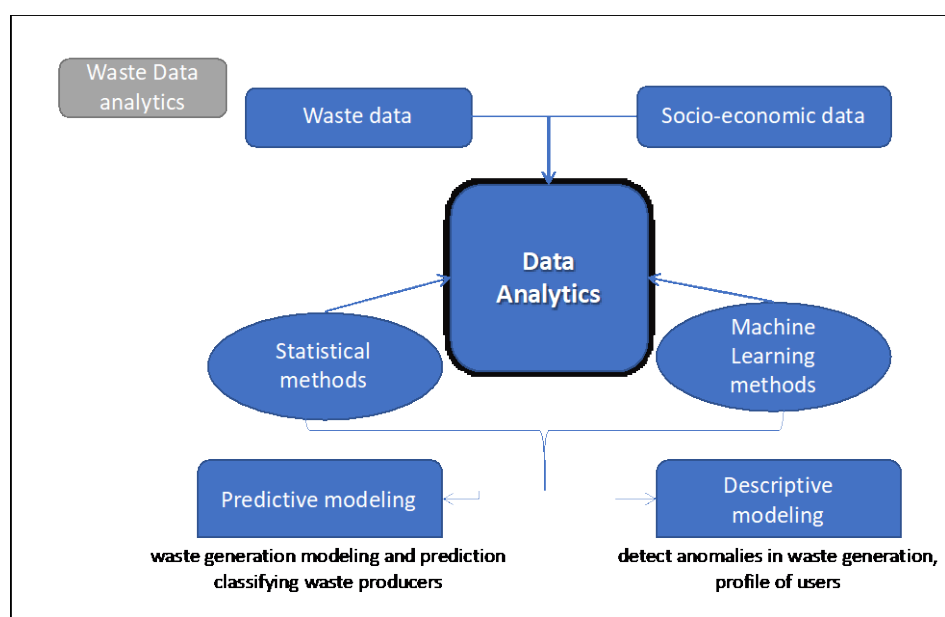


Figura8: Herramientas de análisis de residuos (los autores)

En general, se esperan mejoras en el proceso de recogida y tratamiento de residuos gracias a la planificación optimizada de los recursos y la planificación de rutas, el análisis de datos y la comunicación con los ciudadanos, los consumidores y los clientes. El reciclaje puede mejorarse por parte de los productores facilitando el uso de reciclados. Por el lado de los consumidores se pueden realizar mejoras permitiendo mejores decisiones de compra y clasificación. Por el lado de los recicladores se mejorará el abastecimiento de residuos. Esta evolución está en línea con el futuro enfoque de la gestión de residuos cambiando del tratamiento de residuos a la gestión de materiales.

Los datos de residuos individualizados son datos sensibles sobre el comportamiento individual de los consumidores, que solo pueden transmitirse a terceros de forma estrictamente anónima, de modo que no se puedan extraer conclusiones sobre el individuo en cuestión. Los ciudadanos suelen tener más confianza en los municipios locales como organismos públicos que en las empresas comerciales en lo que respecta a la protección de datos. Para las empresas, también, la protección de datos, incluida la de los datos de residuos específicos de la empresa, es de absoluta importancia para proteger el secreto comercial. A este respecto, está claro que no todas las partes interesadas pueden tener pleno acceso a todos los datos de la base de datos. El acceso limitado en línea con las políticas de protección de datos será la norma. Pero desde el punto de vista de la eficiencia, es mucho más rentable crear una base de datos pública común que crear una base de datos separada (silo) para los fines mencionados anteriormente. Para las comunidades locales y las autoridades locales posteriores, es decir, el sector público, la gestión municipal de residuos garantiza el análisis de los datos locales sobre residuos y la presentación de informes. A cambio, las partes interesadas privadas utilizan sus propias herramientas analíticas a través de interfaces automatizadas con la base de datos.

2.2.4 Blockchain facilita el intercambio de datos en la economía circular

Una de las cuestiones clave de los negocios sostenibles es cómo establecer la confianza entre partes desconocidas para permitir las transacciones. Esto ha sido posible hasta ahora por intermediarios que actúan como corredores de confianza, cuyo papel, sin embargo, conduce a un aumento de los costos de transacción y hace que los mercados sean menos eficientes. La tecnología blockchain puede ayudar a minimizar el nivel de confianza necesario y, por lo tanto, los costos de transacción incurridos por las partes involucradas en la transacción, por ejemplo, reduciendo la dependencia de los intermediarios.

Como escribe Verhulst (2018): *En su núcleo, las tecnologías Blockchain son un nuevo tipo de mecanismo de divulgación que tiene el potencial de abordar algunas de las asimetrías de información enumeradas anteriormente. Al aprovechar una base de datos compartida y verificada de registros almacenados de manera distribuida, Blockchain busca rediseñar los ecosistemas de información de una manera más transparente, inmutable y confiable. Resolver las asimetrías de información puede ser el potencial real de Blockchain, y esto, mucho más que el bombo actual sobre las monedas virtuales, es la verdadera razón para evaluar su potencial.*

Un Blockchain es un libro mayor público, inmutable y distribuido para almacenar datos y registrar transacciones.

- En general, un «libro» podría definirse como una base de datos que registra las transacciones en un orden cronológico con el uso de una marca de tiempo. Un cliente

bancario ve el libro mayor de su cuenta bancaria al verificar transacciones (entradas y salidas de efectivo) utilizando el portal bancario en línea. Sin embargo, este es un solo libro de contabilidad privado, ya que solo el contador del banco tiene la capacidad de cambiar el libro mayor.

- Un libro mayor «público» es accesible por todos los participantes de una red y todos tienen los mismos derechos sin jerarquías existentes. No hay un solo custodio que tenga el derecho exclusivo de cambiar el estado del libro mayor registrando nuevas transacciones. En un libro mayor distribuido, cada participante de la red puede descargar la lista completa de transacciones (historial completo) y tiene derecho a leer, agregar datos y almacenar el libro mayor.
- «Inmutable» significa que una vez que los datos de una Blockchain se han almacenado y encriptado, es casi imposible cambiarlos o eliminarlos después. Por lo tanto, solo es posible añadir nuevos datos.
- «Distribuido» significa que un Blockchain público no está sujeto al control de un participante o una organización. En cambio, la red (es decir, la totalidad de todos los participantes) administra y protege los datos, y cada participante básicamente almacena una copia completa de todos los datos.

Los componentes centrales de una Blockchain consisten regularmente en una combinación de criptografía, tecnología de red peer-to-peer, mecanismos de consenso, libro mayor y un conjunto de reglas para determinar transacciones válidas. Una Blockchain es, por lo tanto, una estructura de datos digitales distribuida y a prueba de manipulaciones de última generación que se puede utilizar para almacenar todo tipo de datos valiosos. Una de las características clave de Blockchains es que no hay una autoridad central que necesite ser confiable (como en la computación en la nube) y que cada participante individual en una red Blockchain pueda verificar y validar cada transacción individual desde el comienzo de los registros. Esta transparencia pretende tener un efecto disuasorio sobre las faltas de conducta y permitir la realización de controles en cualquier momento sin motivo alguno. Por lo tanto, la Blockchain no requiere confianza en un intermediario, ya que permite a los propios participantes establecer confianza (BaFin, 2018).

La tecnología blockchain es ideal para servir como una red de datos compartidos para almacenar y transferir datos entre un gran número de participantes de la red, superando así la asimetría de la información y también estableciendo una estructura de incentivos descentralizada. El término «infraestructura pública» encaja mejor aquí para el intercambio de datos basado en incentivos y controlado, que es el requisito previo para el funcionamiento de la economía circular.

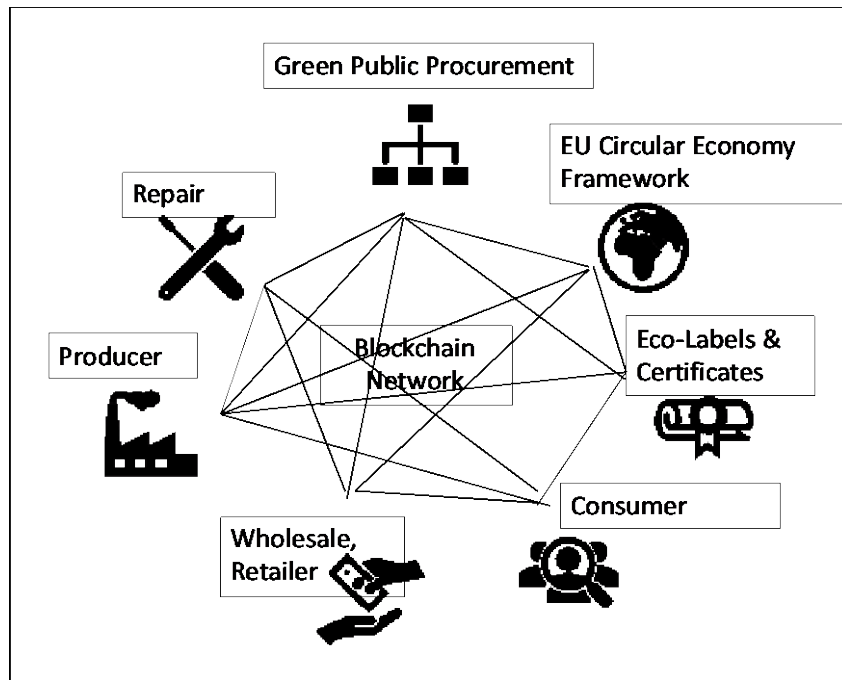


Figura9: Flujo de información basado en blockchain (los autores)

Los flujos de materiales circulares necesitan un flujo de información descentralizado entre las partes interesadas. El requisito básico de un flujo circular de materiales es el flujo de información descentralizadamente organizado dentro de una red de partes interesadas. Esto es exactamente lo que la Blockchain puede hacer. La organización descentralizada de la red tiene dos ventajas decisivas: En vista del gran número de participantes, es una ilusión creer que una base de datos central, con gestión centralizada, siempre puede estar actualizada o incluso procesar eficientemente la masa de datos que se acumula. A este respecto, el carácter descentralizado de la red, en el sentido de que cada parte interesada es responsable de introducir los datos y también puede ser considerada responsable de los mismos, es la forma más eficiente de organizar el flujo de información. Permite a todos los actores de la cadena de suministro y residuos, independientemente de su relación, intercambiar datos de forma fácil, rápida y segura, optimizando el comercio para todas las partes. Las rutas de red no están predefinidas, sino que se desarrollan dinámicamente, de modo que cada participante puede dar forma a su intercambio de información de una manera autodeterminada. La naturaleza descentralizada de las redes Blockchain no necesita una autoridad central para ejecutar una cuenta central para el intercambio de información y valores digitales. Los pares están facultados para suministrar e intercambiar información y valores por iniciativa propia.

2.2.5 Blockchain apoya la auto-soberanía de la identidad y la integridad de los datos

Este concepto descentralizado viene junto con la auto-soberanía de la identidad y los datos privados. La prueba de identidad, el conocimiento de quién es un actor, es esencial para cualquier relación contractual en nuestra sociedad. La prueba de identidad se basa en datos personales como nombre, fecha de nacimiento, huellas dactilares, número de pasaporte, cuenta bancaria, etc. Las partes contratantes deben estar 100 % seguras de la identidad de la contraparte y de su responsabilidad en caso de incumplimiento del contrato. El robo de identidad y el uso indebido de información personal por parte de los hackers son altos riesgos. En el sistema actual, la prueba de identidad de los individuos es proporcionada por

organizaciones, administración pública y empresas. El Blockchain sigue un concepto descentralizado de identificación: Cada participante de la red es el soberano de su identificación digital y sus datos.

Los datos privados y sus atributos son propiedad y están controlados por individuos y almacenados por ellos en una caja fuerte digital y pueden compartirse parcial o totalmente, temporal o permanentemente y para uso restringido o sin restricciones con otros pares de la red a través de una clave pública. Cada acceso de un tercero a la base de datos privados se registra, registra y marca la hora. El concepto de autosoberanía incluye el derecho a la portabilidad de los datos, es decir, retirar los datos personales de una organización y trasladarlos a otra o a un lugar de almacenamiento privado(Lenz, 2019b, p. 22).

Este aspecto del control sobre los propios datos parece ser de gran importancia, especialmente para las empresas en lo que respecta al suministro de información sobre los productos(Rudolphi, 2018). Narayan and Tidström (2020)sugerir considerar el suministro de información del producto en sí mismo como un producto. La empresa de reciclaje tiene una ventaja económica de la información exacta del productor sobre los materiales reciclables utilizados en el producto. Lo mismo se aplica a una empresa externa que repara los productos, que obtiene un beneficio económico de instrucciones de reparación precisas. En consecuencia, la información del producto representa un valor digital y los derechos para usar la información del producto podrían venderse como tokens a través de Blockchain.

Al convertir la información del producto en tokens abiertamente disponibles y accesibles en Blockchain, el problema central para crear valor no sería la información y el conocimiento como tal, sino la capacidad de usar la información. Las empresas identificarían fácilmente el origen de la información y los socios de cooperación adecuados para fomentar la creación de valor. (Narayan & Tidström, 2020)

2.3 Gerente de Residuos Municipales — un arquitecto de elección para la toma de decisiones

A continuación, se pone de relieve la importancia de establecer un sistema inteligente de seguimiento e incentivos para cada parte interesada de la economía circular y se analiza el papel de la gestión de residuos municipales en este ámbito. Como Blockchain permite que los valores digitales se transfieran como tokens, podría facilitar la creación de dicho sistema de monitoreo e incentivos. La Figura 9 muestra el camino hacia la estructura lógica del siguiente análisis.

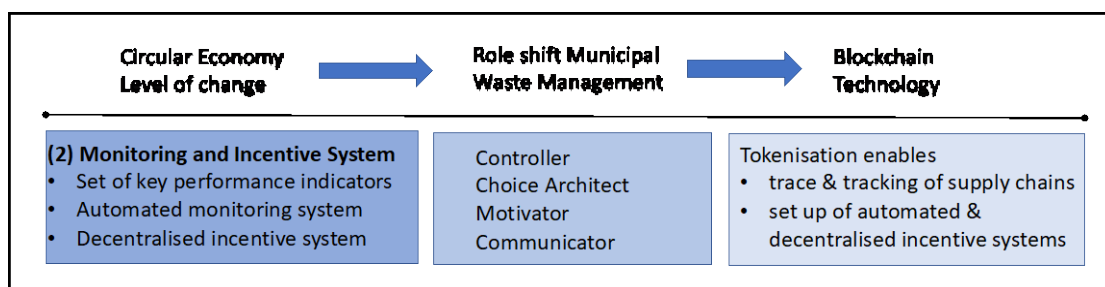


Figura10: MWM como arquitecto de elección para la toma de decisiones (los autores)

2.3.1 La economía circular necesita un sistema inteligente de incentivos descentralizados

El modelo económico de la Economía Circular marca una clara ruptura con el actual modelo lineal. Si está bien implementado, la vida útil de los productos aumentará significativamente y también alentará a la industria a producir bienes duraderos y de alta calidad. La industria necesita alejarse de la ampliación a corto plazo de la producción en masa como fuente de ganancias. Se generan más ingresos y ganancias a partir de ventas de volúmenes más bajos de mayor calidad y un mayor retorno de las ventas por producto. La comercialización de las empresas cambiará, en consecuencia, alejándose de las recompensas o descuentos concedidos a los clientes que compren tanto como sea posible («compra cuatro por el precio de tres»). El enfoque se centrará en destacar los beneficios de los clientes que coincidan con las necesidades y preferencias de los clientes. Sin embargo, no se alienta principalmente a los clientes a comprar diez pares de zapatos, pero menos pares de alta calidad. En la Economía Circular la compra de nuevos productos puede llegar a ser la segunda mejor, ya que implica el consumo de nuevas materias primas. Un beneficio se ve en el ahorro de recursos, en la compra de productos de segunda mano o en la reparación de productos rotos. Si tiene que ser un producto nuevo, entonces debe ser uno que contenga un alto porcentaje de materia reciclada.

Es cierto que esto trae recuerdos de historias escuchadas de abuelos sobre tiempos posteriores a la Segunda Guerra Mundial cuando se destruyeron las capacidades de producción y muchos materiales y productos no estaban disponibles o no eran asequibles. La gente se vio obligada a apreciar lo que estaba disponible y a evitar su uso. Entonces, como ahora con la pirámide de residuos, el enfoque estaba en evitar tirar las cosas, en reutilizar y reparar productos. En ese momento, sin embargo, no era la libre decisión de los ciudadanos, sino una necesidad pura, debido a la escasez de suministro, de optar por productos de segunda mano. Esto es diferente hoy en día. Los ciudadanos pueden tomar decisiones libres y son constantemente estimulados a comprar nuevos y más productos. La mayoría de los modelos de negocio se basan en el principio de lograr economías de escala aumentando el volumen de los artículos de venta y reduciendo los costes unitarios.

El sistema económico actual se basa en el principio de que más transacciones conducen a más ganancias. Convertir este principio al revés para que, con el tiempo, menos transacciones conduzcan a un mayor beneficio, requiere un sistema de incentivos sólido que motive a las partes interesadas a todos los niveles involucrados en la cadena de suministro y residuos a cambiar su comportamiento. Por supuesto, si este tipo de cambio de sistema fuera implementado en un enfoque de arriba hacia abajo (suministro y comando) por un gobierno autoritario, podría parecer fácil cumplir los objetivos de una Economía Circular, pero es dudoso que este proceso se vuelva sostenible en sus resultados. En una economía de mercado y un entorno democrático, solo un enfoque descentralizado, con un fuerte sistema de incentivos combinado con transparencia, información abierta y flujos de conocimiento, que garantice a cada individuo su libertad económica, producirá resultados duraderos. Este enfoque no se centra exclusivamente en la racionalidad de los ciudadanos, sino que también permite intereses e incentivos económicos. La opción de economía circular debe elegirse con convicción, pero también debe abordar los intereses tangibles de los ciudadanos, por lo que se considera que vale la pena para todos los involucrados.

2.3.2 Gerente de Residuos Municipales — un arquitecto de elección para el cambio de comportamiento

Nada es más difícil que cambiar permanentemente el comportamiento de una persona. Para cambiar el comportamiento, uno necesita saber por qué se debe cambiar el comportamiento, además de asignar la responsabilidad por el mal comportamiento a un individuo personalmente. El comportamiento anterior debe volverse inconveniente o costoso como opción de decisión, mientras que a cambio la decisión de cambiar un comportamiento debe ser completamente fácil, libre de inconvenientes y económicamente más favorable. Para hablar en palabras de Richard Thaler (Thaler, Sunstein, & Balz, 2013), el municipio es el arquitecto de la situación de toma de decisiones de un ciudadano con respecto a comprar un nuevo producto que viene en envases pesados o ligeros o continuar usando el producto antiguo, reparar el producto viejo, comprar un producto reutilizado y desecharlo y separar el material reciclable. Desafortunadamente, la situación de decisión a menudo no es solo influenciada por la empresa local de eliminación de residuos, sino también por una serie de otros arquitectos de decisiones, que a menudo resultan ser oponentes (por ejemplo, la comercialización).

Sin embargo, el encuadre de la situación de decisión de un ciudadano por parte de un municipio tiene cierta influencia. En muchos países de la UE, los ciudadanos siguen pagando algún tipo de tasa fija a su municipio por la recogida y eliminación de residuos. Esta tarifa a menudo depende del tamaño de la casa o piso y el número de residentes. Dado que hay un costo social negativo para la basura, esta tarifa significa que el ciudadano paga un costo marginal cero por un volumen creciente de basura. Como afirman Messina y Tomasi (2020), esta «*desalineación entre los costes individuales y sociales determina o conduce a una producción excesiva de residuos y, en consecuencia, a una asignación ineficiente de los recursos públicos*». En contraste, el modelo de tarifa Pay-as-you (PAYT) está diseñado para fijar el precio de cada unidad adicional de residuos y «*los costos marginales individuales se realinean con los sociales, con el beneficio de una reducción en la cantidad de residuos producidos y una mayor propensión al reciclaje*».

Sobre la base de la investigación empírica realizada por Messina y Tomasi (2020) y Kinnaman (2006), la introducción del modelo PAYT-fee influye significativamente en el comportamiento de los usuarios: los residuos totales disminuyen y los residuos no clasificados se reducen casi a la mitad. Los costos totales en que incurren los municipios que adoptan PAYT disminuyen aproximadamente entre un 10 y un 20 % en términos de capital, lo que refleja una reducción de un tercio en el costo de gestión de residuos no diferenciados.

Dos aspectos, en particular, parecen ser importantes en la introducción del sistema de reparto de ingresos: En primer lugar, la cantidad de residuos generados puede asignarse directamente al hogar individual o al ciudadano respectivo mediante sensores en el contenedor de residuos y en el camión de residuos. Esto hace que los consumidores sean responsables de sus acciones y reduce el peligro de riesgo moral o libre a expensas de la comunidad. En segundo lugar, el sistema pay-as-youthrow debe diseñarse de manera más simétrica, en el sentido de que el ciudadano también debe tener una participación en los beneficios de su empresa de gestión de residuos a través de un sistema de depósito o reembolso de materiales de reciclaje. Esto significa que el sistema PAYT es completado por un sistema de pago-y-recibir-como-jóven-tirar. Aquí, el Gestor Municipal de Residuos debe revelar su coste en el procesamiento posterior de los residuos residuales no clasificados, por un lado, y sus ingresos en la venta del material reciclable separado, por otro. Los ciudadanos deben, a cambio, participar en los

costes (pagos) e ingresos (recibir) en consecuencia. Por lo tanto, los residuos se convierten en un recurso negociable y objeto de transacción comercial entre ciudadanos y municipios, lo que podría encontrar, gracias a su simetría, una mayor aceptación con los ciudadanos.

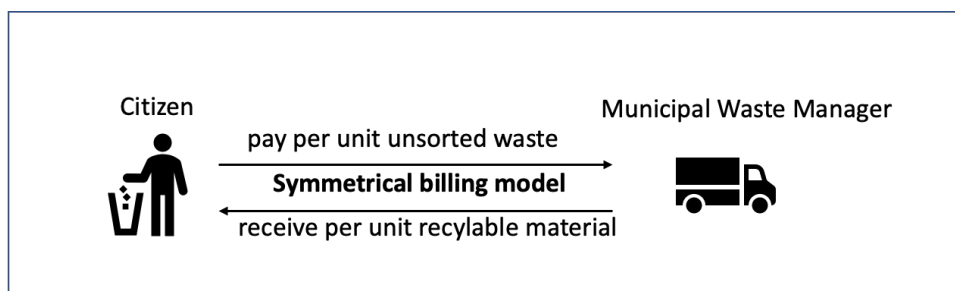


Figura11: Modelo de pago y recepción (los autores)

Por supuesto, con este modelo existe el riesgo de que los ciudadanos declaren más residuos residuales como residuos reciclables para mejorar su relación coste-beneficio. Para los residuos reciclables mal separados, especialmente los residuos orgánicos, el municipio recibe ninguno o menos ingresos. Otro riesgo del modelo de tasa de quien contamina paga es que el vertimiento ilegal de residuos en la naturaleza o el «turismo» de residuos pueden aumentar.

A este respecto, el sistema de incentivos económicos debe contar con el apoyo de elementos específicos de comunicación y de comportamiento económico. Para comprender la situación de la toma de decisiones de los ciudadanos, los datos sobre residuos también deben transportar datos personales para que sea posible la comunicación basada en el perfil y el empujón de los ciudadanos. Es importante dirigirse a los ciudadanos con comunicación e información periódicas sobre las posibilidades de evitar residuos, la separación correcta de los residuos, la pronta retroalimentación sobre el volumen producido individualmente y la calidad de la separación a través de SMS o mensajeros después de la recogida de residuos. Mediante un escáner de residuos instalado en un camión, la calidad de separación se puede medir cuando se vacía un contenedor de residuos. El mismo enfoque, incentivo y concepto de comunicación no será eficaz para todos los grupos de ciudadanos, pero el conocimiento de los ciudadanos permite a un municipio segmentar los grupos. Algunos ciudadanos también pueden estar motivados por conceptos de gamificación o recompensa, como el uso gratuito de los servicios públicos (teatro, piscina, transporte local, etc.). Por lo tanto, los gestores municipales de residuos se convierten en arquitectos elegidos de las decisiones de los ciudadanos sobre los residuos, pero en el espíritu de Thaler et al. (2013), los ciudadanos deben estar siempre informados abiertamente sobre los esfuerzos de empujón.

2.3.3 Blockchain permite la incentivación por tokenización

La Tecnología de Ledger Distribuido permite a sus pares intercambiar activos digitales sin intermediarios y sin el uso de plataformas de una manera segura y confiable. Dentro de la nueva Internet del Valor, un intercambio de valores, un control de legitimidad de una autorización de propiedad, una prueba de identidad y un consentimiento de transacción para un cambio de propiedad dependen totalmente de la responsabilidad de los pares y se ejecutan de manera descentralizada dentro de la red sin utilizar una autoridad central.

Un token es la representación digital de un valor que se puede intercambiar directamente entre las partes interesadas. Los tokens pueden representar un derecho de uso (token de utilidad) o activos (token de activos) o medios de pago (token de pago). Los tokens se pueden

utilizar idealmente como mecanismos de incentivo para recompensar el cambio de comportamiento hacia la economía circular.

Por ejemplo, si un productor comparte conocimiento sobre su producto como un pasaporte material intercambiado con un reciclador o reparador, esto tiene un beneficio económico para los receptores del conocimiento. Por consiguiente, a cambio de proporcionar conocimientos específicos, el productor podría ser pagado directamente, peer-to-peer, a través de un token de pago, sin el intermediario de un banco.

Una economía de mercado se basa en una multitud de decisiones económicas descentralizadas basadas en incentivos. La transición del sistema económico lineal a la economía circular no puede organizarse de arriba hacia abajo, sino que requiere un diseño inteligente de incentivos económicos para los participantes en el mercado. Con los tokens, los sistemas de incentivos basados en peer-to-peer para una red de participantes de Blockchain se pueden diseñar de manera extremadamente eficiente y a medida para cada aplicación.

Como PwC (2018) escribe en su informe: *«Incentivar las economías circulares: Blockchain podría cambiar fundamentalmente la forma en que los materiales y los recursos naturales son valorados y comercializados, incentivando a individuos, empresas y gobiernos a desbloquear el valor financiero de las cosas que actualmente se desperdician, descartan o tratan como económicamente invaluable. Esto podría impulsar un cambio generalizado de comportamiento y ayudar a realizar una economía verdaderamente circular».*

2.3.4 Utilice Blockchain para rastrear y rastrear los ciclos de vida del producto

La tecnología blockchain mejora la transparencia en la cadena de suministro de los productos, ya que cada parte de un producto final podría rastrearse en orden cronológico desde el origen hasta el punto de venta final. Incluso se pueden registrar datos como la duración del uso por parte de un cliente y los costes de los residuos. La información completa del ciclo de vida del producto podría enriquecerse con datos complementarios sobre los costos ambientales de producción mediante el uso de sensores y cámaras con sus propios identificadores de red. De esta manera, los valores monetarios como el precio de un producto o el beneficio de una empresa podrían estar claramente vinculados a los valores del capital natural y los costos ambientales. La tecnología de Ledger distribuida podría ser un facilitador de la contabilidad de valor basada en la sostenibilidad.

De alguna manera, la tecnología Blockchain permite que la esfera nominal de la contabilidad y el valor se reúna con el mundo físico de los bienes comerciales en la cadena de suministro. La descentralización de ambos sistemas reducirá radicalmente la complejidad de la contabilidad y, por lo tanto, reducirá los costos de supervisión y control.

Como IBM (2017, p. 5) escribe sobre una «comunicación basada en mensajes versus estado»: *«Hoy en día, las organizaciones envían mensajes de ida y vuelta para llevar a cabo varias tareas, con cada organización manteniendo su estado de la tarea localmente. En Blockchains, los mensajes representan el estado compartido de la tarea, con cada mensaje moviendo la tarea al siguiente estado en su ciclo de vida. Las cadenas de bloques cambian el paradigma de la información en poder de un solo propietario a un historial de por vida compartido de un activo o transacción. En lugar de comunicaciones basadas en mensajes, el nuevo paradigma está basado en el estado».*

La Extended Producer Responsibility (EPR) exige que los productores paguen por la gestión del final de la vida útil de un producto y el embalaje que comercializan. La aplicación Blockchain permitiría, con menos esfuerzo burocrático, comprobar si las tarifas de los productores realmente cubren los costos incurridos en el procesamiento de residuos y, además, se podría combinar un mecanismo de incentivos con esto: Menos envases, menos residuos, tiempos de uso más largos, etc. deberían implicar menores costos para un productor.

2.4 Transformación de la gestión de residuos municipales

La transición hacia una economía circular implica el fin de la producción en masa y los modelos de negocio que se basan exclusivamente en la disminución de los costes unitarios. En una economía circular, la creación de valor y la sostenibilidad van de la mano. Los modelos de negocio no sostenibles pierden valor y las operaciones sostenibles ganan valor. El realineamiento del sistema de valores se refleja en un cambio en las misiones, la autocomprensión y la organización de las empresas. El cambio de tareas y desafíos (cambio de roles) implica una nueva orientación tanto en la organización como en la misión de gestión de residuos sólidos municipales. Al igual que con cualquier transformación digital, no es el software o TI lo que es decisivo para el éxito, sino el realineamiento de una organización, sus procesos y personas. La Blockchain puede hacer una contribución sustancial aquí, por un lado, en la automatización de procesos utilizando contratos inteligentes, y por otro lado en la interacción con las soluciones IoT existentes. La Figura 12 muestra el camino hacia la estructura lógica del siguiente análisis.

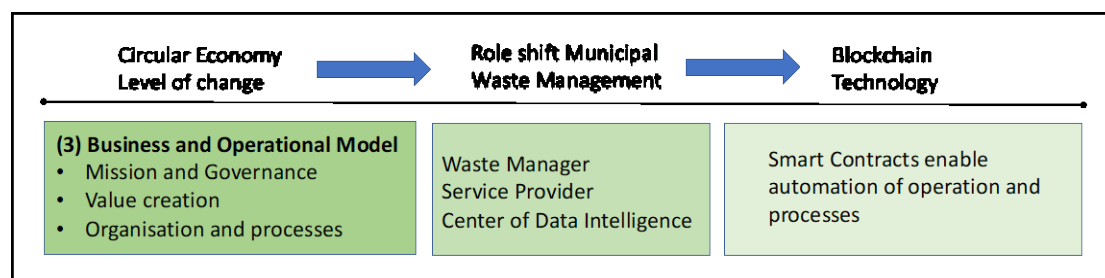


Figura12: Transformación de la Gestión Municipal de Residuos (los autores)

2.4.1 Creación de valor del MWM en la Economía Circular

Por un lado, la propuesta de valor de MWMS se deriva del suministro de recursos y tradables generados a partir de flujos de sustancias aprovechados por datos que circulan en una economía en red. Esto crea oportunidades de negocio para los proveedores de servicios y, por lo tanto, proporciona efectos de «impresión» en términos de creación de empleo y riqueza. Esta propuesta está dirigida principalmente a clientes empresariales. Dependiendo del canal de distribución utilizado, esta proposición puede ser vista como un Fabricante o un modelo Merchant en la tipología de Michael Rappa (Michael Rappa, 2010).

Por otra parte, los MWM contribuyen de manera sustancial a las necesidades de los ciudadanos para la limpieza de sus contenedores y el acceso a sus datos de residuos, y en un sentido mucho más global, para un entorno seguro y limpio resultante de la reducción de los impactos ambientales y de una alta calidad de los bienes suministrados. El primer aspecto se caracteriza como modelo de suscripción por Michael Rappa (Michael Rappa, 2010).

Hasta hace poco, las normas de calidad de los MWM se centraban en las cantidades de sustancias recogidas y eliminadas o vendidas a recicladores/reusuarios o unidades de incineración. En sentido estricto, los ingresos se generan principalmente por actividades que dan lugar a una devaluación de los activos, a la destrucción del valor y a la pérdida de recursos.

Si los estándares de éxito y rendimiento de los MWM ya no se indexan en cantidades de residuos recogidos y eliminados, ¿qué puede reemplazar a los parámetros de medición del «viejo mundo»?

1. Normas e indicadores que reflejen los objetivos de la economía circular más amplia, como la circulación de materiales, la ampliación de los ciclos de vida de los productos, el reciclaje y la revalorización de los materiales reciclables y la inclusión de los ciudadanos y las partes interesadas (para una visión más detallada de los indicadores clave de rendimiento, cf ch 2.4 infra)
2. Reducción de los residuos generales y del volumen de eliminación
3. Comportamiento de los ciudadanos en materia de reciclado y evitación de residuos y uso de los servicios de datos de los MMM
4. Trazabilidad y transparencia de los flujos de residuos domésticos y reciclado
5. Valor creado a partir de flujos de residuos clasificados digitalmente
6. Oportunidades de negocio creadas por MWMOs para proveedores de servicios

Huelga decir que varios de estos puntos de referencia pueden aplicarse, dependiendo de los enfoques de contratación local, a actividades realizadas por proveedores de servicios y jugadores distintos de los MWM.

2.4.2 Cambios en las operaciones y procesos del MWM

El papel central que desempeñan los MWM para la economía circular radica en tres factores:

1. Los MWMS son, entre otros, la puerta de entrada de los flujos de sustancias que emanan de los hogares.
2. También son centros de múltiples partes interesadas que conectan a todos los usuarios y proveedores de servicios activos en el sector del flujo de residuos y sustancias.
3. Los MWMS son los principales recolectores, productores y comerciantes de datos que reflejan los flujos de residuos/valor y el comportamiento de los consumidores en materia de residuos y de los bienes que viajan a lo largo de su ciclo de vida.

Esta exposición multilateral e interacción con múltiples mercados, ciclos y partes interesadas/grupos destinatarios produce considerables complejidades. Requiere procesos flexibles y transparentes en los que todas las partes involucradas puedan entender o participar. Procesos tan diversos como empujar a los consumidores a reducir el volumen de residuos, canalizar los flujos de sustancias hacia el reciclaje o el reciclaje, dirigir las mercancías hacia la reutilización o la rehabilitación, analizar flujos por contenido de valor, generar o recoger datos de residuos, etc., requieren tecnologías específicas, comunicación, interacción e iteración. Esto requiere el desmantelamiento de las viejas estructuras de silos dentro de las organizaciones del MWM para que las rutinas típicas de la administración pública de los viejos tiempos puedan superarse y transformarse en diseños organizacionales modernos caracterizados por la organización de la red, las jerarquías planas, el empoderamiento del

personal, los equipos interdisciplinarios y el liderazgo ágil. Este cambio también requiere que los MWM abran sus límites corporativos a proveedores de servicios, clientes y otras partes interesadas y se vuelvan más «osmóticos».

2.4.3 Cambios en las operaciones y procesos del MWM

La gestión de residuos municipales se encuentra en el centro de la economía circular, motivando a los productores, consumidores, minoristas y mayoristas a crear menos residuos, a utilizar productos durante más tiempo, a dar preferencia a los productos de segunda mano, etc. La economía circular es también un medio para reducir los residuos. Sin embargo, al igual que con todas las demás partes interesadas en un sistema de economía de mercado, se plantea la cuestión de si las estructuras de incentivos que ofrecen las organizaciones municipales de gestión de residuos son compatibles con los objetivos anteriores o si apoyan los objetivos de la economía circular de manera sostenible. En el sistema actual, los procesos de los MWM se organizan de manera óptima si recogen y procesan o reenvían los residuos generados por los ciudadanos de la manera más eficiente posible (al menor costo). En la economía circular, los indicadores clave de rendimiento existentes que se aplican a la gestión de residuos municipales deben revisarse y ampliarse: Aquí, la calidad de la organización también debe evaluarse de acuerdo con la medida en que las organizaciones de MWM logran reducir el volumen de residuos, aumentar el uso de productos de segunda mano, apoyar las actividades de reparación y aumentar las tasas de reciclaje.

- a. proporcionar datos e información
- b. establecimiento de estructuras de incentivos para los consumidores y los productores (modelo de pago y recepción a medida que se lanzan los jóvenes)
- c. facilitar la comunicación basada en perfiles de usuario.

La prevención de residuos por parte de los ciudadanos y las empresas locales debe integrarse en el ADN de una organización municipal de gestión de residuos. La prevención de residuos es la misión con la que toda la organización, su estructura de personal y todos los procesos deben estar alineados. En pocas palabras: cuanto menos residuos de las organizaciones municipales de gestión de residuos necesitan recoger de los ciudadanos, más sus esfuerzos tendrán éxito.

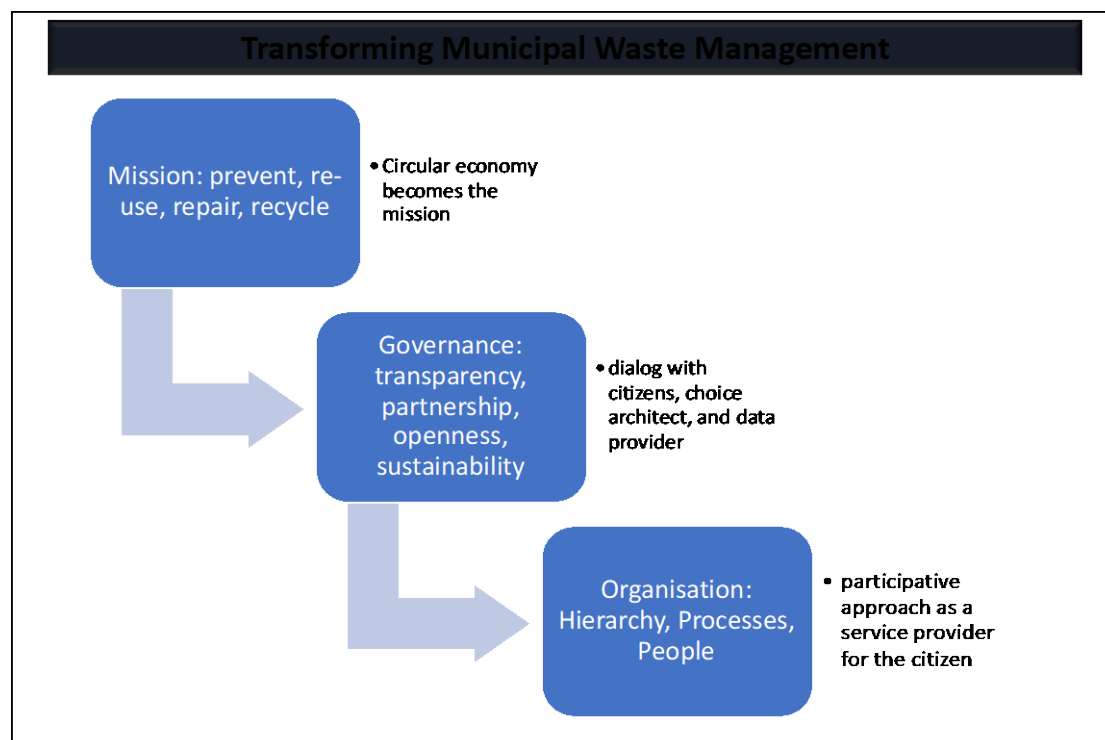


Figura13: Transformación de la Gestión Municipal de Residuos (los autores)

La misión y la gobernanza de las organizaciones municipales de gestión de residuos deben cambiar en cuanto a su visión de los ciudadanos. La atención ya no se centra únicamente en la eliminación de los residuos de los ciudadanos, sino en los ciudadanos como socios y clientes de las organizaciones municipales de residuos. Para obtener el consentimiento de los hogares y ciudadanos para que sus datos de residuos sean recogidos y analizados, es necesario un alto grado de confianza en los proveedores de servicios municipales. Además de confiar en la protección de datos, también es necesario que los ciudadanos tengan una confianza básica en un municipio como organismo público y autoridad que se abstenga de controlar a los ciudadanos y de restringirlos en su libertad y autonomía individuales. En consecuencia, el suministro de datos y su uso deben generar beneficios tanto para los municipios como para sus ciudadanos y el medio ambiente. Así como se espera que los ciudadanos cambien su comportamiento con respecto a sus residuos, el papel de los proveedores de servicios públicos también tendrá que cambiar fundamentalmente:

- A nivel meso, una organización pública debe evolucionar hacia un proveedor de servicios basado en la asociación para quien los intereses de los ciudadanos son de primera prioridad. La credibilidad pública también incluye un alto grado de transparencia y una apertura de las organizaciones.
- La comunicación orientada al diálogo con los ciudadanos implica una reforma de la gobernanza organizacional, con el objetivo de establecer una estrecha asociación con la comunidad y sus ciudadanos. La participación de las organizaciones locales de la sociedad civil en los consejos consultivos de las organizaciones municipales de gestión de desechos también podría ser una medida de fomento de la confianza.
- La credibilidad en términos de sostenibilidad también requiere que las organizaciones públicas se comprometan con los objetivos de sostenibilidad, los implementen en los procesos e informen sobre el progreso hacia los objetivos de sostenibilidad. En este proceso, cada organización municipal de gestión de residuos necesita definir su

estrategia de sostenibilidad con indicadores sobre organización y recursos humanos, procesos internos y su contribución a la extracción de valor de las cadenas de residuos. Los indicadores clave de rendimiento deben vincularse a la sostenibilidad e incluirse en los informes anuales.

La necesaria transformación de la gestión de residuos municipales con respecto a la introducción de la Economía Circular es, como se ha señalado más arriba, una tarea transversal que implica la reforma de toda la organización. Este proceso de transformación requiere una estrategia clara y cuesta mucha inversión y tiempo. Es probable que esto sea especialmente cierto para las organizaciones públicas que están protegidas de la competencia dinámica del mercado.

2.4.4 Implementación de cambios paso a paso

Los desarrollos descritos anteriormente desafiarán a los MWM que tienen antecedentes de administración pública y servicios públicos para embarcarse en un gran salto adelante.

En un mayor número de casos, los siguientes pasos podrían ser útiles:

- Mapeo de procesos internos
- Mapeo de los socios/partes interesadas existentes y los procesos mantenidos con ellos
- Definición de áreas objetivo/funciones/capacidades que el MWMO específico necesita para volver a firmar para hacer negocios en una economía circular (por ejemplo, declaración de misión, perfiles de habilidades, infraestructura digital, jerarquías y organización corporativa, nuevos procesos, cultura corporativa, gestión del cambio, medición del rendimiento, etc.)
- Decidir sobre los ecosistemas necesarios para el cambio (por ejemplo, laboratorios, organizaciones o filiales satelitales, órganos consultivos, procedimientos de retroalimentación o participación, enfoque de gestión, papel de activistas y evangelistas del cambio, infraestructura de TI e intercambio de datos, etc.)
- Incluidos los consumidores, clientes, socios y partes interesadas desde el principio
- Definición de procesos de comunicación que acompañan a la transformación todo el tiempo
- Determinación de prioridades (y no prioridades), campos de experimentación, escenarios y proyectos pi-lot
- Establecimiento de plazos y resultados
- Planificación de escenarios alternativos
- Definición de incentivos y acciones de estímulo para el personal
- Lanzamiento de proyectos piloto y movimientos de promoción

Como los MWM suelen tener fuertes raíces locales, las agendas de transformación varían considerablemente. Por lo tanto, es vital que los MWMO definan sus propias prioridades específicas en lugar de seguir una agenda de transformación estándar.

2.4.5 Mejora de la automatización mediante IoT y Smart Contracts y Blockchain

El progreso en robótica y tecnología de sensores, combinado con el análisis de big data y algoritmos de autoaprendizaje, ha producido redes de dispositivos físicos que pueden conectar, recopilar e intercambiar datos y tomar decisiones autónomas. La aparición de la

tecnología Blockchain facilita la tendencia general de la toma de decisiones automatizada y rápida al proporcionar una base de datos compartida para el registro y registro de transacciones descentralizadas entre P2P, P2M y máquina a máquina (M2M). Además, la tecnología Blockchain permite el almacenamiento de código de software con relaciones 'si-entonces' dentro de la base de datos, lo que facilita el uso de los llamados contratos inteligentes en los que los usuarios de Blockchain almacenan transacciones automatizadas, listas para ser ejecutadas dado un determinado evento externo como desencadenante (Lenz, 2019.a).

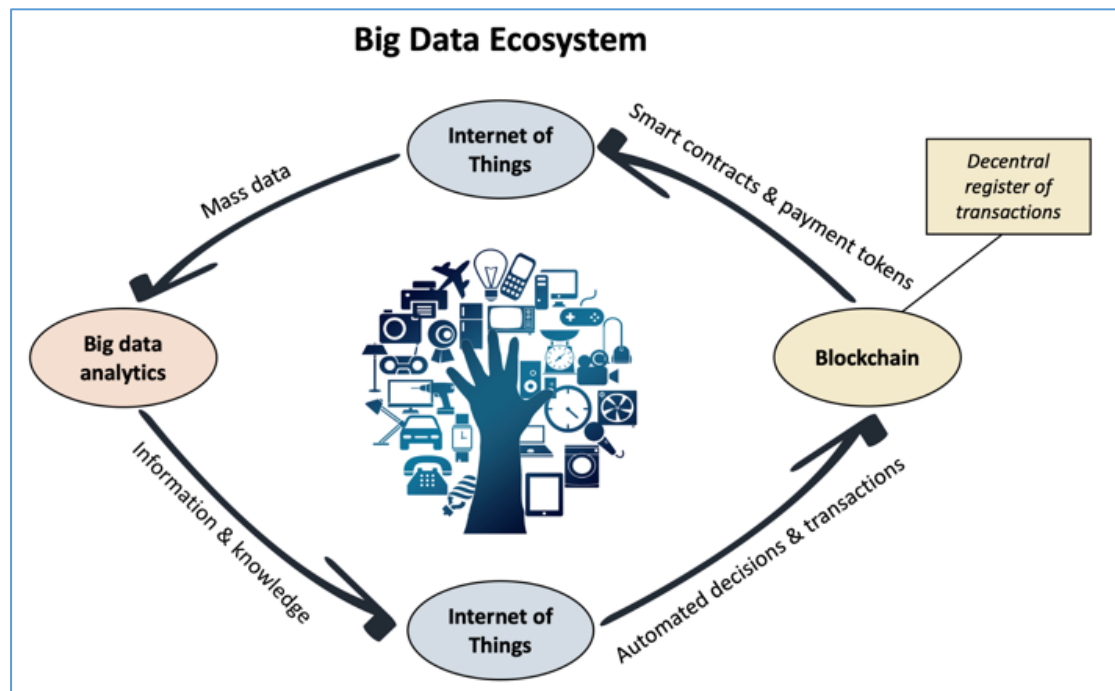


Figura14: Ecosistema Big Data e IoT (Lenz 2019.a)

Para la ejecución de decisiones autónomas en el mundo físico real, se necesitan máquinas con una variedad de sensores incorporados y una conexión rápida a Internet. El desarrollo del Internet de las Cosas (IoT) proporciona el vínculo necesario entre lo digital y el mundo real, sin el cual el análisis de Big Data carecería tanto de la masa de datos generada por los sensores para el análisis como del poder ejecutivo de las máquinas para la toma de decisiones automatizada. Los dispositivos ubicados en el IoT alimentan algoritmos con datos y, en cierta medida, están controlados por esos mismos algoritmos.

Treleaven, Barnett, and Koshiyama (2019, p. 34) describa la estrecha conexión entre Big Data, AI, IoT y Blockchain como cuatro tecnologías principales de algoritmos que «... están íntimamente vinculadas, es decir, la IA proporciona los algoritmos, Blockchain proporciona almacenamiento de datos y la infraestructura de procesamiento, el IoT proporciona los datos y Big Data (comportamiento/predictivo) proporciona el análisis».

Un estudio comparativo sobre el «Estado de la digitalización en la gestión municipal europea de residuos» en cinco países miembros de la UE documenta que las organizaciones municipales de gestión de residuos están ejecutando actualmente una amplia gama de proyectos innovadores de IoT, pero la mayoría de los proyectos son enfoques aislados y

«...también de naturaleza no colaborativa con respecto al intercambio de datos con un gran número de grupos de partes interesadas y a generar efectos de sinergia entre los socios

involucrados. Pero la Economía Circular, para tener éxito, requiere la colaboración entre las partes interesadas, ya sean productores, consumidores, supermercados, municipios o PRO, que necesitan compartir datos en su colaboración(Lenz et al., 2021, p. 27)».

«..Los proyectos de digitalización descritos en la gestión de residuos municipales están muy impulsados por el uso de nuevas tecnologías. La instalación de telemática e IoT en camiones de residuos son tareas típicas de los ingenieros mecánicos. El cumplimiento de estas tareas es de suma importancia para el buen funcionamiento de los procesos logísticos dentro de una organización. Pero Blockchain se trata de crear una situación de beneficio mutuo entre las partes interesadas de una cadena para que cada uno de los socios involucrados termine beneficiándose de la colaboración. (Lenz et al., 2021, p. 28).»

«Al responder preguntas sobre la preparación de la gestión de residuos municipales para Blockchain, se da cuenta de que las soluciones a problemas técnicos a veces son más fáciles y rápidas de tratar que cambiar un modelo organizacional completo con vistas a una estrecha cooperación en una red de socios. Para finalmente 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 actualizadas y utilizan IoT ampliamente. Lo que falta es una estrategia de datos clara que incluya el análisis y el intercambio de datos con una variedad de partes interesadas. Sin embargo, no se trata de problemas técnicos, sino problemas del desarrollo organizativo de las empresas municipales de gestión de residuos(Lenz et al., 2021, p. 28)».

2.5 Gestión de Residuos Municipales se convierte en un corredor de confianza

El intercambio de datos y el flujo de información entre una multitud de partes interesadas requiere un enfoque colaborativo que requiera confianza. La confianza no puede ser la confianza interpersonal entre los diferentes actores debido al alto número y heterogeneidad de las partes interesadas y su dispersión geográfica. Debe ser una confianza institucional, en este caso en un municipio local y su unidad de gestión de residuos. Este tipo de confianza se puede habilitar a través de la confianza tecnológica creada por la transparencia de una base de datos descentralizada Blockchain. La Figura 15 ilustra este patrón de 'hinge' habilitando.

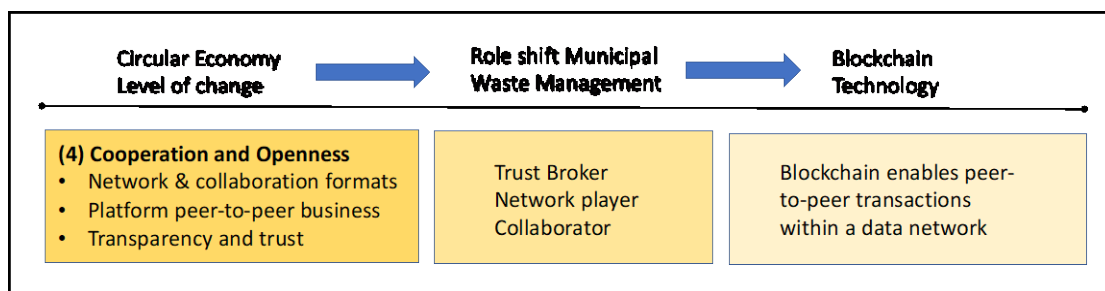


Figura15: Gestión de Residuos Municipales se convierte en un corredor de confianza (los autores)

2.5.1 Mejora de la automatización mediante IoT y Smart Contracts y Blockchain

Las organizaciones municipales de gestión de residuos necesitan generar confianza tanto con los ciudadanos como con los participantes en el mercado. Los ciudadanos se convierten en socios y tanto clientes como proveedores de productos y da-ta. Los actores del mercado se convierten en clientes, agentes de valor y creadores. El doble papel de los ciudadanos radica

en el hecho de que garantizan el suministro de materiales y sustancias, pero también articulan la demanda de servicios de recogida.

Esta compleja red de transacciones requiere, especialmente del lado de los ciudadanos, un alto nivel de confianza en los proveedores de servicios municipales. Este «capital» de confianza es necesario para obtener el consentimiento de los hogares y los ciudadanos para que los MWMO recopilen y analicen sus datos de residuos. Esta es la razón por la cual la misión y el liderazgo de las organizaciones municipales de gestión de residuos deben remodelar su visión de los ciudadanos que deben ser tratados como socios, proveedores valiosos y clientes.

Por lo tanto, las organizaciones municipales de gestión de residuos deben convertirse en proveedores de servicios orientados a la asociación para los cuales los intereses de los ciudadanos son primordiales. La credibilidad pública así ganada también requerirá un alto grado de transparencia, apertura y rendición de cuentas por parte de las organizaciones del MMM. Los ciudadanos deben estar habilitados para verificar si las organizaciones de MWM cumplen con los objetivos y estándares de sostenibilidad y su implementación en procesos e informes.

Esta rendición de cuentas requiere nuevos enfoques para el almacenamiento de datos, el acceso a los datos y la difusión de datos.

Para que las organizaciones de MWM desempeñen este papel, no será lo suficientemente bueno para remodelar su tarea. En condiciones de Economía Circular, la transformación del sector de gestión de residuos municipales implica reformas de todo el modelo organizacional de MWMOs.

Una actividad clave que refleja esta necesidad es la provisión y el uso de datos (flujos de ciudadanos y substancias) y su uso. Es solo si este nuevo ciclo de transacciones conduce a beneficios mutuos para los municipios, los proveedores de servicios, los ciudadanos y el medio ambiente, que se encuentra con una amplia aceptación. Esto asigna responsabilidades considerables a los MWM y requiere nuevos enfoques para el almacenamiento de datos, el acceso a los datos y la difusión de datos.

Como se ha esbozado anteriormente, el papel de los MWMO como puertas de entrada de residuos y centros de transacciones no es una mera extensión de un proceso lineal de «recogida de residuos para el envío al suministro o eliminación», sino un nexo «sináptico» que opera en un entorno de múltiples transacciones y paisajes dinámicos de ciclos y redes.

La interacción de los participantes en el mercado de «residuos» muestra una imagen cada vez más compleja y requiere que todas las partes interesadas participen en redes tipo cluster. Este cambio necesita una columna vertebral digital en forma de plataformas que permitan una cooperación rápida y transparente y el intercambio de datos.

Por lo que se refiere a los MWM, el reto podría ser:

- adquirir nuevos conocimientos y habilidades
- remodelar toda su organización y procesos
- reinventar una cultura corporativa de apertura, simetría y responsabilidad por sí mismos
- implementar nuevos sistemas de contabilidad y control adecuados para medir la creación de valor circular y sostenible
- adoptar nuevos formatos de cooperación y creación de redes
- abrazar la digitalización con plena determinación

- construir una infraestructura de red digital que pueda facilitar la cooperación horizontal en una lógica peer-to-peer

El proceso de transformación masiva emergente de los MWM que brilla a través de estos desafíos requiere una estrategia clara y cuesta una inversión sustancial en fondos, tiempo y esfuerzos de transacción.

2.5.2 Blockchain como facilitador de la colaboración P2P

La colaboración requiere un alto nivel de confianza entre los socios, ya que el resultado deseado solo podría lograrse juntos. Todos dependen unos de otros, como los participantes de una fiesta de cuerdas al escalar montañas. La confianza puede surgir si cada participante tiene acceso a la misma información confiable, al mismo tiempo, sobre actividades y transacciones. Si solo existe una base de datos compartida en la red distribuida, registrando todas las transacciones pasadas como una única fuente de verdad para todos los participantes, es probable que este sea el caso.

Eso es exactamente lo que la tecnología Blockchain permite. Es una tecnología de base de datos para registrar transacciones dentro de una red de empresas peer-to-peer. Blockchain tiene la ventaja de que los datos se pueden almacenar en «bloques» individuales de una manera a prueba de manipulaciones, lo que significa que los participantes en la Blockchain son capaces de verificar la autenticidad, el origen y la integridad de los datos almacenados. Como una red peer-to-peer, combinada con un servidor de marcación de tiempo distribuido, las bases de datos de cadena de bloques se pueden administrar de forma autónoma. No hay necesidad de un solo administrador, ya que los derechos de administrador se distribuyen a todos los participantes de la red.

Blockchain es una tecnología de base de datos muy simple que permite la colaboración, pero no es una bala mágica para el éxito. Es solo una tecnología para resolver ciertos problemas de información, pero si el problema en sí no está bien definido (n.º 1), si los participantes son reacios a compartir información (n.º 2), si los procesos de toma de decisiones son estáticos e incrustados en una jerarquía fuerte (n.º 3), si las interfaces de datos no están automatizadas y estandarizadas (n.º 4), y si el proceso de negocio en sí no es sostenible (n.º 5), entonces una aplicación Blockchain podría ser una pérdida de tiempo y recursos.

PwC (2016) lo puso bien en su [Q&A Blockchain FinTech](#)

«La tecnología colaborativa, como Blockchain, promete la capacidad de mejorar los procesos de negocio que ocurren entre las empresas, reduciendo radicalmente el «costo de confianza». Para este nuevo hijo, puede ofrecer rendimientos significativamente más altos por cada dólar de inversión gastado que las inversiones internas tradicionales. Entonces, ¿cuál es el problema? Usted no puede obtener el retorno por sí mismo; debes estar dispuesto y ser capaz de colaborar con clientes, proveedores y competidores de una manera que nunca antes habías hecho».

3 Guía para iniciar procesos de gestión de residuos basados en Blockchain

3.1 Etapas de un proyecto Blockchain

El desarrollo e implementación de un proyecto Blockchain consiste en gran parte en la gestión del cambio y el trabajo de gestión de procesos. Contrariamente a las expectativas, la selección de la solución técnica Blockchain juega un papel subordinado. Comunicación intensiva, comprensión de los intereses de los demás, llevar al personal y las partes interesadas a lo largo y convencerlos, explicando las posibilidades técnicas de la Blockchain en términos simples — estos son los factores del éxito de un proyecto y de una selección afortunada de los miembros del equipo del proyecto (Lenz, 2019).

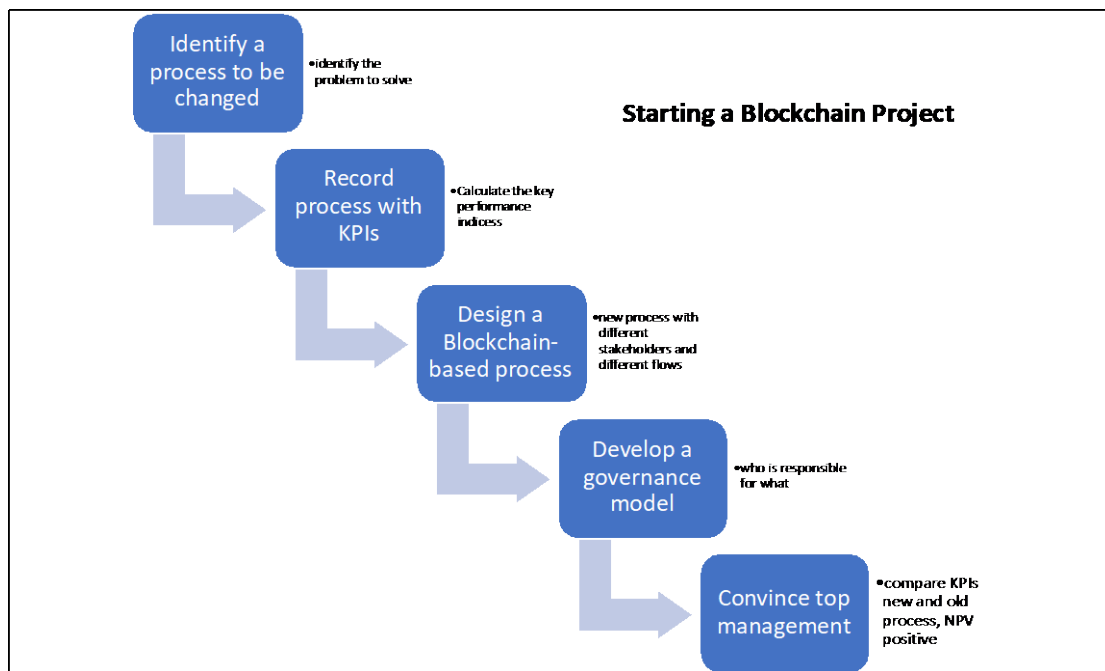


Figura16: Etapas de un proyecto Blockchain (los autores)

Un proyecto típico de Blockchain no es realmente diferente de otros proyectos. Mentalmente, el trabajo se puede dividir en cinco etapas: (1) Identificación de un proceso adecuado para la conversión a Blockchain, (2) Documentación de los indicadores clave de rendimiento existentes para que el éxito se pueda medir más adelante después de la conversión. (3) Rediseño del nuevo flujo del proceso. Para la introducción de la tecnología Blockchain, puede ser posible prescindir de algunos intermediarios. (4) La introducción de Blockchain implica la creación de un modelo de negocio colaborativo que debe ofrecer beneficios a cada parte interesada. En consecuencia, debe acordarse conjuntamente un modelo de gobernanza para este proceso con reglas vinculantes del juego. (5) Si esta prueba de concepto para el proyecto Blockchain tiene éxito, la administración debe estar convencida de los beneficios de invertir en un prototipo. Las cinco etapas se describen en detalle a continuación.

3.2 Identificación de un proceso adecuado para la conversión de Blockchain

Los proyectos blockchain son adecuados para procesos descentralizados con un mayor número de participantes externos, para quienes es absolutamente esencial obtener

información confiable sobre el estado de un proyecto o proceso en todo momento. Seguramente todos los gerentes de una empresa o de su organización conocen tales procesos de cooperación con multitud de socios externos. Por lo general, estos procesos interorganizacionales se caracterizan por un alto número de fallas, plazos de entrega muy largos, altos costos de monitoreo y alta insatisfacción de los involucrados en este proceso. Para identificar un proceso adecuado es necesario un cambio de perspectiva: desde una perspectiva intraorganizacional hacia una perspectiva interorganizacional que permita comprender los intereses de todas las partes interesadas involucradas.

La sustitución de la confianza en una autoridad central por la transparencia es exactamente la ventaja de una Blockchain. En una base de datos pública Blockchain accesible para todos, cada participante puede verificar al mismo tiempo quién escribió qué y cómo ha cambiado el estado de un libro mayor. Una vez almacenada, la información es irreversible e inmutable, de lo contrario se destruiría la consistencia lógica de los datos almacenados en bloques. Por lo tanto, los dos elementos esenciales de la Blockchain se complementan entre sí: Verificabilidad pública e integridad de los datos.

Como señalan Wüst y Gervais (2018, p.2): *«La integridad de la información está estrechamente vinculada a la verificabilidad pública. Si un sistema proporciona verificabilidad pública, cualquiera puede verificar la integridad de los datos.»* Además, los datos de Blockchain se mantienen redundantes ya que cada escritor dentro de la red posee una replicación de los datos, que se sincroniza permanentemente.

Por lo tanto, las soluciones blockchain son ventajosas para los procesos en los que están involucrados un gran número de participantes y en los que es de importancia inmanente para los participantes obtener información completa y confiable sobre el estado actual de un proceso en todo momento. La información fiable sobre el estado actual del proceso permite a los participantes reaccionar a los cambios en cualquier momento para que el proceso no se ejecute estáticamente, sino que siga siendo dinámico.

Wüst y Gervais (2018) esbozaron esto en el siguiente árbol de decisiones demostrando para qué caso las soluciones Blockchain son más apropiadas y para qué caso una base de datos central podría ser la mejor solución.

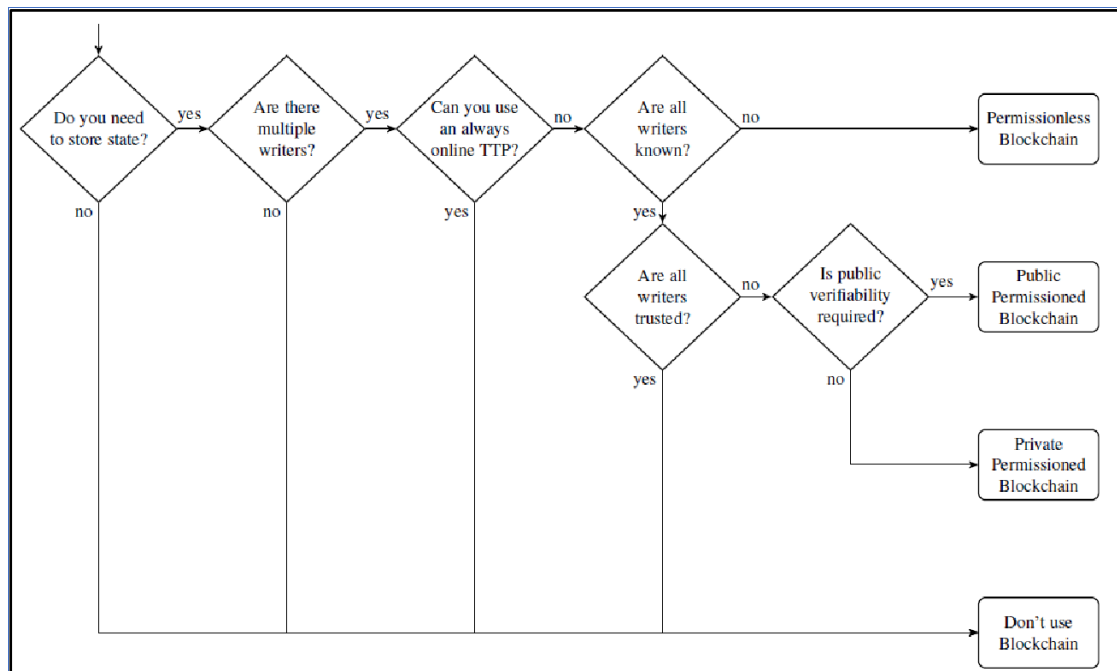


Figura17: ¿Necesitas un Blockchain? (Wüst y Gervais 2018, p. 3)

Las soluciones blockchain son significativamente menos escalables que las bases de datos centrales. Esto es especialmente cierto para las redes públicas de Blockchain sin restricciones de acceso. El proceso de validación pública dentro de una red sin permiso requiere mucho tiempo, por lo que las aplicaciones Blockchain no son adecuadas para almacenar y procesar datos masivos a alta velocidad.

De la comparación anterior de las ventajas y desventajas de las aplicaciones Blockchain con las de una base de datos central, se puede derivar que la tecnología Blockchain tiene su mayor beneficio en aquellas aplicaciones donde es importante para los participantes documentar un determinado estado en un proceso o en un proyecto de una manera confiable y a prueba de manipulaciones y donde la recopilación de datos descentralizada y autónoma por un gran número de participantes es beneficiosa. Las aplicaciones blockchain alcanzan sus límites al procesar datos masivos a alta velocidad. Aquí tienen claras desventajas en comparación con las aplicaciones de bases de datos centrales (Lenz, 2019b).

3.3 Registro de la cadena de residuos con indicadores clave de rendimiento

Una vez identificado dicho proceso, el siguiente paso es registrar el flujo de trabajo y los indicadores clave de rendimiento del proceso actual. Los indicadores clave de rendimiento operativos fácilmente identificables y mensurables, junto con los parámetros que afectan a las políticas de gestión de residuos, se consideran elementos cruciales de cualquier modelo de gestión de residuos. Las autoridades pueden utilizarlos para evaluar, de manera cuantitativa, el progreso y la mejora realizados por el modelo desarrollado o la estrategia de gestión de residuos aplicada.

En primer lugar, son los objetivos que deben alcanzarse. El desarrollo de los indicadores clave de rendimiento sirve para medir y cuantificar en qué medida se han alcanzado los objetivos. Aquí podemos volver a referirnos a las 9Rs mencionadas anteriormente como objetivos de la Economía Circular (véase la figura 2), o la representación muy utilizada de la pirámide de residuos puede proporcionar orientación.

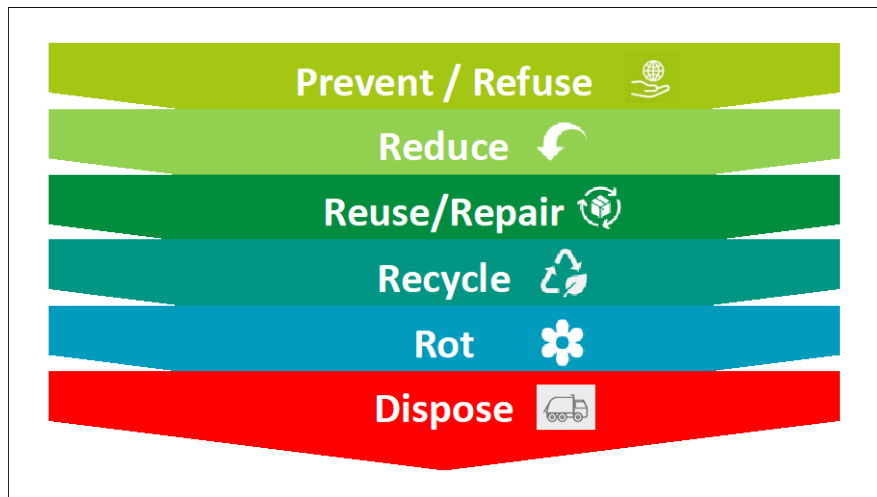


Figura18: Objetivos de la pirámide de residuos (los autores basados en la jerarquía de residuos de la UE véase el artículo 4 de la Directiva marco de residuos de la UE)

El objetivo general es reducir los residuos en la medida de lo posible. La oportunidad óptima para hacer esto es simplemente prevenir/rechazar los residuos al no usar un material. Si esto no es posible, el uso de un material podría reducirse tanto como sea posible, por ejemplo, mediante el uso de una tecnología de ahorro de materiales. Si un material tiene que ser utilizado, la reutilización o reparación debe estar destinada con la reutilización, es decir, cualquier operación mediante la cual los productos o componentes que no son residuos se utilizan de nuevo para el mismo fin para el que fueron concebidos. La reparación por parte del usuario es posible si el diseño técnico no es demasiado complejo y si hay piezas de repuesto disponibles, la optimización de ambos se debate actualmente en la UE. Si esto no es posible, debe habilitarse el reciclado, lo que significa cualquier operación de valorización mediante la cual los materiales de desecho se reprocessan en productos, materiales o sustancias, ya sea para los fines originales o de otro tipo. Esto incluye el reprocesamiento de material orgánico, pero no incluye la recuperación de energía y el reprocesamiento en materiales que se utilizarán como combustibles o para la operación de relleno (European Union, 2008 Art. 3 Waste Framework Directive 2008/98/EC). Si esto no es posible, el material natural (!) debe estar podrido, de lo contrario se debe eliminar por incineración, incluida la extracción de energía. La eliminación en forma de vertedero debe evitarse en absoluto. Por lo tanto, hay una variedad de opciones para reducir los residuos, lo que hace que el control sea más complejo.

Una revisión bibliográfica revela la siguiente lista de los KPI operativos más apropiados que se utilizan ampliamente en el análisis de la gestión de residuos y que podrían ser evaluados por las autoridades municipales: Análisis Composición de Residuos, Producción Municipal de Residuos Sólidos, Reciclaje Municipal de Residuos, Tasa de Producción de Residuos, Tasa de Recuperación de Residuos, Tasa de Generación de Residuos, Infraestructura de Residuos (AlHumid, Haider, AlSaleem, Shafiqzaman, & Sadiq, 2019; Pappas et al., 2022; Zorpas, 2020).

- Análisis Composición de Residuos (WCA), podría considerarse como el KPI más importante, que se utiliza para informar a las autoridades sobre el tipo de materiales de desecho que se generan dentro de un área específica (plásticos, aluminio, papel, vidrio, residuos orgánicos y otros materiales), información que podría ser útil en la formación de una estrategia de prevención y gestión de residuos (Pappas et al.,

2022; Vardopoulos et al., 2021). Flujo de datos brutos al sistema a través de dispositivos IoT instalados en cada contenedor de residuos, lo que permite el cálculo del porcentaje de cada tipo de residuos generados dentro de un área específica en un momento específico.

- Otro KPI importante, que depende en gran medida del alcance y la población de la ciudad, es la Producción Municipal de Residuos Sólidos, la proporción de la cantidad promedio de desechos per cápita (Loizia et al., 2021). Se calcula dividiendo el total de residuos producidos por la población de un área específica.
- El reciclaje de residuos municipales es también un KPI importante para la gestión de residuos, ya que expresa la cantidad de material de desecho que se ha reciclado en comparación con los residuos sólidos totales producidos, dentro de un área específica en un momento determinado (Vardopoulos et al., 2021). Los datos de este tipo y la información derivada de ellos son de gran utilidad para las autoridades municipales, ya que pueden evaluar las actividades y estrategias de prevención existentes, pero también los aspectos operativos relativos a los sistemas de recogida (tipo de papel de reciclaje y capacidad).
- La tasa de producción de residuos, que expresa el cambio de la cantidad de residuos generados anualmente, podría considerarse como un KPI que evalúa el desempeño de una estrategia de gestión de residuos aplicada por las autoridades o podría utilizarse como medida para implementar acciones que impidan un aumento de la cantidad. (Loizia et al., 2021). El KPI se calcula dividiendo el pronóstico del volumen total de residuos generados cada año por el volumen total de residuos generados el año anterior.
- La tasa de recuperación de residuos es un KPI que expresa la recuperación de residuos generados en un período específico. La tasa de recuperación de residuos se calcula dividiendo la cantidad de residuos recuperados por la cantidad de producción municipal de residuos sólidos por tipo de residuos, mientras que las opciones de recuperación disponibles incluyen el reciclado, la reutilización, la conversión de residuos en energía y la renovación (Rhyner, Schwartz, Wenger, & Kohrell, 2017).
- Ratio de generación de residuos estima la generación de residuos en el área seleccionada en unidades de tiempo, es decir, diaria, semanal, mensual o anual y podría servir como una métrica de la eficacia de una estrategia de gestión de residuos en función del aumento o disminución de su valor (Pappas et al., 2022).
- La infraestructura de residuos también es un KPI muy importante, ya que podría medir el rendimiento ambiental de la infraestructura de gestión de residuos actual. Implica el número y el tipo de contenedores de residuos en un área específica. Proporciona información útil sobre la infraestructura actual en relación con la densidad residencial de esa zona. Es obvio que, a medida que aumenta la densidad de población, el número de contenedores de residuos aumenta proporcionalmente (Zorpas, Lasaridi, Voukkali, Loizia, & Chroni, 2015).

Los indicadores clave de rendimiento enumerados anteriormente son importantes, pero no suficientes para la conversión de todo un proceso a tecnología Blockchain. El objetivo de la economía circular es lograr una reducción de los residuos, un uso más prolongado de los productos, una mayor tasa de reparación, una mayor tasa de reciclaje, etc. a través de cambios de comportamiento de las partes interesadas. Por consiguiente, para alcanzar los objetivos generales, los indicadores clave de rendimiento deben adaptarse a los respectivos grupos de

partes interesadas. Por lo tanto, el registro de todo el proceso con sus indicadores clave de rendimiento difícilmente puede ser llevado a cabo por una sola organización y requiere la cooperación de todos los participantes. Se recomienda registrar el proceso con un software simple sin un alto grado de detalle y limitar la selección de indicadores a los más importantes, para que el proceso de coordinación y la cantidad de trabajo sigan siendo manejables.

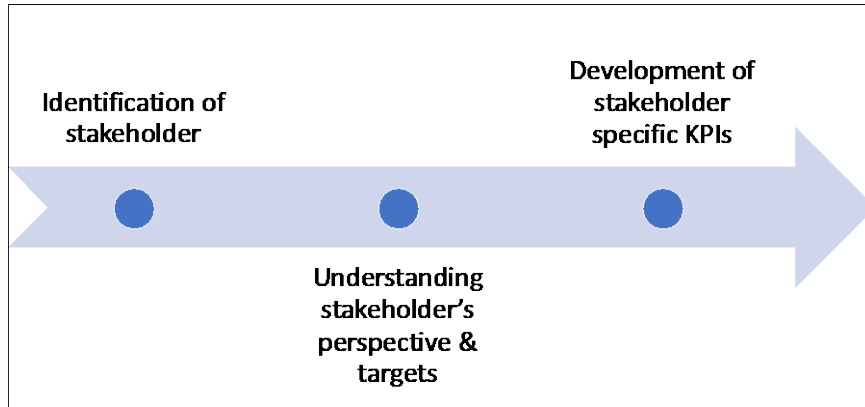


Figura19: Desarrollo de indicadores clave de rendimiento específicos de las partes interesadas en un proceso de colaboración (los autores)

Partes interesadas

Todos los participantes son partes interesadas del sistema de gestión de residuos municipales, mientras que (deben) tener un interés en un sistema óptimo al servicio de sus objetivos. Pero a medida que las perspectivas u objetivos de los grupos de partes interesadas pueden diferir, los indicadores clave de rendimiento para medir el sistema de RMS deben diversificarse y personalizarse para cada grupo. Estas partes interesadas pueden subdividirse en Administración, Ciudadanos y Empresas.

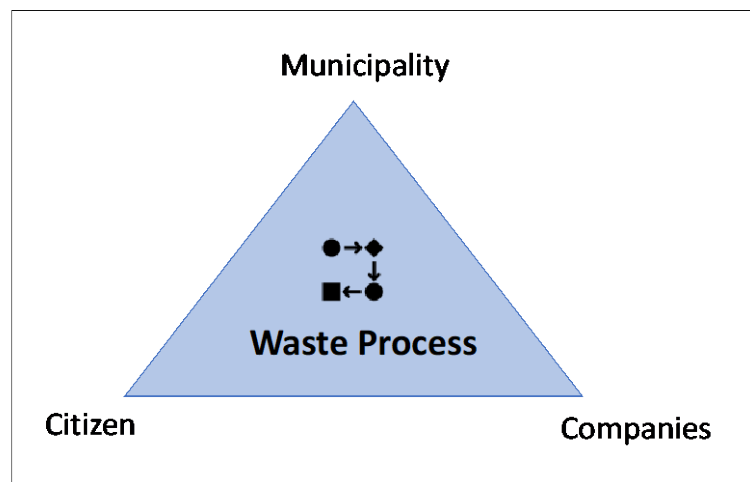


Figura20: Grupos de partes interesadas que participan en el proceso de residuos (los autores)

- Administraciones/municipios

Las administraciones en este contexto deben definirse como todas las instituciones gubernamentales que están directa o indirectamente relacionadas con la gestión de residuos municipales. Estas son, ante todo, las administraciones municipales directamente responsables del proceso de gestión de los RMS. Esto abarca la organización de procesos, logística de residuos, recolección de basura, operación de incineración y facturación, contabilidad y liquidación de servicios a ciudadanos y

empresas. En segundo lugar, las administraciones cubren el gobierno estatal y las instituciones políticas como instituciones superordinadas que supervisan y financian las redes generales y administran los marcos legales.

Dado que las administraciones son oficialmente responsables de la gestión de los RMS, tienen la mayor necesidad de un control eficiente y unos KPI adecuados. Las administraciones necesitan transparencia y normas, leyes y sistemas de incentivos que sean eficientes en cuanto a resultados y costos. Los indicadores pueden ser los mismos para todos los niveles de administración, pero con un grado diferente de precisión.

- Ciudadanos

Todos los ciudadanos son habitantes de municipios que producen residuos y son responsables de la recogida y clasificación de residuos. Y tienen que pagar tarifas por los servicios de RSU a las administraciones. Algunos ciudadanos pueden tener, es cierto, un interés adicional en el comportamiento sostenible y quieren contribuir al futuro del mundo, pero se supone que en promedio, todos los ciudadanos como individuos privados tienen los mismos intereses y objetivos. Por lo tanto, los ciudadanos están interesados en que los KPI hagan transparentes sus intereses.

- Empresas

Las empresas son entidades económicas legales ubicadas en municipios. Pueden ser extremadamente diversos en general, pero tienen casi el mismo interés en relación con los sistemas locales de RSU. Las empresas pueden ser productores de materias primas, productores de envases, productores de productos terminados, comerciantes/minoristas, así como empresas de logística o servicios. Incluso la reparación, el preprocesamiento de residuos y las empresas de reciclaje son empresas especiales que tienen responsabilidades que asumir en los procesos de RMS. Otro caso especial son las empresas de propiedad pública que operan en la recolección de residuos, preprocesamiento, incineración y vertederos. Estas tareas podrían externalizarse a empresas privadas.

- Las empresas son incluso responsables de la recolección y clasificación de residuos. Y tienen que pagar honorarios a las administraciones por los servicios de RSU. Para las empresas, podría haber un interés adicional en mostrar sus resultados en «comportamiento verde» a través de informes y especialmente informes anuales.

Objetivos específicos de las partes interesadas

Las partes interesadas persiguen diversos objetivos en materia de gestión de residuos que podrían describirse de la siguiente manera: El objetivo general de todas las partes interesadas parece ser reducir el desperdicio de todo tipo para salvar al mundo. Los residuos son un tipo especial de contaminación: la contaminación del aire y del agua también es importante, pero, en este contexto, el tipo específico de RMS solo debe debatirse teniendo en cuenta que estos pueden causar contaminación atmosférica por combustión en incineraciones o contaminación del agua en vertederos o eliminación directa.

Los objetivos y metas de la gestión de residuos podrían subdividirse en objetivos directos que aborden objetivos principales y objetivos indirectos que podrían ser motores de motivación o resultados y medidas que ayuden a alcanzar objetivos directos.

Cuadro1: Definición de los objetivos específicos de las partes interesadas (los autores)

| Nivel | Interés/Objetivo | Descripción |
|--------------------------------------|--|---|
| General | Dirección: reducción de los residuos totales por tipo | ▶ Objetivo principal para todos para salvar el mundo |
| Administraciones (Municipios) | Dirección: reducción de costos de procesamiento | ▶ Los municipios diseñan procesos de RMS rentables |
| | Indirecto: fijación de precios/residuos de facturación | ▶ La facturación es necesaria para equilibrar los costos con los ingresos. Pero los precios podrían integrar descuentos. |
| | Indirecto: incentivar una buena recogida y procesamiento | ▶ Los incentivos para los ciudadanos y las empresas podrían ser útiles para afinar y alcanzar rápidamente los objetivos. |
| | Indirecto: castigar la contaminación | ▶ Además de los incentivos, el castigo podría ser necesario para reprimir las acciones equivocadas. |
| | Indirecto: aumento de la reparación | ▶ El aumento de la cuota de reparación mediante el apoyo a los ciudadanos y las empresas conduce a una reducción de los residuos |
| Ciudadanos | Dirección: reducción de costos | ▶ Se supone que todos los ciudadanos tienen interés en reducir |
| | Dirección: incentivos | ▶ Recibir incentivos |
| | Indirecto: contribuir a la protección del medio ambiente | ▶ Para algunos ciudadanos, salvar el medio ambiente puede ser una motivación intrínseca |
| | Indirecto: optimización de la colección | ▶ Si los ciudadanos optimizan la recogida mediante la clasificación correcta, aumentan la posibilidad de que los procesos de residuos sean óptimos. |
| | Indirecto: aumento de la reparación | ▶ La reparación disminuye los residuos y los costos. Los ciudadanos pueden contar con el apoyo de instituciones municipales o empresas que podrían estar legalmente definidas |
| Empresas | Dirección: reducción de costos | ▶ La reducción de los costes de residuos mediante la optimización de los procesos de residuos conduce a mayores beneficios |
| | Dirección: incentivos | ▶ Recibir incentivos |

| | |
|--|---|
| Indirecto: evitar el castigo | ▶ El castigo conduce a mayores costos y riesgos de imagen |
| Indirecto: presentación de informes sobre actividades ecológicas | ▶ El rendimiento de los residuos podría formar parte de los informes anuales y es un factor de creación de imágenes. |
| Indirecto: información sobre la entrada | ▶ Si las empresas conocen las cantidades y los precios de los materiales de entrada obtenidos de la reutilización y el reciclaje a través de Blockchain, la producción y la logística podrían optimizarse. Los derechos de los consumidores a devolver productos defectuosos por ley, por ejemplo, para los electrodomésticos se vuelven transparentes. |
| Indirecto: optimización de la salida | ▶ Los informes de residuos adecuados y la transparencia habilitada por el uso de Blockchain podrían ayudar a optimizar la producción, especialmente mediante la reducción de los envases. Los derechos de los consumidores a devolver productos defectuosos podrían forzar un desarrollo más sostenible de los productos. |
| Indirecto: aumento de la reparación (obligación legal) | ▶ La reparación puede ser requerida por la ley u ofrecida como un servicio. El aumento de la cuota de reparación podría generar ingresos. |

Sobre la base de los intereses previamente definidos de las partes interesadas sobre la información sobre los flujos materiales, de información y de pago, podrían derivarse los indicadores clave de rendimiento. Centrándose en el flujo de materiales dentro del proceso, estos objetivos podrían convertirse en los siguientes indicadores clave de rendimiento específicos de las partes interesadas. Algunos de los KPI que se enumeran a continuación ya se conocen a partir de los presentados anteriormente y obtenidos de la revisión de la literatura. Pero en este caso, estos indicadores clave de rendimiento se modifican y se adaptan a las necesidades y objetivos de grupos de partes interesadas específicos.

Cuadro2: Indicadores clave de rendimiento específicos de las partes interesadas (los autores)

| Nivel | Interés/Objetivo | KPI |
|-------------------------|---|---|
| General | Dirección: reducción de los residuos totales por tipo | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Cantidad por tipo en t en total y per cápita, variación ▶ Cuota de reciclaje ▶ Cuota de reutilización ▶ Reducción de los costes de seguimiento para las generaciones futuras |
| Administraciones | Dirección: reducción de costos de procesamiento | ▶ Costes de proceso en total en EUR |

(Municipios)

| | | |
|--|---|--|
| Indirecto: fijación de precios/residuos de facturación | ▶ | Precio de facturación por tipo |
| Indirecto: incentivar una buena recogida y procesamiento | ▶ | (1- tasa de error) x precio de incentivo por tipo |
| Indirecto: castigar la contaminación | ▶ | Precio por t para las pérdidas materiales, excepto la transformación |
| Indirecto: aumento de la reparación | ▶ | Cuota de reparación |

Ciudadanos

| | | |
|--|---|---|
| Dirección: Reducción de costos | ▶ | Coste de los residuos por tipo y per cápita en el hogar |
| Dirección: incentivos | ▶ | (1- tasa de error) x precio de incentivo por tipo |
| Indirecto: contribuir a la protección del medio ambiente | ▶ | «puntos ambientales» en % |
| Indirecto: optimización de la colección | ▶ | Tasa de error por tipo |
| Indirecto: aumento de la reparación | ▶ | Cuota de reparación |

Empresas

| | | |
|--|---|--|
| Dirección: reducción de costos | ▶ | Coste total de los residuos por tipo |
| Dirección: incentivos | ▶ | (1- tasa de error) x precio de incentivo por tipo |
| Indirecto: evitar el castigo | ▶ | Precio por t para las pérdidas materiales, excepto la transformación |
| Indirecto: presentación de informes sobre actividades ecológicas | ▶ | Cantidad por tipo en t en total, cambio |
| Indirecto: conocimiento de entrada | ▶ | Cantidad por tipo en t en total por proveedor |
| Indirecto: optimización de la salida | ▶ | Cantidad por tipo en t en total, cambio |
| Indirecto: aumento de la reparación (obligación legal) | ▶ | Cuota de reparación |

3.4 Diseño de un proceso basado en Blockchain

Aquí es donde radica el principal desafío. La tecnología Ledger distribuida permite soluciones de problemas completamente nuevas y, por lo tanto, requiere no solo una comprensión profunda de las posibilidades tecnológicas, sino también la capacidad de pensar «fuera de la caja». Hay tres flujos a considerar en el diseño del proceso: flujo de material, flujo de información y flujo de pago.

Flujo de Material

Obviamente, un enfoque principal se centra en el flujo de materiales, que debe ser medible y cuantificable en cada etapa del proceso. En una solución óptima, sería posible realizar un seguimiento cuantificado de un material específico a lo largo de toda la cadena de materiales, incluidos los bucles de reutilización y reciclaje. Por lo tanto, la vida útil de una botella de vidrio puede describirse de la siguiente manera: El vidrio se produce a partir de sílice y tiene forma de botella. La botella está etiquetada y llenada, transportada a un comerciante y utilizada por un cliente (ciudadano). Después de usar la botella es recolectada, limpiada, rellenada y así sucesivamente. Después de 50 ciclos, la botella debe reciclarse y, por lo tanto, triturarse y derretirse. El vidrio reaparecerá en botellas nuevas y así sucesivamente hasta que los componentes no se puedan utilizar para producir botellas nuevas debido a la fatiga del material. A continuación, el vidrio se puede utilizar como relleno de vidrio para carreteras. El problema del rastreo es evidente: mientras que una botella específica difícilmente puede ser «etiquetada» (no como etiqueta de papel) para rastrear, en algún momento la botella debe ser destruida y, por lo tanto, se destruye la «etiqueta». Para el trazado correcto, no es la botella sino el material de vidrio en sí mismo o incluso el sílice como materia prima que debe etiquetarse. Esto solo puede lograrse integrando una especie de «etiqueta» (marcador) en la estructura química. Como esto parece demasiado complicado, el «etiquetado» parece no ser una solución para el rastreo.

Por lo tanto, aunque dicha información de etiquetado se puede almacenar fácilmente en una cadena de bloques, se requiere una solución diferente por razones técnicas. Desde un punto de vista pragmático, la cuantificación de todo el material mencionado parece posible en forma de peso (para algunos productos como botellas de vidrio tal vez como el número de botellas multiplicadas por el peso por botella).

En consecuencia, cada agente involucrado en el flujo de este material debe cuantificar las cantidades de entrada (mercancías entrantes) y de salida (mercancías salientes y desechos) de cada tipo de material mencionado en peso. Así es como se pueden medir las pérdidas materiales dentro de una empresa o en un proceso de consumo. Como muy a menudo los productos consisten en más de un material compuesto, las cantidades de material de cada producto deben almacenarse en el conjunto de datos maestros de un producto. Por ejemplo, una botella de agua espumosa consiste en vidrio, una etiqueta de papel y plásticos utilizados para la tapa de la botella. Esta información sobre la cantidad de material se puede registrar para cada botella entrante o saliente. Pero incluso este simple ejemplo muestra que debería haber límites al seguimiento definidos por la ley o las reglas: la cuantificación de la etiqueta de papel no parece tener sentido. Por lo tanto, en general, la cuantificación en la etapa de entrada y salida solo debe hacerse para las principales categorías de materiales que, tras la separación, pesan o agregan volumen utilizando los datos maestros. Estos datos deben almacenarse diariamente en una Blockchain por tipo de material. Los datos sobre el material restante se almacenarán en el sistema informático de la empresa.

Este enfoque parece funcionar en casi todos los flujos de material, excepto con clientes/ciudadanos privados, ya que aquí no hay un enlace directo de TI. La cuantificación de la producción de los ciudadanos se puede realizar mediante separación en diferentes contenedores por tipo de material (o clasificación posterior) y pesaje o escaneado durante el proceso de recogida. Por lo tanto, la producción agregada de un comerciante podría tratarse de la misma manera que la entrada de clientes privados, si no se producen pérdidas en el medio. Una vez que se ejecuta la medición de la cantidad, los flujos de materiales deben analizarse en un siguiente paso.

Dado que los flujos de materiales son la base sobre la que se desarrollan los indicadores clave de rendimiento, estos flujos de materiales deben analizarse. Un problema es que los flujos de materiales pueden diferir debido a sus propiedades especiales. Pero como los principios aplicados son casi idénticos, se debe modelar un flujo de material generalizado que se ajuste a todos los tipos. El proceso estándar es linealizado sin bucles:

Un flujo de materiales comienza con la producción de materia prima que se entrega al envasado y a los productores en función de las necesidades. Sin duda, el embalaje es en sí mismo una especie de producto, pero se muestra aquí por separado debido a su especial importancia en las cadenas de residuos. Los productores podrán ser productores de productos acabados para los clientes finales o bien productores de productos semiacabados sup-productos sup-productos a otros productores. Así que en realidad hay un bucle material en este paso. Debe considerarse que los productores de materias primas y productos semiacabados están situados en municipios distintos de los productores de productos acabados. Una vez fabricados, los productos terminados se entregan a los comerciantes. Hasta aquí, todas las empresas participantes podrían tener casi los mismos intereses en relación con la gestión de residuos. Cabe mencionar que algunas empresas producen en realidad RMS que deben ser recogidos y facturados por los municipios, pero estos pasos se dejan de lado en el siguiente gráfico por razones de simplificación.

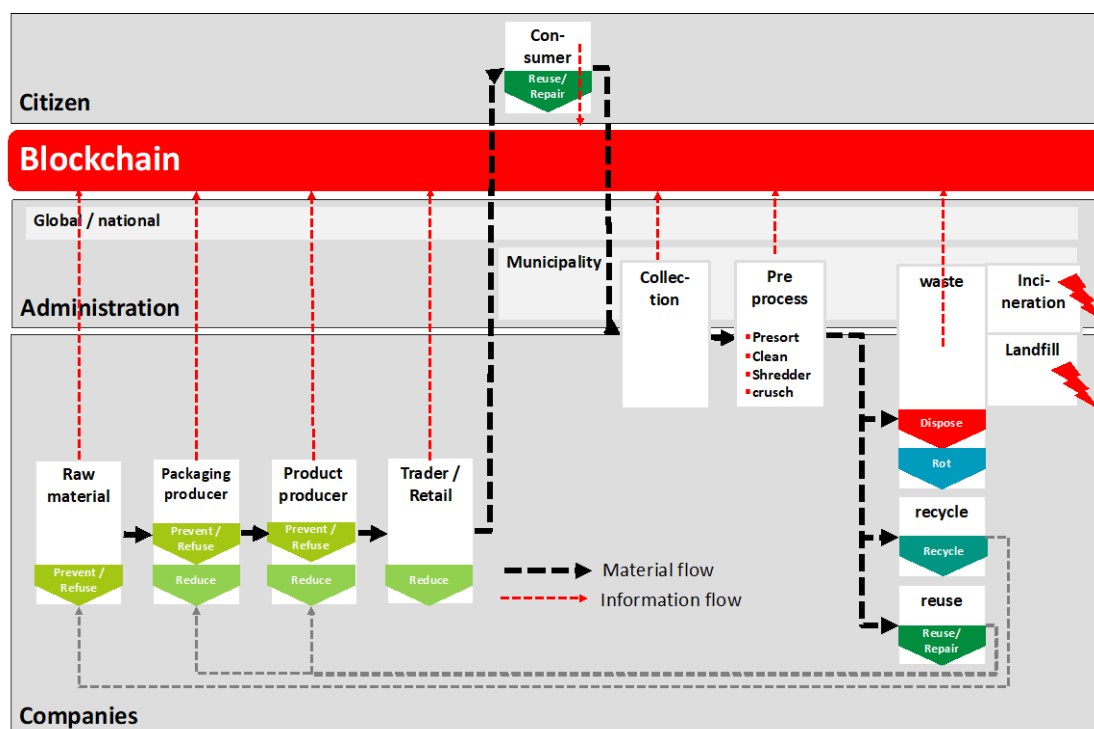


Figura21: Diseño de un proceso de gestión de residuos basado en Blockchain

A continuación, los productos «dejen» la capa de proceso cubierta por las empresas cuando se venden a los clientes que tienen otra perspectiva sobre el proceso. Los clientes domésticos clasifican los residuos, por ejemplo, en contenedores separados y los residuos se recogen. A continuación, los residuos son preprocesados y reciclados, reutilizados/reparados o tratados mediante podredumbre, incineración o vertederos.

Flujo de información

El flujo de información en un proceso basado en Blockchain se ve completamente diferente del control de procesos convencional, ya que el flujo de información lineal convencional que puede crear largos retrasos e ineficiencias se supera. Todos los participantes pueden acceder simultáneamente a la misma (casi) información en tiempo real sobre el progreso de un proyecto. Solo hay una sola fuente de «verdad» dentro de la red. La sincronización permanente de los datos y la existencia de múltiples copias también hace que la base de datos sea resistente contra ataques de hackers.

IBM (2017, p. 5) pongámoslo en «Comunicaciones basadas en mensajes versus comunicaciones basadas en el estado», de la siguiente manera:

«Hoy en día, las organizaciones envían mensajes de ida y vuelta para llevar a cabo varias tareas, con cada organización manteniendo su estado de la tarea localmente. En Blockchains, los mensajes representan el estado compartido de la tarea, con cada mensaje moviendo la tarea al siguiente estado en su ciclo de vida. Las cadenas de bloques cambian el paradigma de la información en poder de un solo propietario a un historial de por vida compartido de un activo o transacción. En lugar de comunicaciones basadas en mensajes, el nuevo paradigma está basado en el estado».

Cada pieza básica de información relevante para la generación de KPIs debe almacenarse en la cadena RSU-Blockchain. Por lo tanto, cada participante (excepto los ciudadanos) tiene que generar un bloque por tipo para que la agregación sea posible. Las cantidades se miden como se ha descrito anteriormente.

Los precios actuales deben subirse a través de una llamada de función remota desde un servidor municipal. Esta redundancia de información de precios (servidor municipal y cada bloque) es subóptima desde la perspectiva de la teoría de la información, pero conduce a un rendimiento mucho mayor cuando se trata de generar KPIs bajo demanda. Así que en general la estructura del bloque debe ser como se muestra en la figura 24.

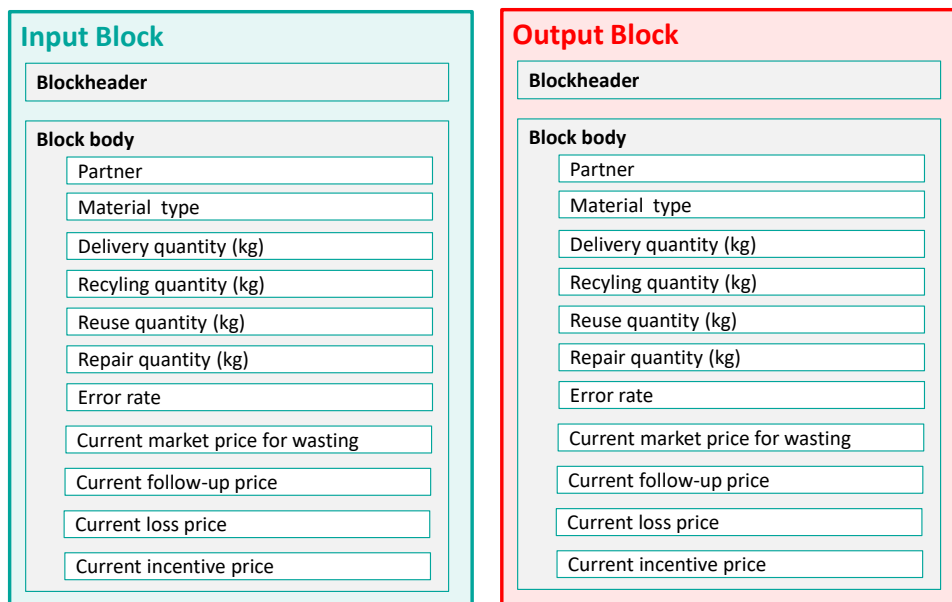


Figura22: Estructura de bloques del proceso de gestión de residuos basado en Blockchain (los autores)

Los KPIs se pueden producir bajo demanda a partir de esta información si el Blockchain es lo suficientemente eficiente.

La colaboración requiere un alto nivel de confianza entre los socios, ya que el resultado deseado solo se puede alcanzar juntos. Todos dependen unos de otros, como los participantes de una fiesta de cuerdas al escalar montañas. Se puede crear confianza si cada participante tiene acceso, al mismo tiempo, a la misma información confiable sobre actividades y transacciones. Esta condición se cumple si solo hay una base de datos compartida en una red distribuida que registra todas las transacciones pasadas como una única fuente de verdad para todos los participantes.

Flujo de Pago

Con Blockchain, las transacciones de pago pueden organizarse peer-to-peer sin un intermediario financiero adicional e incluso pueden automatizarse con la ayuda de contratos inteligentes. Los llamados tokens de pago, es decir, los valores digitales que asumen funciones monetarias, pueden usarse como dinero.

Según el Bank for International Settlements (2018, p. 97), *“...las criptomonedas combinan tres características clave. En primer lugar, son digitales, aspiran a ser un medio de pago conveniente y dependen de la criptografía para evitar la falsificación y las transacciones fraudulentas. En segundo lugar, aunque se crean en privado, no son responsabilidad de nadie, es decir, no pueden ser redimidos, y su valor se deriva solo de la expectativa de que seguirán siendo aceptados por otros. Esto los hace similares a un dinero de mercancía (aunque sin ningún valor intrínseco en uso). Y, por último, permiten el intercambio digital peer-to-peer».*

El punto más importante de esta declaración BIS es el último: «Los tokens de pago permiten el intercambio digital peer-to-peer». Los actuales medios de pago que circulan en el sistema financiero no permiten el intercambio digital peer-to-peer, ya que son emitidos por las autoridades centrales dentro de los sistemas de dos niveles de bancos comerciales y bancos centrales. Por lo tanto, si la Tecnología de Ledger Distribuido va a ganar aceptación en la economía real mediante el comercio directo peer-to-peer, los tokens de pago tendrán que convertirse en el complemento natural para el intercambio de valor sobre una base digital.

Como dice el BIS, los tokens de pago se crean de forma privada, y su valor se deriva solo de la expectativa de que serán aceptados por otros. No sirven como moneda de curso legal reconocida por un sistema jurídico como monedas y billetes. Sin embargo, tras la discusión actual, algunos bancos centrales podrían emitir formas digitales de efectivo basado en el valor en el futuro. Actualmente, son monedas estables cuyos emisores privados garantizan un tipo de cambio 1 a 1 del token de pago en todas las monedas principales (US-Dólar, Euro, Yen o Franco Suizo), que parecen ser más adecuados para el uso peer-to-peer. Así es como las monedas estables representan un puente entre el dinero fiduciario existente de los bancos y el mundo criptográfico.

3.5 Desarrollo de un modelo de gobernanza para aplicaciones Blockchain

El gobierno de Blockchain es un acuerdo de partes interesadas que es desarrollado y adoptado conjuntamente por todas las partes interesadas involucradas. El elemento central de la Blockchain es su descentralización, que delega decisiones y supervisión a la red de partes interesadas y no a una institución o autoridad central. Por consiguiente, las partes interesadas deben acordar en primer lugar los elementos esenciales de la cooperación en la gobernanza de la red de datos. El establecimiento de un sistema de incentivos basado en tokens permite crear una situación beneficiosa para todos los participantes, lo que los motiva a participar en

esta base de datos colaborativa. A continuación, se ofrece una visión general de los elementos esenciales de la gobernanza para la gestión de residuos basada en Blockchain.

La gobernanza de blockchain como un proceso colaborativo

Esta es sin duda la parte más importante del proceso de colaboración. Debe crearse una estructura de gobernanza que sea compartida por todas las partes interesadas. En última instancia, se trata de jerarquías y la distribución del poder. ¿Están todas las empresas participantes trabajando conjuntamente con los mismos derechos que los propietarios de un proceso, o están los derechos centralizados en un pequeño círculo de empresas o distribuidos solo dentro de una empresa?

A este respecto, deben abordarse principalmente las siguientes cuestiones:

- ¿Quién determina la participación en el proceso de negocio?
- ¿Quién distribuye los derechos de lectura y escritura a los participantes en la base de datos Blockchain?
- ¿Cómo se valida una nueva entrada en la Blockchain, automáticamente a través de un algoritmo, como Prueba de Trabajo, o más centralmente a través de Prueba de Estaca o Prueba de Autoridad? La decisión sobre el mecanismo de consenso determina tanto la escalabilidad como la latencia de tal proceso. Como Wüst y Gervais (2018, p. 2) escriben: «*En los sistemas centralizados, el rendimiento en términos de latencia y rendimiento es generalmente mucho mejor que en los sistemas Blockchain, ya que las Blockchain agregan complejidad adicional a través de su mecanismo de consenso*».
- ¿Los cambios en el flujo de proceso están respaldados a través de un acuerdo democrático común entre los participantes o a través de la jerarquía de la empresa con la mayor participación de capital?
- ¿Cómo se supervisa el proceso? ¿Existen soluciones institucionalizadas para las disputas entre los participantes?

Será difícil para las empresas muy jerárquicas y gestionadas centralmente participar en un modelo de gobernanza en el que cada participante tenga casi los mismos derechos. Pero las ventajas económicas de la solución Blockchain solo se pueden lograr si los altos costos del monitoreo centralizado por un individuo se reemplazan por un sistema de incentivos y transparencia autocontrolado y descentralizado (Lenz, 2019).

Gobernanza de Blockchain dentro y fuera de la cadena de bloques

La gobernanza de los consorcios Blockchain consiste en acuerdos «on-chain» y «off-chain». Los acuerdos en cadena son una serie de acuerdos que se refieren a la parte operativa de la tecnología: alojamiento de nodos, mecanismos de consenso, acceso y permisos, y tokenización, si procede. Por lo tanto, la elección del protocolo constituye la base de estos acuerdos en cadena. En un consorcio Blockchain, los acuerdos fuera de la cadena incluyen las reglas fundamentales de la parte comercial. Los actores deben diseñar una estructura de gobernanza que sea aceptable para todos los participantes. También debe haber un acuerdo sobre cómo se compartirán los datos, cuánto aporte/control tendrá cada participante y cómo se manejarán las cuestiones relacionadas con el rendimiento general del consorcio y sus participantes.

Las cadenas de bloques pueden contribuir a una mejor cooperación al desalentar o hacer un comportamiento oportunista imposible. También puede contribuir a una mejor coordinación facilitando la comunicación y el intercambio de información. La confianza es inherente a la tecnología Blockchain. Las cadenas de bloques no dependen directamente de los sistemas

legales para hacer cumplir los acuerdos, como suelen hacer los contratos, y las cadenas de bloques no requieren confianza personal o conexiones directas entre colaboradores. Sin embargo, los actores necesitan, sin embargo, ganar confianza en la tecnología y construir confianza tecnológica para desarrollar el consorcio en un ecosistema Blockchain.

Blockchain permite un sistema de incentivos tokenizado

Como se mencionó anteriormente, un elemento importante de la gobernanza Blockchain es el desarrollo de un sistema de incentivos tokenizado para motivar a los diferentes actores en la cadena de residuos. Tal sistema simbólico puede ser de particular interés para motivar a los ciudadanos. Dependiendo de las políticas adoptadas, los tokens fungibles o no fungibles se pueden proporcionar a las direcciones Blockchain de cada usuario en cantidades y tipos que responden al comportamiento del usuario. Por lo general, una aplicación móvil permite al usuario administrar tokens en las direcciones Blockchain a través de una billetera Blockchain donde se almacenan las claves privadas para la propiedad de tokens. Se pueden eliminar otras soluciones ad hoc para determinadas categorías de ciudadanos. Un conjunto de contratos inteligentes hace cumplir automáticamente la ganancia de tokens por parte de los usuarios que dividen y reducen adecuadamente los residuos y ayudan a mejorar la tasa de reciclaje. El conjunto de contratos inteligentes Token puede interactuar directamente con el conjunto de contratos inteligentes que administran la cadena de seguimiento de residuos donde el comportamiento adecuado de los hogares se ha registrado por la calidad de la separación, la reducción de residuos y otros criterios, de modo que la recompensa correspondiente en tokens es ganada automáticamente por un hogar y depositada en su billetera Blockchain. El hogar puede comprobar la recompensa de token obtenida en su billetera y verificar la correspondencia con los datos registrados en la cadena de seguimiento de residuos, gracias a la transparencia e inmutabilidad de la Blockchain. Un navegador Blockchain se puede proporcionar a los usuarios, junto con la billetera, en una aplicación móvil. Los tokens pertenecen al usuario y, en principio, se pueden acumular, intercambiar, regalar, vender, quemar de acuerdo con las políticas adoptadas en el Contrato Inteligente para cada tipo de token.

Los municipios u otros actores principales pueden adoptar estrategias gratificantes (como el uso gratuito de servicios públicos) confiando en tokens, ya que se conceden para ser a prueba de manipulaciones gracias a la tecnología Block-chain. Todo el ciclo de vida de cada token puede ser monitoreado por transacciones Blockchain desde la creación hasta la quema. Los tokens no pueden ser falsificados, doble-gastados o reproducidos.

3.6 Convencer a la alta dirección

Las tecnologías blockchain potencialmente tienen un impacto disruptivo en las cadenas de valor y la forma en que se crea y distribuye el valor. Uno de los efectos es un gran grado de desintermediación. A través de un análisis industria por industria, Carson, Romanelli, Walsh y Zhumaev (2018) revelaron más de 90 casos de uso discretos de madurez variable para Blockchain en las principales industrias y presentaron las siguientes ideas clave sobre el valor estratégico de Blockchain:

1. Blockchain no tiene que ser un desintermediador para generar valor, un hecho que fomenta las aplicaciones comerciales autorizadas.
2. El valor a corto plazo de blockchain estará predominantemente en la reducción de costos antes de crear modelos de negocio transformadores, y
3. Blockchain todavía está en su infancia y tiene que crecer para ser factible a escala, principalmente debido a la dificultad de resolver la paradoja de la «coopetición»

para establecer estándares comunes. ¿Qué se entiende en realidad por «paradoja de la coopetición»?

Al final del día tiene que pagar...

En última instancia, la decisión de convertir procesos complejos hacia una base de datos de transacciones basada en Blockchain con un gran número de interfaces externas siempre será tomada por la junta ejecutiva de una compañía. El argumento decisivo a favor de probar la tecnología será, en última instancia, la perspectiva de un considerable ahorro de costes y mayores beneficios. Por lo tanto, los indicadores de rendimiento clave del proceso actual deben compararse con los del nuevo proceso diseñado por Blockchain. Sin embargo, en la gestión de residuos municipales, siendo un municipio una institución pública, deben tenerse en cuenta los indicadores clave de rendimiento no monetarios, como la reducción de los residuos, una mejor calidad de la separación de residuos, mayores tasas de reciclado y reparación, etc., además de los indicadores clave de rendimiento relevantes para las empresas (beneficios y costes).

A la Junta también le gustaría tener respuestas a la cuestión de los costos de migración, es decir, a los costos incurridos por la conversión de los procesos existentes. Los ahorros futuros ofrecidos por un proceso Blockchain de nuevo diseño deben superar claramente los costos de la conversión del proceso, de lo contrario tal inversión no valdría la pena. Sin embargo, en una situación de ganar-ganar-ganar, el valor actual neto de dicha inversión debe ser positivo para cada parte interesada involucrada en el proceso.

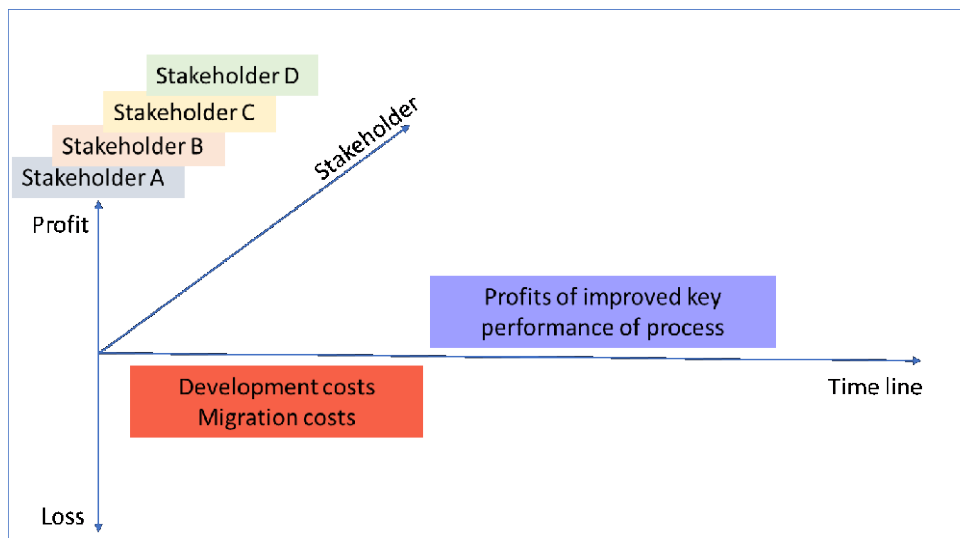


Figura23: ¿Retorno positivo de la inversión para cada parte interesada? (Lenz 2019)

Si para cada participante involucrado el beneficio futuro esperado excede el costo inicial de la transformación del proceso, entonces la dirección respectiva puede decidir llevar a cabo esta inversión o proyecto. Siendo realistas, el cambio a un proceso de gestión de residuos basado en Blockchain no resultará en un beneficio neto para todos los involucrados. Para algunas partes interesadas, el costo de migrar el proceso existente a un proceso basado en Blockchain también puede superar los beneficios potenciales, especialmente porque estos ocurren con cierta incertidumbre y la estimación de los costos de migración es relativamente cierta. Aquí es donde entra en juego el sistema de incentivos descentralizado descrito anteriormente en «Gobernanza 3.5». ¿Qué tan importante es para aquellas partes interesadas con un beneficio manifiesto apoyar la migración a la Blockchain emprendida por aquellos participantes con

menos ventajas? En otras palabras, ¿cuánta de la ventaja que los primeros solo pueden generar al cambiar a Blockchain están dispuestos a regalar a través de un sistema de incentivos basado en tokens, de modo que al final se produce una situación de ganar-ganar o, más precisamente, un retorno positivo de la inversión para cada participante?

Se necesita una perspectiva ecosistémico

En el mundo interconectado de hoy las empresas habitan ecosistemas que se extienden más allá de los límites de sus propias industrias. Esto también se aplica a la gestión de residuos sólidos municipales. Este es un ecosistema con muchos actores, incluidos productores, consumidores, municipios, legisladores y reguladores, recolectores de residuos, procesadores de residuos, empresas de reciclaje, etc. Todos ellos son actores en el ecosistema de gestión de residuos sólidos municipales. Un ecosistema es una entidad que consiste en un conjunto heterogéneo de actores que están vinculados entre sí. Estos actores tienen su propia autonomía y al mismo tiempo cooperan y también compiten. En el ecosistema MWM, los diferentes actores trabajan juntos para generar y capturar valor a partir del procesamiento de flujos de residuos municipales (de la manera más sostenible posible). Pero al mismo tiempo, tienen intereses contradictorios. Por ejemplo, los productores quieren el embalaje más barato posible, con una historia de marketing reconocible. Los consumidores quieren comodidad para separar y ofrecer sus residuos. Los municipios quieren mantenerse dentro de sus presupuestos y al mismo tiempo organizar sus procesos (residuos) de forma más circular, y así sucesivamente. Además, en un ecosistema, ciertos actores están en competencia directa entre sí, por ejemplo, los diversos recolectores de residuos. O las partes en los ecosistemas que implementan innovaciones Blockchain corren el riesgo de ser minimizadas o eliminadas, debido a la naturaleza desintermediaria de Blockchain.

Elegir el Blockchain apropiado

Las cadenas de bloques vienen en muchas formas, aunque uno de los conceptos clave de Blockchain es la existencia de una red de nodos en el proceso de red. Las cadenas de bloques se pueden dividir aproximadamente en tres tipos de Blockchain: Privado, público y consorcio. Estos tipos tienen muchas similitudes, y la diferencia radica en quién se le permite participar en la red, cómo se crea el «acuerdo de verdad», conocido como «consenso», y cómo se mantiene el libro mayor. Es probable que las iniciativas blockchain en MWM comiencen con el consorcio Blockchains, en el que dos o más partes participarán en el ecosistema, por ejemplo, los consumidores que utilizan un contenedor inteligente y colectores de residuos que utilizan contratos inteligentes para ejecutar la facturación por recolección de residuos por hogar. Varias partes pueden unirse a este ecosistema Blockchain. Esto también es necesario para hacer la cadena (más) circular. Las Blockchains del Consorcio están compuestas por varias entidades y están parcialmente descentralizadas, ya que el poder de consenso y los permisos de lectura están restringidos a un conjunto de personas o nodos. En la práctica, las Blockchains del consorcio se pueden aplicar a muchas aplicaciones comerciales, tienen diferentes tamaños y pueden diferir en sus modelos de gobernanza y objetivos estratégicos.

Tenga en cuenta que Blockchain es más que una tecnología

Blockchain no es solo una tecnología, sino que ofrece oportunidades para crear y distribuir valor de otras maneras. El diseño del ecosistema requiere una perspectiva de sistemas. Además de la creación de valor y un modelo de entrega, el diseño del ecosistema debe tener en cuenta la distribución del valor en un ecosistema. Esto requiere una alineación deliberada de los ecosistemas y una gobernanza. Requiere un cambio de paradigma, y para que este

cambio sea posible, se necesita la participación y la defensa de la alta dirección de la organización.

Comienza pequeño pero hazlo escalable

Un escollo en el proceso de adopción de las innovaciones Blockchain es que, aunque la naturaleza disruptiva de Blockchain es potencialmente grande, los actores inmediatamente piensan muy grande, mientras que las posibilidades de éxito son mayores si comienzan poco. La tecnología Blockchain es relativamente nueva y las partes interesadas potenciales carecen de experiencia. Esto, naturalmente, crea una incertidumbre considerable y un riesgo no despreciable de fracaso de la inversión. En consecuencia, es recomendable comenzar con un pequeño proyecto de simulación que debe ser escalable. En el caso de una prueba exitosa («Prueba de concepto»), el proyecto podría ejecutarse a una escala más amplia.

Un comienzo podría hacerse, por ejemplo, con una actividad en la cadena MWM o una actividad compartida entre dos eslabones o partes en un ecosistema. Adquirir experiencia y compartir conocimientos es vital para convencer a otros actores del ecosistema MWM de participar. La circularidad solo puede lograrse si se cierra toda la cadena, lo que requiere una amplia adopción y participación.

Educar a la gestión

Anteriormente se mencionan varios indicadores clave de rendimiento que podrían convencer a la administración. Pero antes de eso, la administración debe educarse sobre los fundamentos de Blockchain. 'Desconocido' hace Blockchain 'no amado'. Además, hay muchos conceptos erróneos sobre Blockchain, por ejemplo, la idea de que solo tiene algo que ver con la criptomoneda, o que Blockchain es puramente una tecnología TIC. La falta de conocimiento de Blockchain dentro de la organización o la espera de que otros jugadores en el ecosistema sigan adelante con el desarrollo de iniciativas también están retrasando los factores en la adopción de Blockchain.

4 Recomendaciones finales

Este manual pretende animar a las empresas europeas de gestión de residuos municipales a adoptar un enfoque diferente e innovador para implementar soluciones Blockchain. A continuación se presentan algunas recomendaciones finales para tomar tal camino.

Aprender de proyectos de Blockchain fallidos

En conclusión, Blockchain tiene un impacto potencialmente disruptivo en los ecosistemas y los modelos de negocio existentes de los actores que participan en estos ecosistemas. Por lo tanto, es vital que la alta dirección participe en el proceso de toma de decisiones para adoptar innovaciones de Blockchain. Aunque Blockchain es una tecnología popular emergente, muchos proyectos de Blockchain fallan. Trujillo, Fromhart y Srinivas (2017) investigaron que solo el 8 % de todos los proyectos Blockchain en Github están activos 1,2 años después de su activación. Una razón importante de esta alta tasa de fracaso es la falta de un caso de negocios (financieramente) sostenible. La mayoría de los proyectos Blockchain se centran en comprender y explorar la tecnología (por prueba de concepto, POC), pero no son lo suficientemente disruptivos en términos de recrear el valor y no entienden que un rediseño del ecosistema es imperativo para la adopción exitosa de Blockchain.

Según Trujillo et al. (2017, p. 11), de los datos de GitHub se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- *Los proyectos realizados por organizaciones tienen una tasa de supervivencia más alta que los de los individuos*
- *Los proyectos que sobreviven tienden a tener múltiples cometadores con menos concentración de actividades atribuidas a un cometador en particular*
- *Los proyectos que a menudo se copian son más propensos a sobrevivir*
- *Los proyectos que son «forks» de otros proyectos tienden a tener altas tasas de mortalidad*

El mensaje que se deriva de esto parece ser claro: Los proyectos blockchain necesitan una gran cantidad de recursos (dinero y mano de obra), un proyecto debe configurarse y operarse de manera colaborativa, y no es aconsejable copiar otros proyectos en lugar de configurar el propio proyecto que está diseñado individualmente para resolver un problema específico.

Configurar el equipo de proyecto adecuado

El desarrollo e implementación de un proyecto Blockchain consiste en gran parte en la gestión del cambio y el trabajo de gestión de procesos. Contrariamente a las expectativas, la selección de la solución técnica Blockchain juega un papel subordinado. Comunicación intensiva, comprensión de los intereses de los demás, llevar a la gente y convencerlos, explicando las posibilidades técnicas de la Blockchain en términos simples — estos son los componentes para el éxito de un proyecto y para la selección de los miembros del equipo del proyecto. Además de los expertos en TI, los controladores de negocios y los diseñadores de procesos, el equipo debe incluir gerentes de cambio con habilidades de comunicación distintivas.

Gestión de residuos municipales como proveedor de soluciones local y ciudadana

A partir de la teoría de juegos se sabe que los enfoques colaborativos conducen a mejores soluciones que los enfoques no colaborativos en términos de aumento del bienestar. La transformación hacia una economía circular requiere cambios de comportamiento fundamentales de todas las partes interesadas, ya sea en el comportamiento de consumo, eliminación de residuos o modelo de negocio elegido. La colaboración debe entenderse en

este sentido que el objetivo común solo puede lograrse a través de la cooperación de todas las partes. Una solución colaborativa deseada a un problema dado sería ciertamente más rápida en obtener en un estado autoritario que ejerce un control total sobre los ciudadanos. Sin embargo, es cuestionable si esta solución también sería sostenible. En cualquier caso, este enfoque descendente privaría a cada individuo de su libertad económica y sus derechos fundamentales. En las democracias y las economías de mercado, estas soluciones colaborativas deben negociarse con todos los grupos de partes interesadas y los ciudadanos toman su libre decisión.

La gestión de residuos municipales tiene una ventaja decisiva en este proceso de negociación: el problema se puede resolver localmente. La gente se conoce, se puede construir una relación de confianza entre un municipio y sus ciudadanos, y se pueden encontrar soluciones locales. Esto hace que sea aún más importante destacar la participación de los ciudadanos en las soluciones locales dentro de las ciudades y municipios. Por lo tanto, hay que destacar el papel de los municipios como gestores públicos de residuos. Este papel no está impulsado por un interés comercial en la recopilación completa de datos de los ciudadanos ni por la voluntad de actuar como una autoridad local. Los municipios deberían verse a sí mismos como agentes que actúan en nombre de los ciudadanos. Tales agentes locales, cuyas acciones están orientadas únicamente al interés de los municipios y controladas por los ciudadanos, estarían ciertamente más dispuestas a entregar sus datos de residuos que los actores globales.

Estas soluciones locales de gestión de residuos municipales pueden ser completamente diversas en toda Europa, pero finalmente deben conducir al objetivo de un uso sostenible de los escasos recursos. No habrá un enfoque único para todos en materia de residuos debido a diferencias culturales, sino también diferencias en el tratamiento nacional de residuos. Lo que más bien debería estimularse es el aprendizaje mutuo a partir de enfoques locales innovadores.

5 Referencias y fuentes para lecturas adicionales

- AlHumid, H. A., Haider, H., Alsaleem, S. S., Shafiqzamman, M., & Sadiq, R. (2019). Indicadores de rendimiento de los sistemas municipales de gestión de desechos sólidos en Arabia Saudita: selección y clasificación utilizando difusas AHP y PROMETHEE II. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(15), 1-23.
- Anh Khoa, T., Phuc, C. H., Lam, P. D., Nhu, L. M. B., Trong, N. M., Phuong, N. T. H. . . Duc, D. N. M. (2020). Sistema de gestión de residuos que utiliza el aprendizaje automático basado en IoT en la universidad. *Comunicaciones inalámbricas y computación móvil*, 2020.
- De BaFin. (2018). Digitalisierung (en inglés). *BaFin Perspektiven*, 01-2018. Recuperado de https://www.bafin.de/SharedDocs/Veroeffentlichungen/DE/BaFinPerspektiven/2018/bp_18-1_Beitrag_Fusswinkel.html?nn=11056122#U9
- Banco de Pagos Internacionales. (2018). *V. Criptomonedas: mirando más allá de la exageración*. Recuperado de Basilea:
- Beede, D. N., & Bloom, D. E. (1995). La economía de los residuos sólidos municipales. *El Observador de Investigación del Banco Mundial*, 10(2), 113-150.
- Berg, H., & Sebestyén, J. (2020). Phillip Bendix (Instituto Wuppertal), Kévin Le Blevenec (VITO), Karl Vrancken (VITO).
- Bertanza, G., Ziliani, E., & Menoni, L. (2018). Indicadores tecno-económicos de las estrategias de recogida de residuos sólidos municipales. *Gestión de residuos*, 74, 86-97.
- Carson, B., Romanelli, G., Walsh, P., & Zhumaev, A. (2018). Blockchain más allá del bombo: Cuál es el valor estratégico del negocio. *McKinsey & Company*, 1.
- Comisión Europea. (2019). *Resolución del Comité Europeo de las Regiones — El Pacto Verde en colaboración con los entes locales y regionales. En la Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones, el Pacto Verde Europeo*. Recuperado de Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, relativa a los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas (Marco de residuos, (2008).
- DE IBM. (2017). Beneficios de blockchain para la electrónica: Domar la complejidad con una mejor visibilidad de la cadena de suministro. Recuperado de https://public.dhe.ibm.com/common/ssi/ecm/gb/en/gbe03809usen/gbe03809usen_01_GBE03809USEN.pdf
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *Qué desperdicio 2.0: una instantánea global de la gestión de residuos sólidos hasta 2050*: Publicaciones del Banco Mundial.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualización de la economía circular: Un análisis de 114 definiciones. *Recursos, conservación y reciclaje*, 127, 221-232.
- Lenz, R. (2019.a). Big Data: Ética y Derecho. *Disponible en SSRN 3459004*.
- Lenz, R. (2019b). Gestión de Ledgers Distribuidos: Blockchain y más allá. Recuperado de <https://ssrn.com/abstract=3360655>
- Lenz, R., Kleinheyder, B., Barkel, C., Veuger, J., Klöga, M., Torrecilla, J. M., & Menegaki, M. (2021). Estado de la digitalización en la gestión municipal europea de residuos Estudio comparativo: cinco países miembros de la UE Estonia, Alemania, Grecia, los Países Bajos y España.
- Loizia, P., Voukkali, I., Zorpas, A. A., Pedreno, J. N., Chatziparaskeva, G., Inglezakis, V. J. . . Doula, M. (2021). Medir el nivel de comportamiento ambiental en áreas insulares, a través de indicadores clave realizados, en el marco del desarrollo de la estrategia de residuos. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 753, 141974.

- Luttenberger, L. R. (2020). Retos de la gestión de residuos en la transición a la economía circular, caso de Croacia. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120495.
- Narayan, R., & Tidström, A. (2020). Tokenizando la coopetición en una cadena de bloques para una transición a la economía circular. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121437.
- Pappas, G., Papamichael, I., Zorpas, A., Siegel, J. E., Rutkowski, J., & Politopoulos, K. (2022). Modelado de indicadores clave de rendimiento en una herramienta de gestión de residuos gamma. *Modelado*, 3(1), 27-53.
- Poting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). *Economía circular: medición de la innovación en la cadena de productos*: Editoriales de PBL.
- PwC. (2016). Preguntas y respuestas: ¿Qué es una cadena de bloques? Recuperado de <https://www.pwc.com/gr/en/publications/assets/qa-what-is-blockchain.pdf>
- PwC. (2018). Construyendo block (cadena) para un planeta mejor: Cuarta Revolución Industrial para la Serie Tierra. Recuperado de <https://www.pwc.com/gx/en/sustainability/assets/blockchain-for-a-better-planet.pdf>
- Rhyner, C. R., Schwartz, L. J., Wenger, R. B., & Kohrell, M. G. (2017). *Gestión de residuos y recuperación de recursos*: CRC Press (en inglés).
- Rudolphi, J. T. (2018). *Blockchain para una economía circular, investigación explorativa hacia las posibilidades de que la tecnología blockchain mejore la implementación de pasaportes materiales*. (Maestro). Universidad Tecnológica de Eindhoven, Consultado en https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/97558362/Rudolphi_0913284.pdf
- Liquidación", B. f. I. (2018). Criptomonedas: mirando más allá de la exageración. En (pp. 91-114).
- Teixeira, C. A., Russo, M., Matos, C., & Bentes, I. (2014). Evaluación de los resultados operativos, económicos y medioambientales de la recogida mixta y selectiva de residuos sólidos municipales: Estudio de caso de Oporto. *Gestión e investigación de residuos*, 32(12), 1210-1218.
- Treleaven, P., Barnett, J., & Koshiyama, A. (2019). Algoritmos: ley y regulación. *Computadora*, 52(2), 32-40.
- Trujillo, J. L., Fromhart, S., & Srinivas, V. (2017). Evolución de la tecnología blockchain: Información de la plataforma GitHub. *Deloitte Insights*, 24.
- Vardopoulos, I., Konstantopoulos, I., Zorpas, A. A., Limousy, L., Bennici, S., Inglezakis, V. J., & Voukkali, I. (2021). Perspectivas de áreas metropolitanas sostenibles a través de la evaluación de las estrategias de gestión de residuos existentes. *Ciencia ambiental y investigación sobre la contaminación*, 28(19), 24305-24320.
- Vehlow, J. (1996). Gestión de residuos sólidos municipales en Alemania. *Gestión de residuos*, 16(5-6), 367-374.
- Verhulst, S. G. (2018). Asimetrías de información, tecnologías Blockchain y cambio social. Recuperado de <https://sverhulst.medium.com/information-asymmetries-blockchain-technologies-and-social-change-148459b5ab1a>
- Wüst, K., & Gervais, A. (2018). *¿Necesitas una cadena de bloques?* Documento presentado en la Conferencia Crypto Valley 2018 sobre tecnología Blockchain (CVCBT).
- Yoo, S. H., Rhim, H., & Park, M.-S. (2019). Estrategias sostenibles de reducción de costes y residuos en una relación estratégica comprador-proveedor. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117785.
- Zarzycka, E., & Krasodomska, J. (2021). Indicadores clave de rendimiento medioambiental: el papel de las regulaciones y la influencia de las partes interesadas. *Sistemas y Decisiones Medioambientales*, 41(4), 651-666.

- Zorpas, A. A. (2020). Desarrollo de estrategias en el marco de la gestión de residuos. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 716, 137088.
- Zorpas, A. A., Lasaridi, K., Voukkali, I., Loizia, P., & Chroni, C. (2015). Variación del análisis de composición de residuos domésticos de las comunidades insulares en el marco de los planes de estrategia de prevención de residuos. *Gestión de residuos*, 38, 3-11.