



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER  
ECONOMÍA CIRCULAR Y GESTIÓN DE  
RESIDUOS EN EL MERCADO ESPAÑOL

Autor: Ignacio Manrique López-Henares  
Director: Susana Ortiz Marcos

Madrid  
Diciembre de 2021

## Resumen en español

Este trabajo busca dar respuesta a unos objetivos de investigación que están en indudable boga en los tiempos en que se realizó el mismo, como son hacer una economía más sostenible, y más concretamente, una que sabe hacer una mejor gestión de los residuos que produce.

En una primera parte se desarrolla un marco teórico donde se aborda de forma amplia el concepto de economía circular, que tiene muchísimos vértices y ángulos que analizar, y cuyo análisis cobra mucho sentido como enfoque preliminar de este proyecto. Dentro de dicho marco teórico se exponen también los principales flujos de residuos y cuáles son las tecnologías actuales en la transformación de dichos residuos en energía, una rama de conocimiento de notable importancia para la consecución de una economía más circular.

En una siguiente parte, se entra de lleno en el análisis de los objetivos de investigación del trabajo, empezando por un enfoque global sobre el mercado de residuos, pasando a un enfoque continental, y por último un análisis del mercado español en concreto, donde se incluye la huella ecológica que actualmente produce España, así como cual es la regulación más importante en este sentido en nuestro país.

Y por último, se exponen numerosos casos de éxito en la industria de la economía circular, que se presentan como interesantes oportunidades de inversión y réplica para lograr una mayor penetración de estas prácticas en nuestra sociedad.

## Resumen en inglés

This project intends to give response to a series of research objectives that are at the forefront of discussions at the time when this research project was conducted, such as the circular economy and more specifically, waste management.

The thesis starts by developing a theoretical framework where the concept of circular economy is broadly approached. This topic has numerous sub-verticals and represents an accurate starting point for this project. Within this theoretical framework, other important themes are exposed, such as the main flows of waste that our economic system produces nowadays as well as the current technologies that exist to transform those wastes into energy, which represents a key topic of knowledge to attain a more circular economy.

In the main body of the project, a thorough analysis is conducted to attain the main objectives of the project, commencing by a global approach that then funnels to a continental and ultimately to a national one. Included in the analysis of the Spanish market, an important result is the ecological footprint of the market as a whole, as well as the main regulatory frameworks that ultimately drive private and public action.

And last but not least, various successful case studies within this industry are exposed, that present themselves as very attractive investment opportunities to buoy the society's transition to a more sustainable and resourceful future.

## Índice de contenidos

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
1.1. ELECCIÓN DEL TEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	7
1.2. OBJETIVO DE INVESTIGACIÓN .....	9
1.3. METODOLOGÍA.....	10
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1. ECONOMÍA CIRCULAR. ¿DÓNDE QUEDA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS EN LA MISMA? .....	11
2.1.1. <i>Las 9R de la Economía Circular</i> .....	13
2.2. FLUJOS DE RESIDUOS.....	16
2.2.1. <i>Residuos domésticos</i> .....	16
2.2.2. <i>Aceites industriales</i> .....	20
2.2.3. <i>Aparatos eléctricos y electrónicos</i> .....	20
2.2.5. <i>Residuos sanitarios</i> .....	22
2.3. TECNOLOGÍAS WASTE-TO-ENERGY (WTE).....	22
2.3.1. <i>Incineración</i> .....	23
2.3.2. <i>Co-procesamiento</i> .....	25
2.3.3. <i>Digestión anaerobia</i> .....	26
2.3.4. <i>Captura de gases de vertedero</i> .....	28
<b>3. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>	<b>30</b>
3.1. GENERACIÓN, TIPOLOGÍA Y TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS MUNICIPALES A NIVEL GLOBAL. 30	
3.2. SITUACIÓN DEL RESIDUO EN EUROPA Y SU COMPARATIVA CON ESPAÑA .....	36
3.2.1. <i>El ejemplar caso de Suiza</i> .....	37
3.3. HUELLA ECOLÓGICA Y SITUACIÓN ACTUAL DEL RESIDUO EN ESPAÑA .....	38
3.3.1. <i>Generación y composición de los residuos municipales</i> .....	39
3.3.2. <i>Situación de la gestión y tratamiento de los residuos municipales</i> .....	41
3.4. REGULACIÓN Y OBJETIVOS GUBERNAMENTALES.....	43
3.4.1. <i>España</i> .....	44
3.5. OPORTUNIDADES Y CASOS DE ÉXITO EN EL SECTOR DE LOS RESIDUOS EN ESPAÑA.....	48
3.5.1. <i>Implantación de un sistema SDDR en el sector de los envases</i> .....	48
3.5.2. <i>ECOTIC. Un modelo de gestión SCRAP con grandes beneficios</i> .....	51
3.5.3. <i>“La Circular” Cerveza Artesana</i> .....	53
3.5.4. <i>Revertia</i> .....	54
3.5.5. <i>Scrapad</i> .....	55
3.5.6. <i>Ecoalf</i> .....	56
3.5.7. <i>Cocircular</i> .....	56
3.5.8. <i>Iniciativas de grandes multinacionales</i> .....	57
<b>4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1: Tecnologías WtE

Figura 2: Estimación de costes de la incineración en la UE vs países emergentes

Figura 3: Co-procesamiento

Figura 4: Generación de residuos por nivel de ingresos de un país

Figura 5: Composición global de los residuos

Figura 6: Composición de los residuos en países desarrollados

Figura 7: Niveles de recolección de residuos por nivel de ingresos

Figura 8: Tratamiento global de los residuos

Figura 9: Tratamiento de los residuos en países desarrollados

Figura 10: Gestión de los residuos municipales en Europa

Figura 11: Composición de los residuos municipales en España

Figura 12: Generación de residuos municipales per cápita en la Unión Europea

Figura 13: Generación y tratamiento de los residuos en España

Figura 14: Proceso de tratamiento de los residuos en España

Figura 15: Instalaciones de tratamiento de residuos en España

Figura 16: Potencial disminución de residuos marinos de PET con un aumento de la cuota de mercado de los retornables

Figura 17: Residuos gestionados por Ecotic

Figura 18: Evolución de los puntos de recogida RAEE

## **ÍNDICE DE ABREVIATURAS**

TFM – Trabajo Fin de Máster

WtE – Waste to Energy

UE – Unión Europea

MITECO – Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

EEA – European Environment Agency

REAA – Residuos y Aparatos Electrónicos

SCRAP – Sistemas Colectivos de Responsabilidad Ampliada del Productor

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Elección del tema y justificación

El presente trabajo fin de máster es fiel reflejo de algunas de mis más importantes inquietudes y colofón de mis estudios universitarios en la escuela de ICAI, a la que estaré eternamente agradecido. Entré a esta universidad con un afán muy grande por labrarme un futuro que generará impacto en la sociedad del mañana. Y creo que la institución me ha sabido otorgar las herramientas necesarias para comenzar mi andadura profesional en una inmejorable dirección. El prestigio de esta escuela está enraizado en la muy larga tradición de la institución de apostar por el esfuerzo, la excelencia, el compromiso con la sociedad y la ética. Es el edificio número 25 de la calle Alberto Aguilera un lugar donde yacen algunos profesores de un nivel extraordinario y un lugar de donde emanan algunos de los jóvenes más influyentes y brillantes de nuestro país. Me llevo un recuerdo extraordinario de mis años aquí, donde he aprendido que el esfuerzo es una de las fuentes de felicidad y realización más importantes para el ser humano.

Sin más dilación y entrando en materia más propia del trabajo que aquí acontece, en el transcurso de la carrera he ido cerciorándome de la ubicuidad de la energía en sentido amplio en la titulación del ingeniero industrial. El progreso de la humanidad, y en especial desde la aparición de la Revolución Industrial, ha conducido a un sistema mundial, que pende, prácticamente de forma íntegra, de un correcto funcionamiento de los sistemas energéticos. Esta deriva ha traído también un problema que está a día de hoy en indudable boga, y no es otro que el asunto del calentamiento global y el desgaste medioambiental del planeta por la acción humana.

Y es éste uno de los temas centrales de otro de los tópicos que suenan con creciente fuerza en el sistema capitalista occidental: la inversión de impacto. En este contexto es donde se encuentra Impact Bridge, fondo de inversión de impacto, que nació en 2019 de la mano de un grupo de profesionales financieros con vocación de dedicarse a algo con más impacto en la sociedad. Por ser la inversión de impacto una temática relativamente nueva y en la que aún hay mucho que progresar, desde Impact Bridge, dan mucha importancia a la investigación académica de estos asuntos. Y es ahí donde han forjado una consolidada colaboración con la Universidad Pontificia Comillas, para dirigir, supervisar y sacar rédito de una serie de trabajos de fin de grado o máster.

La aparición de la pandemia global del Covid-19 nos llevó a una situación sin precedentes en el mundo moderno con un confinamiento estricto de toda la sociedad. Fue también una gran oportunidad de reflexión y pausa en este mundo actual en el que todos vivimos en un constante frenesí. Para mí en concreto fue un momento de reflexión sobre donde quería enfocar mi carrera profesional en el largo plazo. Y a pesar de que mis primeros pasos profesionales serán dentro del ámbito de la banca de inversión, me gustaría en el medio plazo que mi actividad tenga un impacto importante en la sociedad.

Fue entonces cuando me enteré de la oportunidad que ofrecía Impact Bridge, que mezclaba la perspectiva financiera con la del impacto, que eran las dos vías profesionales que entonces más me inspiraban. Y tras un competitivo proceso de selección, tuve la gran suerte de ser uno de los seleccionados para realizar el trabajo de fin de máster con ellos. Y aprovecho para expresarles mi gratitud por confiar en mí, y mi admiración por tener entre manos un proyecto tan humano, apasionante y con tanto potencial.

El título del trabajo que ofrecían entonces era bastante general bajo el tema de la economía circular. Tras la primera reunión con todas las personas implicadas en este trabajo, se decidió acotarlo más en la línea de la gestión de residuos, y en concreto en el contexto español, analizando el mercado actual, para analizar cuáles son las mejores oportunidad de inversión en este sector a día de hoy y cuál es el impacto que pueden causar este tipo de inversiones.

## 1.2. Objetivo de investigación

El objetivo principal de este estudio es entender la situación del mercado español en cuanto a la generación y la gestión de los residuos, en pos de analizar cuáles serían las mejores oportunidades de inversión en este sector, utilizando como baremos tanto la rentabilidad como el impacto. Se analizará tanto la situación europea como la global así como la disparidad existente entre los países en vías de desarrollo y los países desarrollados. Esto será útil para encontrar posibilidades de inversión en países en vías de desarrollo, donde las necesidades e infraestructuras son de muy diferente tipo a las que se encuentran en los países desarrollados.

Se espera que las aportaciones de este trabajo de investigación aporten nuevo conocimiento sobre el sector de la inversión de impacto, y su relación con la economía circular, y más concretamente la gestión de los residuos. Además, dado que la industria de la inversión de impacto, que es el sector que busca sacar provecho de este trabajo, está emergiendo, la investigación podría llegar a contribuir a mejorar las prácticas y la visión de los gestores especializados en esta área de inversión. Representando este hecho la contribución práctica del proyecto.

Con el fin de abordar estos objetivos de investigación, se desarrollarán los siguientes objetivos:

1. Un marco teórico sobre la economía circular y donde queda la gestión de residuos en la misma.
2. Un análisis de los distintos flujos de residuos así como de las principales tecnologías existentes sobre transformación de los residuos en energía.
3. Un estudio del mercado de los residuos en España, contextualizándolo en primer lugar, y posteriormente hablando de oportunidades y casos concretos.
4. Discusión de las principales observaciones del proyecto, donde han estado las limitaciones del mismo, así como cuáles pueden ser las futuras vías de investigación.

### 1.3. Metodología

Dada la naturaleza de los objetivos de investigación, donde se pretende analizar la situación de una industria y las posibles oportunidades existentes en la misma, la metodología escogida ha sido de tipo cualitativa. Los datos se obtendrán mediante la investigación y el análisis, para posteriormente aplicar procedimientos interpretativos y analíticos para abordar los objetivos de investigación subyacentes.

Se han empleado dos tipos de fuentes para la realización del TFM: primarias y secundarias. Las primarias son aquellas que contienen información novedosa, fruto de un trabajo intelectual. Como ejemplo de este tipo de fuentes podemos encontrar periódicos, informes privados o documentos empresariales. Por otro lado, las fuentes secundarias son aquellas que contienen información elaborada, fruto del análisis o reorganización de documentos primarios. También se han utilizado fuentes provenientes de organismos internacionales como el Banco Mundial o la Unión Europea. Este tipo de fuentes ayudan a obtener una visión más completa y a aproximarse a la realidad de una forma más teórica, y es por ello, que se han empleado de forma más intensiva en la parte del marco teórico.

En una primera parte, se llevará a cabo un estudio del tema más general, que en este caso concreto es la economía circular. Tras ello, se analizarán los principales flujos de residuos y cuales son las tecnologías más importantes para la transformación de los residuos en energía. Todo esto constituirá el denominado marco teórico, que servirá como base para abordar a posteriori, el análisis y los resultados de la investigación.

En una segunda parte, se llevará a cabo un estudio de mercado, analizando el contexto global, continental y nacional de la industria de la gestión de residuos. Esta contextualización servirá de base para buscar proyectos que pudieran resultar interesantes, oportunidades o casos de éxito en el mercado español de los residuos en general, o en algún subsector en particular. Y finalmente, se extraerán unas conclusiones que respondan a los objetivos de investigación planteados al inicio del trabajo.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Economía circular. ¿Dónde queda la gestión de los residuos en la misma?

A lo largo de su evolución y diversificación, nuestra economía industrial apenas se ha movido de la característica fundamental que se estableció en los primeros días de la industrialización: se basa en un modelo de consumo de recursos que sigue un patrón “tomar-producir-desechar”. Las compañías extraen y toman materiales, los utilizan para la manufactura de productos y lo venden a un consumidor, que se deshace del mismo cuando éste deja de servir para el fin para el que fue producido (Ellen Macarthur Foundation, 2020).

En los últimos tiempos, numerosas compañías han comenzado a cerciorarse de que este sistema de consumo lineal incrementa su exposición a ciertos riesgos, especialmente a mayores precios de los recursos o a disrupciones en su suministro de insumos. Cada vez más compañías se sienten presionadas, por un lado, a causa de unos crecientes y menos predecibles precios de los recursos, y por otro lado, por la alta competitividad y por la demanda estancada de ciertos sectores. El cambio de milenio marcó un momento importante en el cambio de tendencia en la dirección de los precios reales de los recursos naturales, que han tenido una clara tendencia alcista desde entonces (Reynolds, 1999).

Probablemente, los altos precios y la volatilidad de los recursos naturales hayan venido para quedarse si el crecimiento económico mundial es robusto y la población urbana mundial sigue creciendo. Y contra este acuciante problema, los líderes empresariales están en búsqueda de un modelo industrial que disocie los ingresos de los materiales que actúan como insumos: la economía circular.

La economía circular es un sistema industrial que es regenerativo en intención y diseño. Sustituye el concepto de que los productos tienen un final de vida por la restauración, busca pivotar hacia el uso de energías renovables, elimina el uso de químicos tóxicos, y anhela la eliminación de residuos a través de un diseño superior de los modelos de negocio, materiales, productos y sistemas (Lehmann, 2020).

Dicha economía se basa en una serie de simples principios. En primer lugar, el concepto de economía circular desea deshacerse de los residuos. Teóricamente, los residuos no existen, pues los productos son diseñados y optimizados para un ciclo de desmontaje y reutilización. En segundo lugar, la circularidad introduce una estricta diferenciación entre los componentes consumibles y los duraderos de un producto. A diferencia de como ocurre hoy en día, los consumibles en una economía circular están mayoritariamente formados por ingredientes biodegradables o nutrientes que por lo menos no son tóxicos o incluso beneficiosos, y que por tanto, pueden ser devueltos sin riesgo a la biosfera. En cambio, los bienes duraderos como un motor o un ordenador, están hechos de materiales que no son compatibles con la biosfera, como son los metales y la mayoría de los plásticos. Estos se diseñan desde un principio para su reutilización. Y por último, la energía necesaria para impulsar todo este ciclo debería ser renovable, de nuevo para reducir la dependencia de recursos naturales y aumentar la resiliencia del sistema (Preston, 2012).

Para todos los componentes técnicos, la economía circular sustituye el concepto de un consumidor por el de un usuario. Esto reclama un nuevo contrato entre compañías y sus clientes en cuanto al rendimiento de los productos. A diferencia de como ocurre en la economía de hoy, los productos considerados duraderos se alquilan y comparten todo lo que sea posible. Y si se vendieran, existen incentivos o acuerdos para asegurar la devolución y consiguiente reutilización del producto o de sus componentes y materiales al final de su período de uso primario.

Todos estos principios sirven de base para las cuatro fuentes principales de valor de este sistema en comparación con el diseño y consumo lineal (Ellen Macarthur Foundation, 2020):

- El poder del círculo interior. Se refiere a la minimización del uso de materiales en comparación con el sistema de producción lineal. Cuanto más pequeña sea la circularidad de la economía, menores serán los cambios necesarios para volver a poner el producto en uso.
- El poder de los círculos en número. Maximización del número de ciclos consecutivos y/o el tiempo en cada ciclo.
- El poder del uso en cascada. Explica la reutilización diversificada a lo largo de la cadena de valor. Como podría ser el uso de algodón para textil, que podría pasar

a ser útil en una siguiente iteración para mobiliario, y en una siguiente para el sector de la construcción.

- El poder de la pureza de los círculos. Flujos de material no contaminados aumentan la eficiencia en la recolección y distribución mientras mantienen la calidad, en especial de materiales técnicos, que a su vez, aumenta la longevidad de los productos y la productividad de los materiales.

### 2.1.1. Las 9R de la Economía Circular

En febrero de 2019, la Comisión Europea creó un grupo de expertos para la financiación de la economía circular. Uno de los objetivos primordiales era elaborar una clasificación común de las actividades que contribuirían al establecimiento de una economía circular. Con esta clasificación, los distintos entes implicados, entre ellos los inversores, podrían identificar con mayor facilidad las iniciativas empresariales que más fomenten su establecimiento. Tras revisar la literatura de los mayores defensores de este nuevo modelo industrial, los expertos llegaron a la conclusión de que hay nueve estrategias principales que hacen realidad la economía circular (CE, Categorisation System for the Circular Economy., 2020):

- Rechazar. Renunciar a productos o algunos de sus componentes que no hagan falta de forma real y que se pueda sustituir su función de alguna manera complementaria. Aquí el papel de la digitalización puede ser muy notorio. Un ejemplo en este sentido es la eliminación de recibos de compra mediante su envío/entrega digitalizado al cliente.
- Repensar. Conseguir una utilización más intensiva del producto. Esto puede ser a través de modelos de plataformas de reutilización o de *sharing*. Con esta estrategia se busca premiar el contrato entre empresas y consumidores en que se otorga un servicio, pero sin transferir la propiedad sobre un producto. El ejemplo más claro de este concepto lo encontramos en las ya muy numerosas posibilidades de transporte urbano de las grandes ciudades que se basan en este tipo de economía colaborativa.
- Reducir. Emplear fuentes renovables en la energización de la economía, mientras se busca la mayor eficiencia posible tanto en la fabricación de los productos como en su uso. Por lo tanto, no habrá que buscar solo la eficiencia energética en su

diseño, sino fomentar ésta en su uso. Y en este sentido hace falta una estrecha colaboración entre compañías y consumidores.

- Reutilizar. Dar una nueva utilización a un producto que aún se encuentra en buenas condiciones y cumple el mismo objetivo para el que fue concebido. Las aplicaciones de este concepto son muy numerosas. En todo momento han existido mercados de segunda mano, pero la aparición de los teléfonos móviles puede dar lugar a un gran número de nuevos *marketplaces*, donde poder comprar y vender productos que sólo has necesitado durante un determinado tiempo pero que ya no vas a utilizar.
- Reparar. Reparar un producto con alguna parte rota o defectuosa, para que pueda volver a ejecutar su función original. Este concepto trata de luchar contra la obsolescencia programada, entre otros asuntos. Si las piezas y componentes de productos de electrónica, baterías o automoción estuvieran estandarizadas, sería mucho más fácil reparar los productos y alargar sus vidas útiles. Esto genera a su vez un problema, y es que esto podría suponer un desincentivo a la innovación, puesto que el tener que hacer públicos ciertos secretos industriales haría que las compañías no obtuvieran réditos económicos por algunos de sus desarrollos en los que invierten importantes cantidades de dinero.
- Restaurar. Se refiere a la actualización de un producto antiguo. La restauración implica que supone un arreglo que va más allá de la reparación y que, por lo tanto, necesita una metodología para volver a medir su calidad. Al mismo tiempo, la restauración implica un sistema menos intensivo con el producto que se esté tratando que la re-fabricación de un nuevo producto con los componentes de éste.
- Re-fabricar. Utilizar componentes de un producto que ha sido descartado en otro nuevo que va a cumplir el mismo fin. Esto significa recoger el producto, analizarlo, desmontarlo, reacondicionarlo y reemplazar en él las piezas y componentes necesarias. Tras este proceso, se ensamblará, se comprobará su nivel de calidad y se revenderá con etiqueta de seminuevo (WBCSD, 2018).
- Redefinir. Utilizar un producto que ya no es necesario, o alguno de sus componentes, en un producto nuevo que tenga una función distinta. A través de la innovación se le puede dar un nuevo valor a un componente, material o producto en desuso. No es necesario la redefinición de un producto entero, pues se pueden encontrar diversas estrategias para distintos componentes.

- Reciclar. Utilizar materiales de residuos para reprocesarlos y poder utilizarlos en la fabricación de nuevos productos o sustancias, que puedan tener la misma finalidad que en la de sus productos originales o no. Dentro de esto podemos incluir el procesamiento de materia orgánica, pero no yacerían bajo este término las operaciones de recuperación de energía ni los casos en el que el procesamiento de los materiales se usara como fósiles o para actividades de relleno.

Gran parte de la población cuando piensa en el concepto de economía circular, y más en general, en la sostenibilidad, la primera estrategia que se le viene a la cabeza es la del reciclado. Sin embargo, supone la última de las R, al no ser ni tan rentable ni sostenible como las anteriores 8. El reciclaje tiene toda una serie de retos, entre los que destacan la correcta separación de los materiales o la conservación de la pureza de éstos a lo largo de los ciclos por los que pasan (WEF, 2014). Y es por ello, que a pesar de ser lo primero en lo que pensemos cuando pensamos en los conceptos de sostenibilidad y economía circular, debería considerarse, más bien, como una última opción. Sin embargo, según se vaya asentando como estrategia, cabe esperar que estos obstáculos vayan quedando atrás. En cualquier caso, el reciclaje es de las estrategias circulares más afianzadas, que ofrece ejemplos a gran escala.

Existe una gran paradoja en el concepto de economía circular y es la disociación entre la aparente sencillez que muestran sus postulados y las dificultades objetivas que implica ponerlos en prácticas a todos los niveles, individual, nacional y global. La gran atracción de la economía circular se basa en el magnetismo de los análisis que se hacen sobre los principales problemas industriales, simples e intuitivos, y de las soluciones que se proponen para resolverlos. Resulta fácil atacar al modelo industrial actual, basado en el “*take-make-dispose*”, como insostenible, pero una simple ojeada a los informes que elaboran la *Ellen Macarthur Foundation* y el *World Economic Forum* es suficiente para darse cuenta de la complejidad implícita que supone dejar atrás este modelo. Estos mismos informes lo denominan una “trampa” de la que los consumidores y empresas tienen una salida difícil (WEF, 2014). Las R anteriormente explicadas parecen a priori acciones claras y directas, pero en realidad ponerlas en práctica a lo largo de los distintos ciclos que tienen la mayoría de productos implica una gran cooperación y solidaridad entre todos los grupos de interés, países e instituciones (WEF, 2014).

Hay dos palabras que subyacen a todo el planteamiento de la economía circular: valor e innovación. Este nuevo modelo extiende el valor de la mayoría de productos, y de sus materiales y componentes, más allá del nivel que el modelo industrial actual les impone. La gran inquietud de este sistema es conseguir evitar descartar algo que sea valioso, para a su vez evitar que nuestros actuales hábitos de consumo y descarte supongan un empobrecimiento real para toda la sociedad. Con este redescubrimiento del valor que pueden tener productos usados, la innovación juega un papel esencial para descubrir nuevas formas de insertarlo en el ciclo industrial. Este nuevo modelo invita a redescubrir el valor de un producto tras su primer ciclo de uso e invertir en innovación para salvaguardar todo el valor que dicho producto pueda aún llevar consigo (Muller & Fontrodona, 2021).

Todo este redescubrimiento e innovación no deben ser patrimonio exclusivo de los gobiernos y las compañías: los consumidores deben también dejar atrás su rol pasivo para potenciar una cultura más activa y colaborativa para apoyar la configuración de este nuevo modelo industrial sostenible.

## 2.2. Flujos de residuos

### 2.2.1. Residuos domésticos

#### 2.2.1.1. Biorresiduos

Los biorresiduos domésticos son aquellos residuos orgánicos biodegradables que tienen un origen vegetal o animal generados en el ámbito domiciliario y comercial. La fracción orgánica de los residuos tiene unas características bastante diferenciadas que afectan al diseño y al desarrollo de su separación en origen, recogida y tratamiento. No es una fracción uniforme, debido a su naturaleza, ni en su composición ni en su tipología. De los residuos de competencia municipal es el más inestable, por su alto contenido en agua (más del 70% del peso) y materia orgánica (hidratos de carbono, grasas, proteínas).

La fracción orgánica de los residuos municipales se ha de tratar mediante procesos biológicos, tanto de tipo anaerobio (digestión anaerobia) como aerobio (compostaje), con el objetivo de higienizarla, estabilizar la materia orgánica y sacar el máximo provecho de su potencial y el compost resultante. En dichos procesos biológicos una población

microbiana usará la materia orgánica como alimento para realizar sus procesos metabólicos, creando nuevos productos (EEA, 2020).

El compost es el material que se obtiene de la descomposición de la materia orgánica. Se trata de un material orgánico, higienizado, con un color oscuro y que huele como la tierra, que puede ser muy beneficioso para el suelo y las plantas.

#### 2.2.1.2. Envases ligeros

El envase se define como cualquier producto que ha sido fabricado con materiales de cualquier naturaleza y que se ha utilizado para contener, proteger y distribuir mercancías, desde materias primas hasta artículos terminados, en cualquier parte de la cadena de fabricación. Se consideran también envases todos los productos desechables usados con la misma finalidad. El residuo de envase es aquel del que se desprende su poseedor o del que tiene obligación de desprenderse de acuerdo a la normativa que esté vigente. Y dentro de este grupo, los envases ligeros son los envases que poseen como característica común una baja relación peso/volumen. Este concepto lo constituyen principalmente botes de plástico, plástico film, latas, brics y cartón para bebidas (Ecoembes, 2014).

Los residuos de envases ligeros del contenedor amarillo, por el hecho de estar compuestos por distintos materiales, necesitan ser sometidos a una separación en las instalaciones de triaje y clasificación de envases, antes de ser enviados a sus respectivos recicladores. En términos generales, los materiales separados son: metales (acero, aluminio), plásticos (PET), polietilenos de alta y baja densidad, y brics o cartón para bebidas. Los materiales no separados se mandan a instalaciones de incineración o a vertedero.

Existen dos tipos principales de proceso de reciclaje del plástico: mecánico, donde los residuos se trituran y funden para obtener gránulos, una nueva materia apta para utilizarla en aplicaciones de productos reciclados; y químico, donde se reduce a los plásticos a sus componentes químicos básicos (monómeros), que se puedan repolimerizar para volver a convertirlos en plásticos. La granza que se saca de los residuos de envases de plástico se utiliza para diversos fines, como pueden ser la fabricación de bolsas de plástico, mobiliario urbano o señalización.

En el caso del reciclaje de los metales (latas de acero o aluminio), son envases 100% reciclables mediante un proceso de fundición. Los envases de hojalata (acero cubierto por estaño) se desestañan para quitarles el estaño y el acero se vuelve a utilizar en la fabricación de este material. En el caso del aluminio, se selecciona y prensa directamente, y se funde para producir nuevos lingotes de aluminio. El reciclaje del aluminio devuelve un producto muy parecido al original, por lo que su nueva utilización es equivalente a los productos que se obtuvieron a partir del material virgen.

Para el reciclaje de cartón para bebidas, se puede implementar un aprovechamiento de todos los componentes juntos creando un aglomerado mediante la trituración, o un aprovechamiento de cada uno de los materiales por separado a través de una separación de los componentes. Los materiales obtenidos de los residuos de brics pueden tener los siguientes usos: el polietileno se puede utilizar como combustible y el cartón para la obtención de nuevos productos hechos con papel reciclado.

#### 2.2.1.3. Papel y cartón

El papel y el cartón se obtienen principalmente de fibra de celulosa virgen de especies vegetales o a partir de papel y cartón usados. En términos generales, los papeles y cartones se pueden dividir en cuatro grandes grupos:

- Papel/cartón para envases y embalajes. Este grupo es gestionado por el Sistema integrado colectivo de responsabilidad ampliada que gestiona Ecoembes, en el que los productores están obligados a financiar la recuperación de lo que producen una vez se convierten en residuos.
- Papeles gráficos. Aunque no formen parte del grupo anterior, la gestión se hace de manera conjunta.
- Papeles higiénicos y sanitarios (toallitas, pañuelos, papel de cocina).
- Papeles especiales (papel de seguridad, papel autoadhesivo).

El papel es un material totalmente reciclable. Se trata de un material que puede reutilizarse para la fabricación de papel nuevo. El papel y cartón usados se llevan a un

almacén recuperador, donde lo clasifican por tipos, se acondiciona, se enfarda y se manda a la fábrica de papel. Hoy en día se consigue un papel reciclado de buena calidad. En España, el papel recuperado representa más del 80% del total (ASPAPPEL, 2015).

#### 2.2.1.4. Vidrio

El término vidrio se usa normalmente para referirse a los vidrios de silicatos, unas sustancias que tienen una alta proporción de sílice y que suelen formar vidrios en condiciones de enfriamiento desde el estado fundido. Encontramos tres grupos de vidrio principales en base a los circuitos de recogida que tienen:

- Vidrio de envase no reutilizable. En este grupo los residuos se gestionan a través del Sistema integrado de gestión de responsabilidad ampliada que lidera Ecovidrio, teniendo los productores que financiar la recuperación de los vidrios que producen una vez se convierten en residuos.
- Vidrio de envase reutilizable (botellas de bebidas para refrescos, vinos, cervezas, aguas). En este grupo se dispone de Sistemas de Depósito Devolución y Retorno (SDDR) para las actividades de restauración y hostelería, habiendo también algunas actividades comerciales como bodegas o distribuidores de leche que ofrecen este tipo de envases a los consumidores.
- Vidrio no envase. En este caso la gestión se realiza por vías como los puntos limpios, recuperadores de vidrio o gestores de escombros de construcción y demolición.

El vidrio de envase reutilizable, una vez en los puntos de retorno, se lleva a una cadena de lavado y acondicionado, para a posteriori rellenarlo y reintroducirlo de nuevo en el mercado. Tras un número determinado de ciclos, estos envases van perdiendo algunas de sus cualidades estructurales y físicas, y es entonces cuando se pueden sacar del ciclo de reutilización y ser reciclados de la misma manera que el resto de elementos de vidrio.

El vidrio es un material totalmente reciclable y no tiene límite en cuánto al número de veces que se puede reprocesar. Además en el proceso de reciclaje no pierde ninguna de

sus propiedades. Para que el reciclaje sea adecuado es separado y clasificado según su tipología que normalmente suele estar asociada al color que éste tenga (Ecovidrio, 2019).

Tras la clasificación, se debe separar todo material ajeno, como pueden ser las tapas metálicas y las etiquetas. Acto seguido el vidrio se tritura para obtener un polvo grueso llamado calcín, que se somete a altas temperaturas mezclado con arena, caliza e hidróxido de sodio para fabricar productos con una propiedades casi idénticas con respecto al vidrio que se fabrica de forma directa con recursos naturales.

### 2.2.2. Aceites industriales

En la ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados se definen los aceites utilizados como todos los aceites minerales o sintéticos industriales o de lubricación que ya no sean aptos para el uso previsto originalmente como pueden ser por ejemplo los aceites utilizados de motores de combustión y los aceites de cajas de cambios, los aceites para turbinas, hidráulicos o lubricantes. En este residuo también existe la responsabilidad ampliada del productor, por lo que los fabricantes e importadores de aceites industriales deben asegurar y costear la gestión de los mismos (MITECO, 2020).

La regeneración de los aceites industriales utilizados consiste básicamente en una destilación de tipo fraccionada donde se obtienen bases regeneradas. Dichas bases son semejantes a las que se obtienen en el primer refinado del petróleo y se pueden usar como materia prima para producir nuevos aceites lubricantes, con lo cual colabora al ahorro de otros derivados del petróleo. Para poder utilizarlos como combustibles, los aceites que se han utilizado necesitan ser sometidos a procesos de filtrado, decantación y reducción del contenido acuoso que tengan para que sean aptos para valorización energética.

A parte de la mencionada obtención de bases regeneradas, en el proceso en el que se regeneran se pueden obtener, entre otros, productos bituminosos que se pueden utilizar en la fabricación de sustancias asfálticas.

### 2.2.3. Aparatos eléctricos y electrónicos

Estos aparatos se definen como aquellos que para funcionar correctamente requieren corriente eléctrica o campos de tipo electromagnético, y todos los aparatos que se necesitan para generar, transmitir y medir dichas corrientes y campos, y que están pensados para ser usados con una tensión nominal que no sea superior a 1000 V en corriente alterna y 1500 V en corriente continua. Estos aparatos contienen en muchas ocasiones sustancias peligrosas, que a pesar de que son necesarias para su funcionamiento, se pueden emitir al medio ambiente o ser perjudiciales para la salud de los ciudadanos si, tras convertirse en residuos, los aparatos no se gestionen adecuadamente.

De conformidad con la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, el Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, acerca de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos elabora una jerarquía de residuos por orden de prioridad: prevención en la generación; preparación para la reutilización; reciclado; valoración; reciclado; valoración; eliminación.

#### 2.2.4. Residuos de construcción y demolición

Dentro de esta terminología entran aquellos que se generen en la construcción, reforma o demolición de un bien inmueble o en la realización de trabajos que varíen la forma o sustancia del terreno o subsuelo. En términos generales, el 60-70% de la composición de este tipo de residuos son materiales minerales como pueden ser tierras, hormigón o ladrillos. La mayoría son residuos no peligrosos cuyo aprovechamiento no debe presentar problemas sino que puede colaborar con la reducción del consumo de recursos minerales de tipo natural.

El poder aprovechar estos residuos depende en gran medida de que conformen un flujo con la suficiente pureza y no contaminado por sustancias peligrosas, para que las operaciones de reciclaje sean económicamente viables y ambientalmente seguras. En obra se pueden llegar a generar una serie de residuos peligrosos que se deben recoger y tratar de forma separada enviándolos a gestores autorizados.

Gracias a lo que se ha progresado en la gestión de estos residuos, cada vez son más las aplicaciones que tienen los productos que se obtienen del reciclaje de estos residuos y la posibilidad de que el sector constructor utilice materiales que provienen de otros sectores. Con el objetivo de divulgar estas aplicaciones, se ha elaborado un Catálogo de Residuos Utilizables en Construcción.

#### 2.2.5. Residuos sanitarios

Incluye a todos los residuos generados en centros sanitarios o veterinarios, incluyendo los envases, que los contengan o que los hayan contenido en algún momento. Casi todas las Comunidades Autónomas han desarrollado una normativa especializada en materia de gestión de residuos sanitarios. Analizando la normativa, se pueden establecer de forma genérica, los siguientes tipos:

- Residuos domésticos. Provenientes de los centros sanitarios y similares a los generados como consecuencia de la actividad doméstica.
- Residuos biosanitarios asimilables a urbanos. Propios de la actividad sanitaria pero que no tienen asociado un riesgo de infección (vendajes, gasas, guantes).
- Residuos químicos.
- Residuos radioactivos.
- Residuos biosanitarios que deben ser gestionados de una manera diferenciada por su riesgo de infección.

#### 2.3. Tecnologías Waste-to-Energy (WtE)

Incluso con reciclaje intensivo, siempre hay residuos restantes que no tienen ningún valor material o de mercado. Este residuo restante con un cierto poder calorífico puede utilizarse para recuperar energía y sustituir el uso de combustibles fósiles. Las diferentes tecnologías que se utilizan para generar dicha energía reciben el nombre de WtE. Es importante tener en consideración que los proyectos de WtE no deberían competir con medidas para la reducción de la generación de residuos y para la reutilización y el reciclaje de materiales. WtE son tecnologías complementarias para el tratamiento de la fracción de residuos sólidos no reciclable (Hengevoss, Hugi, & Mutz).

En la figura 1 se muestra un diagrama explicativo de las distintas tecnologías WtE y su lugar en la cadena de tratamiento de residuos.

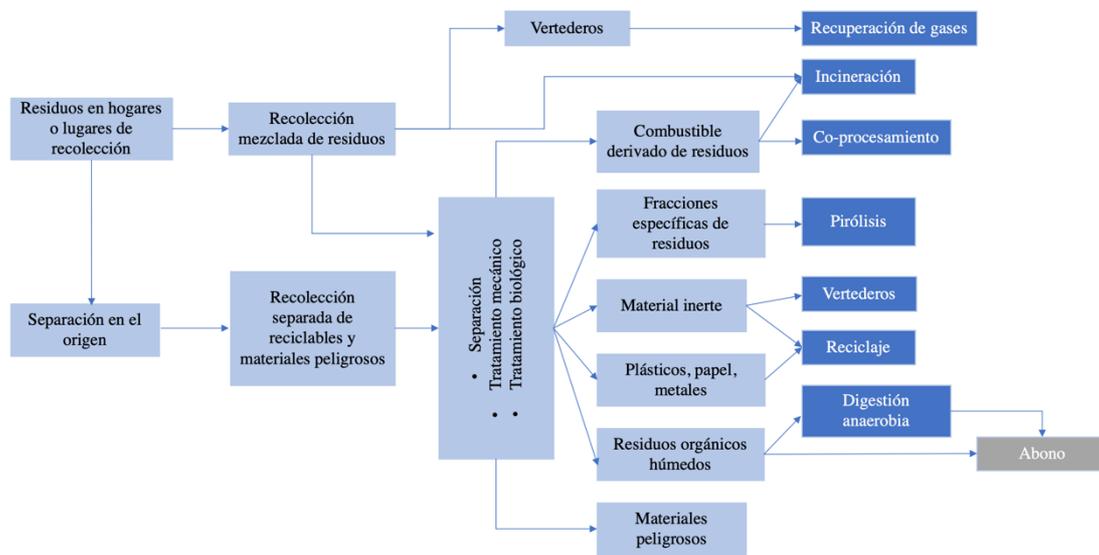


Figura 1: Tecnologías WtE

Fuente: Elaboración propia a través de la literatura

### 2.3.1. Incineración

La incineración es la quema de residuos de manera controlada en unas instalaciones construidas para dicho fin. El principal objetivo de este método es la reducción de la masa y volumen de los residuos, así como hacerlos químicamente inertes en un proceso de combustión sin la necesidad de combustibles adicionales (combustión auto térmica). Como efecto colateral, permite la recuperación de energía, minerales y metales del flujo de residuos.

Durante la incineración, se crean unos gases de escape que, tras ser filtrados, son expulsados a la atmósfera a través de una chimenea. Estos gases de escape contienen la mayoría de la energía disponible como calor, así como polvo y gases contaminantes que deben ser retirados a través de un proceso de purificación. Dicho calor puede utilizarse para la generación de vapor para la generación de electricidad, el calentamiento o enfriamiento de viviendas o proveer de vapor a industrias cercanas. Las plantas que utilizan la cogeneración de energía calorífica junto con la generación de electricidad pueden llegar a alcanzar eficiencias del 80%, mientras que la generación de electricidad por sí sola sólo las alcanza en el entorno del 20% (Hengevoss, Hugi, & Mutz).

La incineración está diseñada para tratar típicamente con residuos domésticos mezclados y no tratados, así como con ciertos residuos comerciales e industriales. Un parámetro clave es el contenido de energía de los residuos, medido con el llamado poder calorífico inferior (PCI) en MJ/kg. Para asegurar una combustión auto térmica, el PCI no debe estar por debajo de los 7 MJ/kg (Aldás, López, & Moya, 2017).

Un objetivo de la incineración es contribuir a la reducción del impacto medioambiental que surgiría si en vez de incinerar los residuos, éstos se depositaran en vertederos o se quemaran en campo abierto sin control. La reducción del volumen de residuos a través de la incineración ayuda a ahorrar valioso espacio de vertederos y a proteger el medio ambiente. Una fracción de la energía recuperada se puede considerar neutral en términos de emisiones, gracias al contenido de biomasa en los residuos. Sin embargo, las instalaciones de incineración generan gran cantidad de gases que deben ser tratados, incluso cuando la incineración se ha llevado a cabo en unas condiciones de combustión óptimas. Para evitar riesgos irreversibles para la salud para las poblaciones locales y para el medio ambiente, cumplir con los estándares de emisiones internacionales es esencial y una continua monitorización de las emisiones debe estar garantizada (Boldrin, Tonini, & Turconi).

La incineración requiere una inversión inicial considerable que debe ser respaldada por una planificación financiera en el largo plazo y por una serie de recursos para asegurar su continuidad de las operaciones y su mantenimiento. Para el cálculo neto de costes, cualquier ingreso por la venta de energía o materiales se puede restar a la inversión inicial y los costes de operación anualizados para obtener un coste total por tonelada de residuo basado en la cantidad de residuo anual tratada. En la figura 2 se puede ver una estimación con una capacidad para tratar 150,000 toneladas métricas de residuo anuales (Hengevoss, Hugi, & Mutz).

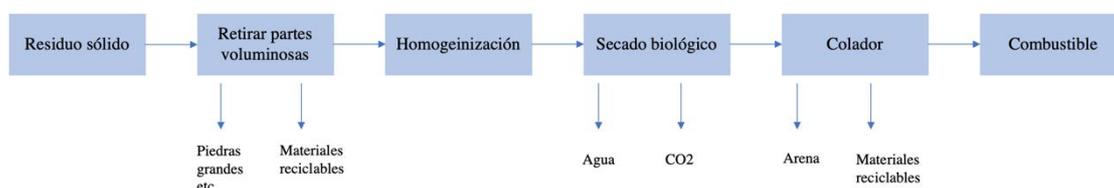
Capacidad de incineración: 150,000 t/a	Inversión inicial	Costes de capital por tonelada	Costes operativos por tonelada	Coste total por tonelada	Ventas por energía por tonelada	Coste a cubrir por tonelada
<b>Unión Europea (técnica avanzada)</b>	135-185 millones €	80-115 EUR/t	180 EUR/t	260-295 EUR/t	60 EUR/t (térmica y eléctrica) 27 EUR/t (eléctrica)	200-235 EUR/t
<b>Países en vías de desarrollo (técnica básica)</b>	30-75 millones €	22-55 EUR/t	20-35 EUR/t	42-90 EUR/t	2-10 EUR/t (eléctrica)	40-80 EUR/t

*Figura 2: Estimación de costes de la incineración en la UE vs países emergentes*

*Fuente: Elaboración propia a través de la literatura*

### 2.3.2. Co-procesamiento

El co-procesamiento es el uso de residuos para reemplazar recursos naturales y combustibles fósiles tradicionales en procesos industriales. Es una tecnología aplicada mundialmente sobre todo en la industria del cemento y en centrales térmicas; en algunos casos también es aplicado en las industrias del acero y la cal. Requiere de unos flujos de residuos relativamente homogéneos con unas características definidas para asegurar una combustión controlada. En la figura 3 se puede observar el proceso al que son sometidos los residuos para convertirlos en combustible aprovechable. La sustitución de combustibles primarios por este tipo de combustible representa una recuperación energética considerablemente mayor a la de otras tecnologías WtE, pudiendo alcanzar desde el 85% al 95% dependiendo en las características de los residuos (Hengevoss, Hugi, & Mutz).



*Figura 3: Co-procesamiento*

*Fuente: Elaboración propia a través de la literatura*

La adecuación de los residuos a este tipo de tecnología depende de las características y del tipo de industria en el que se utilice. El combustible derivado de residuos suele utilizar la fracción de residuos con mayor poder calorífico de los residuos sólidos municipales, comerciales o industriales. Un contenido alto de cloro o mercurio en los residuos podría causar complicaciones operacionales y medioambientales. Y es por ello que por ejemplo, los plásticos PVC no se pueden utilizar para co-procesamiento. Un poder calorífico de entorno a 10-15 MJ/kg es lo recomendable para este proceso (EU, 2003).

El principal objetivo de una planta cementera que invierte en co-procesamiento es reducir el uso de combustible y el coste de las materias primas. Lo cual implica que la decisión

de inversión dependa de la volatilidad de los precios de mercado del carbón, el petróleo, el gas natural y las materias primas; o de incentivos económicos. Cuanto más altos sean los precios de estos combustibles o de las materias primas, más atractiva será la inversión en esta tecnología (Hengevoss, Hugi, & Mutz).

El co-procesamiento es una tecnología que tiene ya una aceptación extendida en el mundo empresarial y regulatorio. Aunque su aplicación a día de hoy está focalizada en residuos industriales y peligrosos con un alto poder calorífico, existen ya varios ejemplos de éxito utilizando la fracción no reciclable de los residuos sólidos municipales. Un factor limitante es el transporte de los residuos desde la municipalidad a las plantas cementeras. Las distancias por encima de los 200 kilómetros vuelven el proceso ecológica y financieramente poco atractivo (Hengevoss, Hugi, & Mutz).

### 2.3.3. Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es la descomposición de materia orgánica a través de microorganismos en ausencia de oxígeno. Ocurre de forma natural en situaciones donde hay pobreza de oxígeno como pueden ser sedimentos lacustres y puede ser utilizada para la producción de biogás en condiciones controladas. Y para dicho fin, se utiliza un reactor hermético, llamado digestor anaeróbico, que proporciona unas condiciones favorables para que los microorganismos conviertan la materia orgánica en biogás y en un compuesto líquido-sólido llamado digestato. El biogás es una mezcla de diferentes gases que pueden ser convertidos en energía termal o eléctrica. El gas inflamable metano ( $\text{CH}_4$ ) es el mayor transportador de energía en el biogás y su contenido está entre el 50% y el 75% dependiendo de la materia orgánica y de las condiciones de operación (Baxter, Murphy, & Wellinger, 2013). Debido a su bajo contenido en metano, el valor calorífico del biogás es aproximadamente dos tercios del gas natural.

El biogás puede ser utilizado directamente para la producción de calor o convertido en calor y electricidad utilizando un ciclo combinado de calor y energía. En este último caso tras una desulfuración y secado. Otra opción es convertir el biogás en bio-metano con un contenido de metano de aproximadamente el 98%, que puede ser utilizado como sustituto del gas natural (Baxter, Murphy, & Wellinger, 2013).

La digestión anaerobia sólo sirve para el procesamiento de materia orgánica como puede ser la biomasa. La inclusión de materia inorgánica o peligrosa es indeseable en el proceso pues puede obstruir la operación y contener la degradación microbiana.

Los residuos orgánicos municipales se pueden considerar una fuente aceptable para la alimentación de una planta de digestión anaerobia. La co-digestión de estos residuos con residuos agrícolas, de plantas de tratamiento de aguas o residuos orgánicos industriales o comerciales, permiten aumentar la disponibilidad de alimentación de esta tecnología, y por ende, su viabilidad financiera. El uso de bio-residuos de hogares es más sofisticada que el uso de otros tipos de materia orgánica sacada del sector agrícola, industrial, comercial o ganadero (Fachbervand, 2016). Esto se debe a las fluctuaciones en la composición de la materia orgánica a lo largo del año y por la posibilidad de altas tasas de impurezas. Lo que se puede extraer energéticamente de la digestión anaerobia varía considerablemente entre distintos tipos de materia orgánica.

La conversión de residuos orgánicos en biogás se puede asociar con una serie de beneficios medioambientales. El biogás normalmente reemplaza otra forma de energía, en muchos casos combustibles fósiles o madera. De esta manera, se estaría contribuyendo tanto a una reducción de los gases de efecto invernadero como a la tala de bosques. A su vez, el digestato obtenido puede ser utilizado como un fertilizante orgánico en sustitución de fertilizantes minerales que requieren de elevada energía para su producción (Hengevoss, Hugli, & Mutz).

Los ingresos en esta tecnología dependen mucho de la calidad de la materia orgánica. Que la materia esté contaminada de sustancias inorgánicas aumenta los costes de separación y disminuye los beneficios potenciales de los residuos del proceso que podrían ser utilizados como fertilizantes agrícolas. El uso directo del biogás requiere de algunas inversiones iniciales adicionales. Con inversión añadida, el biogás se puede transformar en bio-metano o convertido en calor o energía (Pery & Whyte, 2001).

Queda claro pues que los beneficios derivados de la digestión anaerobia son el biogás como fuente de energía y el digestato como fertilizante. Los beneficios de la producción de biogás dependen principalmente del precio de la energía a la que reemplazan. Mientras que la posibilidad de usar el digestato como fertilizante depende de su valor monetario,

su calidad, y las necesidades de los agricultores locales o regionales (Hengevoss, Hugi, & Mutz).

Las prácticas actuales de gestión de residuos, sobre todo la fallida separación en la recolección, obstaculizan los beneficios y la estabilidad en la operación de esta tecnología. Considerada una solución de poca complejidad tecnológica, los requerimientos en términos de operación y de fuerza laboral son a veces minusvalorados, llevando a fallos en la operación, producciones de biogás menores a las esperadas y menor calidad de los fertilizantes para usos agrícolas. Por último, los ingresos financieros del biogás (electricidad, biogás o bio-metano) y la producción de digestato suelen ser inferiores a los costes de producción cuando los costes de inversión son tenidos en cuenta, especialmente si no se tiene en cuenta la existencia de una tarifa especial de abastecimiento por la electricidad o el biogás vendido a la red eléctrica o de gas natural. Incluida en una planificación de la gestión de residuos integral, que debería incluir la segregación de los residuos en el origen, esta tecnología puede complementar otras tecnologías y prácticas de gestión de residuos (Hengevoss, Hugi, & Mutz).

#### 2.3.4. Captura de gases de vertedero

La captura de gases de vertedero representa un tipo distinto de tecnología WtE a las tres explicadas anteriormente. Es en esencia una manera de mitigar parcialmente las negativas consecuencias climáticas que tiene la operación de vertederos sanitarios. A pesar de que los vertederos sanitarios son una mejora con respecto al vertido de residuos abierto y sin control, éstos también tienen impactos climáticos negativos en el largo plazo debido a la emisión de metano que tiene un alto potencial de aportación al calentamiento global. Entre otros efectos se encuentra la pérdida de recursos valiosos en el entorno de estos vertederos así como la presencia de compuestos tóxicos y malolientes. El metano que se forma en estos vertederos viene de la digestión anaerobia producida en la materia orgánica del vertedero, que actúa como un enorme biorreactor. Por lo tanto, la captura de este gas metano es esencial para la reducción de los gases de efecto invernadero.

Existen varias tecnologías de captura y se pueden añadir a vertederos sanitarios en operación o cerrados. Todas estas tecnologías capturan los gases de residuos evitando a su misma vez la intrusión de agua y aire al sistema. Un análisis de generación de gases

de vertedero en Tailandia mostró que se generaban de 2 a 5 veces más gases en las estaciones húmedas que en las secas (Chiemchaisri & Gheewala, 2006). Para capturar los gases, se insertan unas tuberías dentro de los residuos. Estas tuberías se pueden instalar vertical u horizontalmente. El gas entra en dichas tuberías y se transfiere a un sistema de purificación de gas, con el objetivo principal de retirar el sulfuro de hidrógeno. Tras limpiarlo, el gas ya se puede utilizar para generar electricidad.

Esta tecnología no es la razón principal para instalar un vertedero sanitario, pero la captura de sus gases debería ser considerado como un producto que venga adjunto a su instalación. Es bien sabido que este tipo de vertederos tienen importantes impactos climáticos como son los anteriormente mencionados. De esta manera la captura de gases de vertedero no se debería tomar como una tecnología primaria dentro de las tecnologías WtE, pero sí como un requisito indispensable para aquellas ciudades que operan vertederos de este tipo porque carecen de otras opciones. La recolección de estos gases es vista más como una oportunidad para vertederos existentes que para nuevos proyectos de tecnologías WtE (Hengevoss, Hugi, & Mutz).

### **3. ANÁLISIS Y RESULTADOS**

#### **3.1. Generación, tipología y tratamiento de los residuos municipales a nivel global**

La generación de residuos es una consecuencia natural de la urbanización, el desarrollo económico y el crecimiento de la población. Con el paso de los años, las naciones y ciudades han ido experimentando importantes crecimientos de población y prosperidad, que les han llevado a tener que enfrentarse a importantes niveles de residuos que han tenido que gestionar y de los que se han tenido que deshacer.

En los últimos años, la producción de residuos ha crecido de acuerdo a las proyecciones que se habían hecho, y la cantidad de información y datos han aumentado sustancialmente. En 2030, se espera que el mundo genere 2600 millones de toneladas al año. Siendo en 2050 la cifra esperada de 3400 millones (Bhada-Tata, Kaza, & Van Woerden, 2018). En la figura 4 se puede ver un desglose de la generación de residuos esperada según el nivel de ingresos de los países. La información proviene de un informe del Banco Mundial, donde se basa el cálculo de la proyección en dos factores principales: el crecimiento del PIB y de la población. Con el crecimiento económico de un país, su generación de residuos per cápita aumenta. Los países con un alto nivel de ingresos tienen una predicción de crecimiento de la generación de residuos menor, debido a que ya han alcanzado un punto en su desarrollo económico en el cual el consumo de materiales no está tan ligado al crecimiento económico del país.

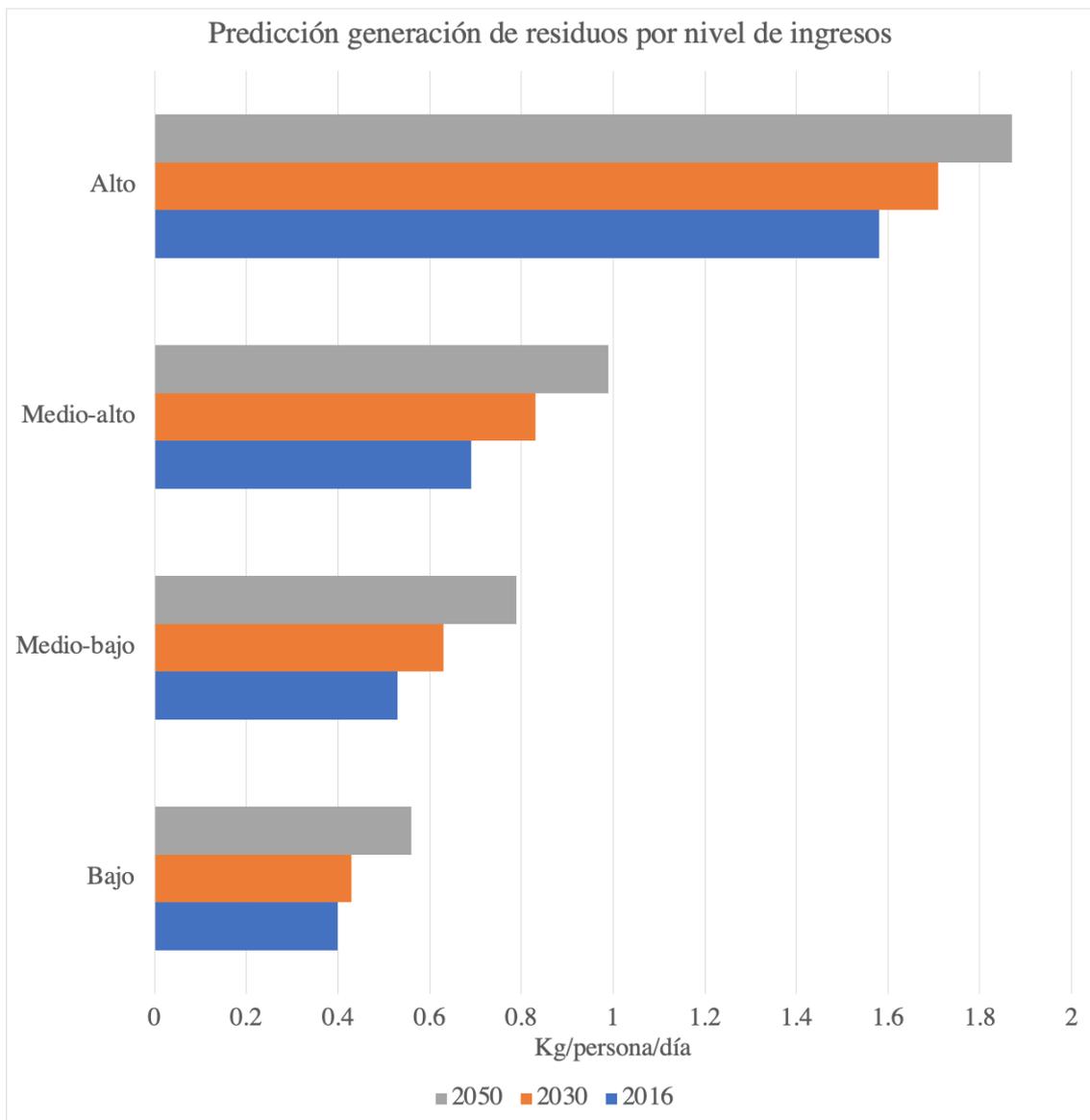


Figura 4: Generación de residuos por nivel de ingresos de un país

Fuente: Elaboración propia a través de la literatura

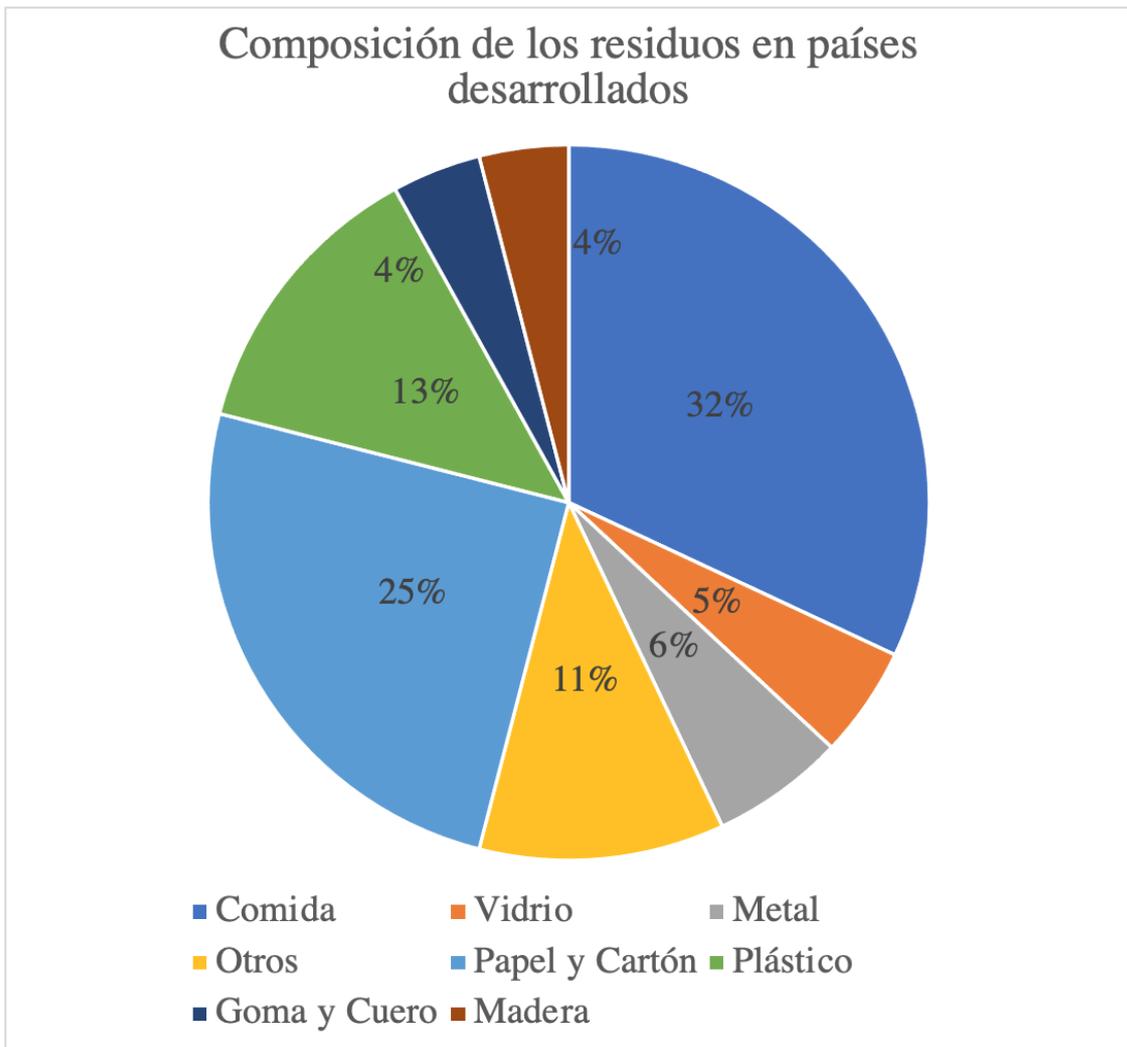
La composición de residuos se suele determinar mediante una auditoría estándar de los residuos, en la que muestras de los desechos se toman, se clasifican en las distintas categorías y se pesan. A nivel global, la mayor categoría es la de comida y materia verde, componiendo un 44% del total de los residuos (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012). La composición de los residuos varía considerablemente según el nivel de ingresos de los países. El porcentaje de materia orgánica en los residuos tiene una correlación inversa con el nivel económico de un país. Los bienes de consumo en países con mayores ingresos incluyen más materiales como el papel o el plástico. La granularidad de la información, como puede ser la contabilización detallada de residuos madereros o de caucho, también

aumentan con el nivel económico de una nación. En la figura 5 se puede ver la composición global de los residuos, mientras que en la figura 6, se puede observar exclusivamente la de los países desarrollados, donde se las notables diferencias entre ambos.



Figura 5: Composición global de los residuos

Fuente: Elaboración propia a través de la literatura



*Figura 6: Composición de los residuos en países desarrollados*

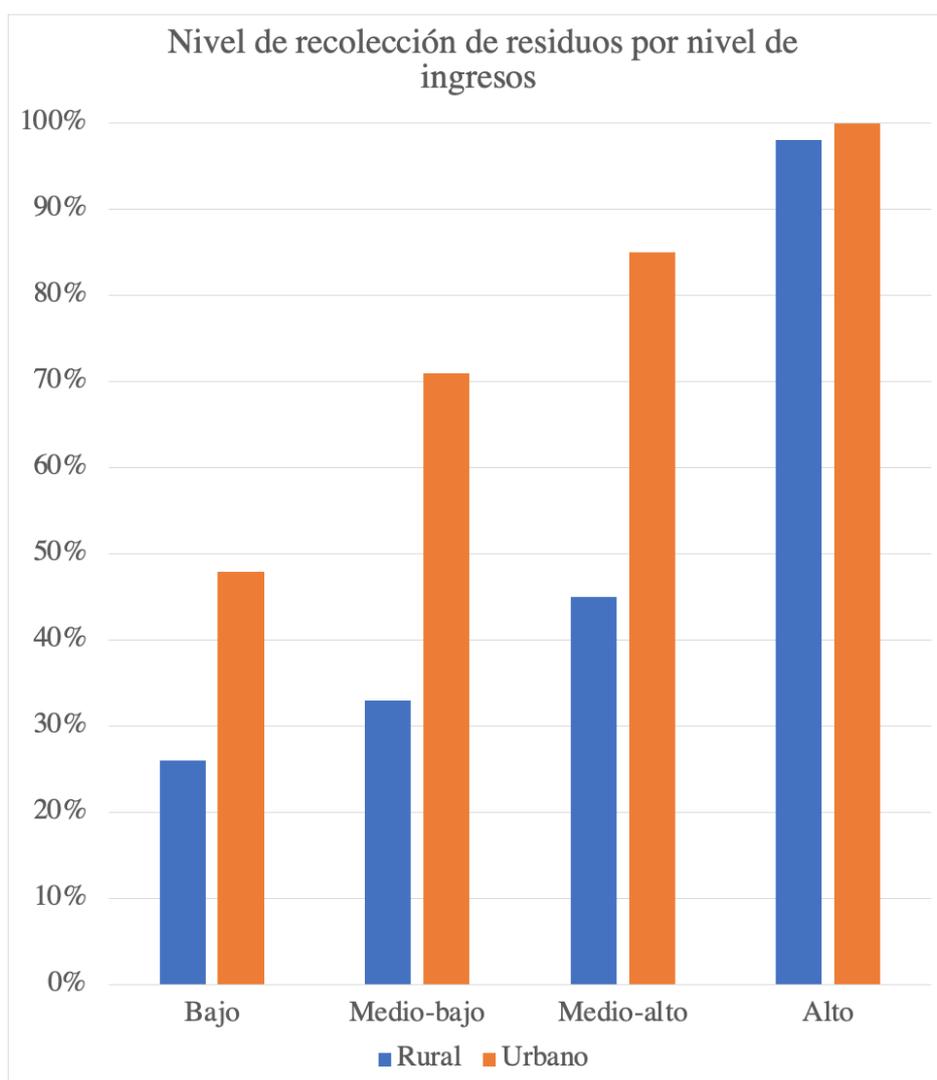
*Fuente: Elaboración propia a través de la literatura*

La recolección de residuos es uno de los servicios más comunes a nivel municipal. La manera más común de recolectar los residuos es con un sistema de puerta a puerta. En este modelo, los vehículos o camiones, recogen la basura en las puertas de las casas con una determinada frecuencia. También hay localidades en las que las comunidades depositan sus residuos en contenedores centrales o puntos de recogida donde serán recogidos por la municipalidad y transportados a los sitios finales de desecho.

Los ratios de recogida en los países desarrollados son cercanos al cien por ciento. En los países pobres los residuos no recogidos son gestionados por las propias casas, que muchas veces los llevan a vertederos a cielo abierto o queman las basuras. La mejora de los

servicios de recogida es fundamental en reducir la contaminación y, por lo tanto, mejorar la salud de los humanos así como para reducir posible problemas de congestión de tráfico.

Los ratios de recolección suelen ser sustancialmente mayores en los núcleos urbanos en comparación con los entornos rurales, al ser la gestión de residuos normalmente un servicio urbano (Lee, Farouk, & Renee, 2014). En la figura 7 se pueden observar los niveles de recolección en entornos urbanos y rurales según el nivel de ingresos del país.



*Figura 7: Niveles de recolección de residuos por nivel de ingresos*

*Fuente: Elaboración propia a través de la literatura*

A nivel global, casi un 40% de los residuos se lleva a vertederos. En torno a un 19% es llevado a procesos de recuperación de materiales, y un 11% es sometido a incineración. A pesar de que todavía un 33% de los residuos se trasladan a vertederos a cielo abierto,

los gobiernos son cada vez más conscientes de los riesgos y costes medioambientales que esto tiene y buscan métodos de tratamiento de residuos más sostenibles. En la figura 8 se puede observar la distribución de los métodos utilizados a nivel global, mientras que en la figura 9 se puede observar esa misma distribución pero para el caso de países desarrollados, pudiéndose observar la notable diferencia entre ambos, que muestra las grandes diferencias que existen entre los países pobres y los países avanzados en el mundo en este respecto.

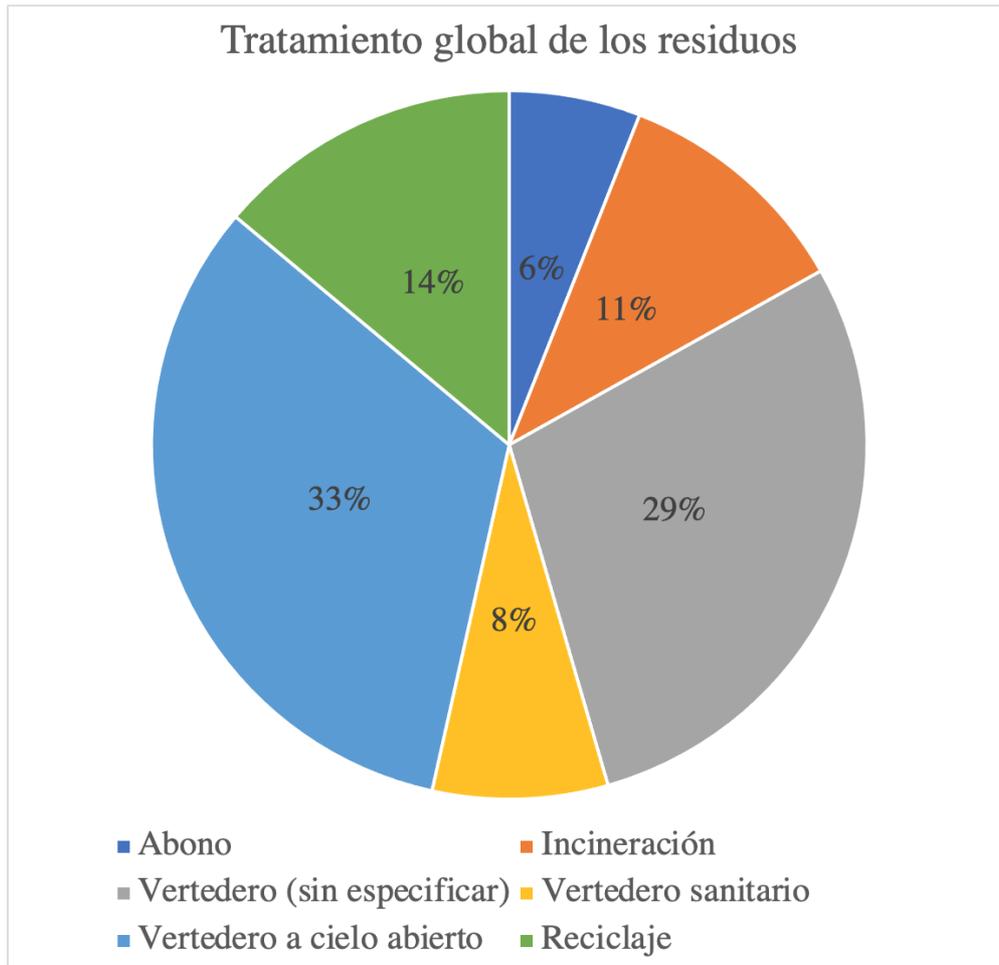
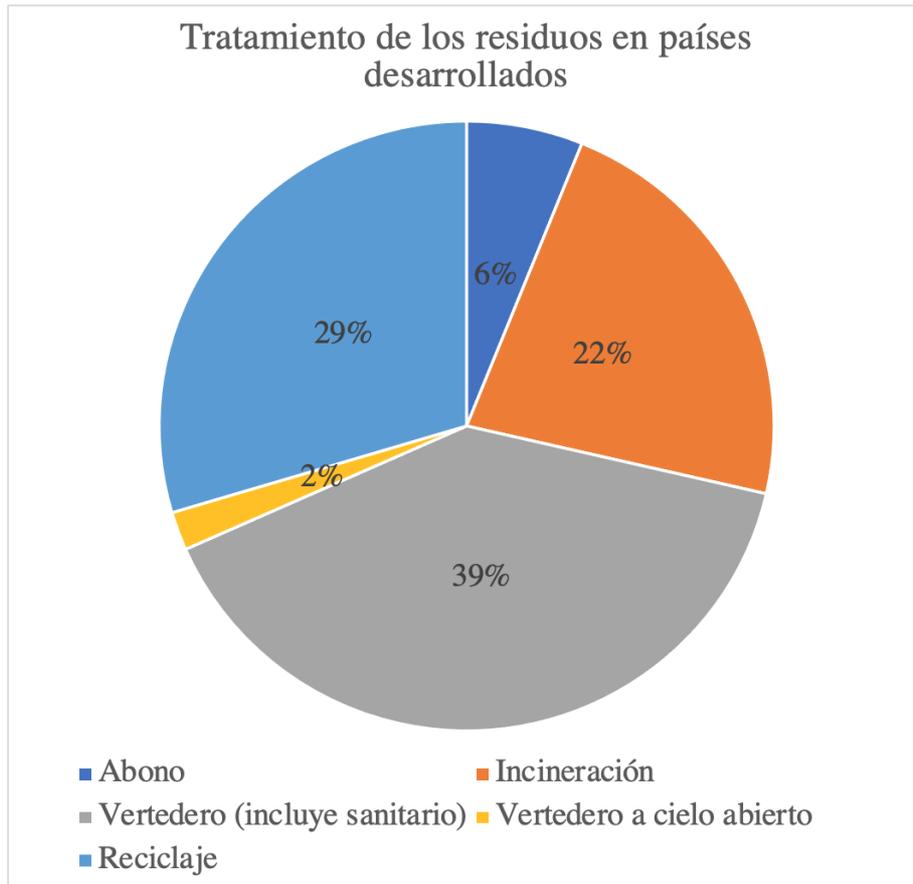


Figura 8: Tratamiento global de los residuos

Fuente: Elaboración propia a través de la literatura



*Figura 9: Tratamiento de los residuos en países desarrollados*

*Fuente: Elaboración propia a través de la literatura*

### 3.2. Situación del residuo en Europa y su comparativa con España

Según las estadísticas publicadas por Eurostat sobre la gestión de residuos municipales en Europa correspondientes al periodo 1995-2018, la tendencia ha sido positiva, con un descenso claro de los residuos enviados a vertedero y un aumento de formas alternativas para la gestión de los residuos. Sin embargo, como se puede ver en la figura 10 los datos de España no son buenos ya que se calcula que se envía al vertedero más del 50% de los residuos municipales y sólo se recicla el 33%, ambas tasas claramente por debajo de la media de la Unión Europea. Países como Alemania, Austria y Países Bajos no mandan prácticamente residuos a los vertederos. A pesar de que las incineradoras contaminan, son una mejor solución que el vertedero para las categorías de residuo peligroso y no peligroso. El país germano propone la incineración con recuperación energética como la opción mejor para las basuras domésticas. La única partida de las que se pueden observar en la figura en la que España no sale mal parada es en la generación de residuos per cápita, con 475 kilogramos, 14 menos que la media de la UE. Sin embargo, esta variable suele

tener una correlación importante con el desarrollo económico de los países, por lo que en ese sentido no sería un punto tan positivo.

	Residuos municipales generados per cápita (kg)	Tasa de reciclaje y compostaje	Tasa de disposición en vertederos
Alemania	615	68%	1%
Austria	579	58%	2%
Países Bajos	511	54%	1%
Luxemburgo	610	48%	7%
Italia	499	48%	26%
UE-28	489	46%	24%
Dinamarca	766	46%	1%
Francia	527	43%	22%
Irlanda	567	41%	26%
Finlandia	551	41%	1%
España	475	33%	54%
Portugal	508	28%	50%
Chipre	640	16%	82%
Malta	640	6%	93%

Figura 10: Gestión de los residuos municipales en Europa

Fuente: Elaboración propia a través de la literatura

### 3.2.1. El ejemplar caso de Suiza

Hace ya muchos años que Suiza se estableció como uno de los modelos a seguir en temas de gestión de residuos. Y a pesar de ser uno de los países que más residuos genera, nada acaba en el vertedero. Datos de 2018 de Eurostat muestran que el 55% de los residuos se reciclan, el 16% se compostan y el 29% restante se incinera (con aprovechamiento energético). Dos de sus medidas han sido claves en la consecución de estos resultados: Gran presencia de contenedores, especialmente en zonas transitadas; y por otro lado, a través de la ley, con sanciones para el que tira basura que no es reciclable, y con la eliminación de los impuestos que antes existían por reciclaje.

En basura reciclable llegan hasta el 90% de reciclaje de papel, aluminio y vidrio. Esta tasa es del 80% en botellas de plástico y del 72% en baterías y pilas. Además, no sólo gestionan su basura, también la de países vecinos, que utilizan para producir energía. Esto tiene su explicación en el hecho de que los suizos inauguraron modernas plantas para el procesamiento de residuos, convirtiéndose en víctimas de su propio reciclaje, al no generar suficiente basura para quemar en estas plantas de procesamiento.

### 3.3. Huella ecológica y situación actual del residuo en España

La huella ecológica de un país es un parámetro que mide la sostenibilidad ambiental que trata de explicar el conjunto de impactos que se producen sobre el medio ambiente midiéndolo en la superficie que haría falta para la producción de los recursos que se consumen en dicho país y la absorción de los residuos que se generen. La *Global Footprint Network* indica que la huella ecológica de España por habitante en el año 2016 (último año disponible fue de 4 hectáreas globales). Esto coloca a España en el puesto 58 a nivel global en la clasificación de huella ecológica por habitante. En cuanto a huella ecológica global, nuestro país se encuentra en la posición 20.

Por otro lado, la biocapacidad es la superficie productiva que hay disponible en una nación. Si la huella ecológica, explicada como demanda de recursos naturales, excediera la biocapacidad, se estaría incurriendo en un déficit ecológico, que significa que un país toma del medio más recursos de los que tiene disponibles. Lo cual significa a su misma vez que dicho país se encontraría en una situación de desarrollo no sostenible. La huella ecológica por persona en España es 2,6 gha veces mayor que su biocapacidad por persona. Con lo cual, España necesitaría 2,6 veces más superficie de la que tiene disponible para mantener el nivel de vida y población que tiene a día de hoy.

En comparación con algunos países de nuestro entorno, España no tiene una alta riqueza en recursos naturales aprovechables, resultando en una biocapacidad relativamente baja. Esto obliga a nuestro país a hacer un esfuerzo extra en incentivar medidas dirigidas a potenciar la eficiencia en el consumo de materias primas y de la energía.

De los últimos datos recogidos por Eurostat<sup>1</sup> se puede extraer que durante el año 2016, en la Unión Europea se generaron 2.537 millones de toneladas de residuos, incluyendo esto los residuos secundarios<sup>2</sup>. De todos los residuos tratados, que fueron 2.310 millones de toneladas, se destinaron a reciclaje 873 millones, lo que supone un 37,8%. En las tasas de reciclado se pueden encontrar muy notables diferencias entre los distintos países comunitarios, pues las tasas de reciclaje varían desde el 5% al 65%.

Según la misma fuente estadística, en España se generaron 129 millones de toneladas incluyendo los residuos secundarios, que supone un 5% del total comunitario. De los 107 millones de residuos que fueron tratados, 40 millones se destinaron al reciclaje, 6 a operaciones de rellano, 57 al vertido y 14 a la incineración (Eurostat, Serie de datos sobre Treatment of waste by waste category, hazardousness and waste management operations.). Por lo tanto, en el último año en el que Eurostat ha recabado los datos, en España se reciclaron el 37% de los residuos, que es una tasa muy cercana a la media europea del 38%. Todo esto muestra que tanto en España como a nivel comunitario hay mucho margen de mejora en el aprovechamiento de los recursos. Estos datos suponen una importante vulnerabilidad para la UE, pues la competencia mundial por los recursos naturales es cada vez más alta.

### 3.3.1. Generación y composición de los residuos municipales

En la definición del residuo municipal se incluyen los residuos domésticos y los comerciales similares, tanto los que se gestionan por vía pública como privada. Es por ello que para obtener una representación completa de la generación y la composición de los residuos municipales tendremos en cuenta ambas vías de gestión.

---

<sup>1</sup> Eurostat, Serie de datos sobre *Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity and household*.

<sup>2</sup> De conformidad con el Reglamento (CE) n.º 2150/2002 con respecto a las estadísticas sobre residuos, los datos de residuos generados que muestra Eurostat también incluyen los definidos como “residuos secundarios”, que son aquellos residuos que resultan del tratamiento intermedio de los residuos. Y es por ello que en las estadísticas comunitarias, el total de residuos generados no es el mismo el total de residuos tratados, puesto que en el total de residuos generados se produce una doble contabilidad.

Atendiendo a los datos del estudio realizado por la Fundación para la Economía Circular sobre gestión de residuos, los residuos municipales en España tienen la siguiente procedencia:

- En torno al 52% se genera en los domicilios. Tienen una gestión municipal.
- Un 9% proviene de espacios públicos generada por la limpieza viaria, la poda, la jardinería, entre otros servicios. Gestión municipal.
- Algo más del 20% proviene de pequeños generadores (pequeños comercios, HORECA...). La gestión es también municipal principalmente.
- El 19% que resta pertenece a grandes generadores. En este caso suele existir una gestión privada para las fracciones destinadas al reciclado.

La cantidad de residuos municipales, de gestión pública, supera por poco los 20 millones de toneladas. Sin embargo, en pos de obtener una representación completa de los residuos municipales, se deben añadir los residuos comerciales y de servicios, que tengan una naturaleza semejante a los residuos de origen domiciliario, que tengan una gestión privada (FEC, 2014). De forma mayoritaria, los residuos de origen comercial que se gestionan de forma privada son los que se destinan a reciclado (cartón, metal, vidrio, madera, plástico), mientras que la fracción denominada resto y la fracción orgánica que proviene de comercios y servicios, son tratados normalmente en plantas que tienen titularidad pública.

En la figura 11, la composición de los residuos municipales en España se encuentra detallada, teniendo en cuenta tanto la gestión pública como la privada (FEC, Proyecto multiparticipante. Diagnóstico y escenarios de cumplimiento de los objetivos de residuos municipales 2025-2030-2035., 2020). Resaltar aquí que a día de hoy no existe un registro oficial en el que estén recogidas las cantidades totales de residuos que tienen una gestión privada, por lo que los datos sacados del informe de la Fundación para la Economía Circular, son una aproximación.

Materia orgánica	31.51%
Papel-cartón	20.91%
Plásticos	8.50%
Metales	1.94%
Textil	4.59%
Vidrio	6.93%
Celulosas	4.41%
Madera	3.65%
Otros	8.55%
Resto obras menores	2.38%
Humedad-suciedad	6.64%

Figura 11: Composición de los residuos municipales en España

Fuente: Elaboración propia a través de la literatura

En la figura 12 se puede observar la generación de residuos municipales per cápita en el contexto de la Unión Europea (Eurostat, 2017). En la propia tabla se puede ver como España ha sido uno de los países que han liderado la tendencia a la baja de estos números, siendo el tercer país con la mayor bajada porcentual entre los años 1995.y 2019.

	1995	2000	2005	2010	2015	2019	% cambio 1995-2019
EU	467	513	506	503	480	502	7.5%
Belgium	455	471	482	456	412	415	-8.8%
Denmark	521	664	736	:	822	844	62.0%
Germany	623	642	565	602	632	609	-2.2%
Ireland	512	599	731	624	:	:	-
Greece	303	412	442	532	488	:	-
Spain	505	653	588	510	456	476	-5.7%
France	475	514	529	534	516	548	15.4%
Italy	454	509	546	547	486	:	-
Netherlands	539	598	599	571	523	508	-5.8%
Austria	437	580	575	562	560	588	34.6%
Poland	285	320	319	316	286	336	17.9%
Portugal	352	457	452	516	460	513	45.7%
Finland	413	502	478	470	500	566	37.0%
Sweden	386	425	479	441	451	449	16.3%
Iceland	426	462	516	484	588	:	-
Norway	624	613	426	469	422	776	24.4%
Switzerland	602	659	664	711	728	709	17.8%
United Kingdom	498	577	581	509	483	:	-
Turkey	441	465	458	407	400	424	-3.9%

Figura 12: Generación de residuos municipales per cápita en la Unión Europea

Fuente: Elaboración propia a través de la literatura

### 3.3.2. Situación de la gestión y tratamiento de los residuos municipales

Los datos de la figura 13 proceden de la información suministrada por las CCAA a cerca de las cantidades de residuos recogidos y tratados que provienen de los domicilios y del sector servicios, y cuya gestión es asumida por entes locales (MITECO, 2017).

	Generación	Reciclado	Compostaje	Vertido	Incineración
Mezclas de residuos municipales	17,457,709	660,153	3,307,618	10,840,858	2,649,080
Papel y cartón	1,061,380	1,061,380	0	0	0
Vidrio	13,176	13,176	0	0	0
Residuos biodegradables (cocina y restaurantes)	610,043	0	443,046	105,115	61,882
Residuos biodegradables (parques y jardines)	266,789	0	167,371	87,883	11,525
Envases mezclados	660,932	471,525	0	148,591	40,816
Envases de vidrio	802,706	802,706	0	0	0

Figura 13: Generación y tratamiento de los residuos en España

Fuente: Elaboración propia a través de la literatura

En la figura 14 se muestra un esquema de como es el proceso de tratamiento de los residuos en España. Mientras que en la figura siguiente, se pueden observar el número de instalaciones que existen en España de los distintos tipos y las cantidades de residuos que se trataron en las mismas.

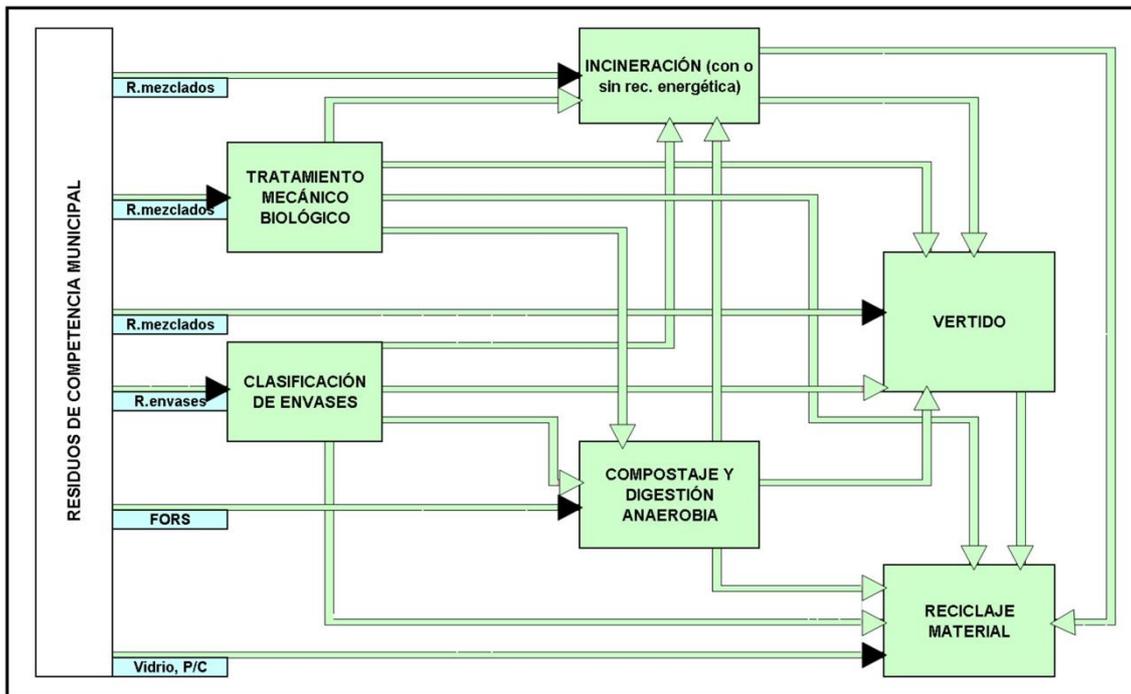


Figura 14: Proceso de tratamiento de los residuos en España

Fuente: MITECO

<b>Instalaciones de tratamiento de residuos</b>	<b>Nº de instalaciones</b>	<b>Entrada (t/año)</b>
Instalaciones de clasificación de envases	92	660,932
Instalaciones de triaje	6	1,052,138
Instalaciones de compostaje de fracción orgánica recogida separadamente	43	417,863
Instalaciones de triaje y compostaje	66	8,617,873
Instalaciones de triaje, biometanización y compostaje de fracción orgánica recogida separadamente	8	260,671
Instalaciones de triaje, biometanización y compostaje	21	3,184,152
Instalaciones de incineración	10	2,475,629
Vertederos	116	11,657,901

*Figura 14: Instalaciones de tratamiento de residuos en España*

*Fuente: Elaboración propia a través de la literatura*

### 3.4. Regulación y objetivos gubernamentales

Un aspecto fundamental de una gestión de residuos sostenible es una planificación adecuada y un seguimiento por parte de las autoridades centrales de las naciones. A pesar de que la gestión de residuos es normalmente un servicio operado por las autoridades locales, tanto los gobiernos locales como los nacionales deben jugar un papel en establecer un marco regulatorio en el que los servicios de gestión de residuos puedan ser desarrollados, así como permitir una adecuada colaboración del sector privado. Los gobiernos nacionales suelen ser los responsables de establecer unos estándares medioambientales para la gestión de residuos y para crear unas reglas y leyes que permitan una procuración de servicios justa y transparente por parte del sector privado. Los gobiernos locales también suelen establecer una regulación que guía a los hogares y las instituciones a una adecuada gestión y eliminación de los residuos. Generalmente, la entidad que regula la gestión es diferente de la que opera los servicios en pos de promover la responsabilidad y la rendición de cuentas (Bhada-Tata, Kaza, & Van Woerden, 2018).

La estrategia y la planificación acerca de los residuos en el entorno nacional y local permiten a las agencias de gobierno entender la situación actual de forma integral, identificando los objetivos futuros, y formulando un detallado plan de acción para el

progreso del sector de la gestión de residuos. La planificación permite a todas las partes interesadas (agencias de gobiernos, ciudadanos, asociaciones, y el sector privado) a estar coordinados y a promover unas inversiones eficientes y con objetivos claros (Bhada-Tata, Kaza, & Van Woerden, 2018).

En ocasiones, los gobiernos nacionales desarrollan una estrategia nacional de 5 a 10 años que detalla la situación actual en el país y establece objetivos para el sector sobre reciclaje, sostenibilidad financiera, concienciación ciudadana, impulso a la economía verde, reducción de los gases de efecto invernadero, y rehabilitación de enclaves contaminados. En ocasiones, la estrategia nacional contiene legislación jurídicamente vinculante u otras líneas de actuación para individuos e instituciones. Los gobiernos nacionales pueden aportar financiación o conocimiento técnico, como puede ser mediante un reparto de los costes o evaluando planes para la construcción de nuevos lugares de desecho de residuos, para ayudar a los municipios a conseguir las metas nacionales (Bhada-Tata, Kaza, & Van Woerden, 2018).

Como la gestión de residuos es un servicio local, es mucho más común que las ciudades desarrollen planes de ordenación centrados en la gestión de residuos a que los países desarrollen estrategias nacionales como las anteriormente mencionadas. Estos planes de ordenación formalizan los objetivos en la gestión de residuos para las distintas localidades y acometen la planificación para su implementación. Estos planes suelen ser integrales, detallando las inversiones en infraestructura, estrategias para la involucración de los ciudadanos, criterios medioambientales, así como todos los aspectos para la recolección, el transporte y el desecho de los residuos (Bhada-Tata, Kaza, & Van Woerden, 2018).

### 3.4.1. España

#### 3.4.1.1. Estrategia española de Economía Circular

La estrategia del gobierno español para aumentar la penetración del concepto de economía circular está recogido en el documento “España Circular 2030. Estrategia Española de Economía Circular”, donde colaboran 6 ministerios. Dicho documento tiene tendencia dogmática, mientras que las medidas más concretas, se irán definiendo con los sucesivos planes de acción que vaya sacando el gobierno. Los principios en los que el

gobierno ha querido basar su estrategia de economía circular son los siguientes: protección y mejora del medio ambiente; acción preventiva; descarbonización de la economía; quien contamina paga; protección de la salud; racionalización y eficiencia; cooperación y coordinación entre las administraciones públicas; participación pública; desarrollo sostenible; solidaridad entre personas y territorios; integración de los aspectos ambientales en la toma de decisiones; mejora de la competitividad de la economía; generación de empleo de calidad.

Teniendo en cuenta la situación actual del país, los principios citados y las perspectivas del futuro, se plantean en el documento a modo de decálogo, unas orientaciones estratégicas. Son especialmente relevantes para nuestro objeto de estudio la jerarquía de los residuos y la reducción de los residuos alimentarios. La jerarquía de los residuos se refiere a la prevención de los residuos en su generación, fomentando la preparación para la reutilización, fortaleciendo el reciclado o otorgándoles valor energético (MITECO, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020).

Los objetivos principales de la estrategia para 2030 en materia de residuos son los siguientes:

- Reducción de la generación de residuos en un 15% respecto de lo que se generaba en 2010.
- Reducir la generación de residuos de alimentos a lo largo de toda la cadena alimentaria: una reducción del 50% a nivel de hogar y de un 20% en las cadenas de producción.
- Aumentar la reutilización y la preparación para su reutilización con el objetivo de llegar al 10% de los residuos municipales que se generan.

La estrategia de economía circular española toma como referencia el primer Plan de Acción de la Comisión Europea, y a partir de ella establece 7 ejes y líneas de actuación, donde una de ellas es la gestión de los residuos.

A pesar de que la Estrategia de Economía Circular tiene un carácter transversal y quiere convertirse en el marco referente para el conjunto de las administraciones, empresas y ciudadanos, se realizará una planificación y un seguimiento especial de los siguientes

sectores: construcción y demolición, agroalimentación, industrial, textil, turismo y bienes de consumo.

De las políticas de cambio a las que se hace mención, destacar el tema de la fiscalidad. La política fiscal en España tiene margen de desarrollo, pues de los países miembros de la Unión, es uno de los que menos carga fiscal tiene, con un ratio del 1.86% mientras la media europea se sitúa en el 2.44% (CE, 2019). Por lo tanto, la aplicación de impuestos finalistas a las opciones de gestión que se sitúan en los escalones más bajos de la jerarquía de residuos, como el vertedero o la incineración, resulta una posibilidad plausible. Y para potenciar todavía más sus efectos, la recaudación derivada de dichos impuestos se debería destinar a dar prioridad a opciones como la prevención, recogidas separadas, la preparación del producto para su reutilización y el reciclaje.

#### 3.4.1.2. Sistemas de Responsabilidad Ampliada del Productor (SCRAP)

En la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados se dedica una sección a la “Responsabilidad Ampliada del productor del producto”. En ella se establece por primera vez un marco legal sistematizado, a través del cual los productores de los productos que tras ser utilizados se convierten en residuos, quedan de forma obligatoria involucrados en la prevención y gestión de dichos residuos, buscando una gestión que sea acorde a los principios inspirados de esta nueva legislación.

La Ley delimita las distintas responsabilidades de los productores e incluye la forma de hacer frente a estas obligaciones, bien de manera individual o a través de sistemas colectivos. Entre éstas se consideraba la creación de sistemas integrados de gestión (SIG), que finalmente ha sido la práctica más habitual en casi todos los flujos de residuos que se encuentran regulados. Estos sistemas están gestionados por entes sin ánimo de lucro que puede tomar formas jurídicas de distinto tipo (asociación, sociedad anónima, etc.). Las empresas que deciden cumplir sus obligaciones a través de estos sistemas deben colaborar financiando el funcionamiento de los mismos.

#### 3.4.1.3. Anteproyecto de Ley de Residuos y Suelos Contaminados. Aprobado en Consejo de Ministros el 2 de junio de 2020

El anteproyecto tiene dos objetivos primordiales: promulgar medidas que busquen proteger el medio ambiente y la salud humana, a través de la prevención y reducción de residuos, así como con la reducción del impacto general del uso de recursos; y por otro lado, prevenir y amainar el impacto de ciertos productos de plástico en el medio ambiente, sobre todo en el medio acuático y en la salud humana.

Con respecto a los plásticos, establece restricciones a determinados plásticos de un solo uso, limitando la introducción en el mercado de alguno de ellos y recoge un impuesto para avanzar en la disminución de los envases de plástico no reutilizables.

En cuanto a la prevención de la generación de residuos en la norma se recogen objetivos concretos. El calendario que se establece de reducción de residuos es el siguiente: en 2025, un 13%, y en 2030, un 15%, respecto a los generados en 2010.

Para potenciar la lucha contra el desperdicio de alimentos, se recogen medidas para disminuir los residuos alimentarios; también se incluyen recomendaciones para combatir la obsolescencia programada; se fomenta un diseño, fabricación y uso para que los productos sean duraderos, eficientes y reutilizables.

En el anteproyecto se refuerza la jerarquía de residuos: prevención; preparación para la reutilización; reciclaje; valorización, incluida la energética, y como última opción, la eliminación. Para dicho refuerzo, insta a instaurar resortes económicos y otro tipo de medidas incentivadoras desde las administraciones. Entre dichos incentivos se encuentran cánones sobre el depósito en vertedero o incineración, sistemas de pago por la generación y el uso compras de tipo público para promover el uso de productos reutilizables y reparables.

Con respecto a la responsabilidad ampliada del productor, la normativa revisa la regulación en concordancia con la normativa comunitaria, y explicita aquellas obligaciones que se podrían imponer a través de Real Decreto a los productores, entre las que estaría el sistema de depósito, devolución y retorno. Establece además las partidas de gestión que deben sufragar los productores.

### 3.5. Oportunidades y casos de éxito en el sector de los residuos en España

#### 3.5.1. Implantación de un sistema SDDR en el sector de los envases

En España, el Sistema de Responsabilidad Ampliada de los Productores de Producto, ha conducido a que en la mayoría de subsectores hayan aparecido Sistemas Integrados de Gestión (SIG). Dichos SIG consisten en que los fabricantes de los productos tengan que gestionar los residuos procedentes de dichos productos, para lo cual pueden acogerse a un sistema integrado que ya exista o crear uno. Estos SIG se suelen estructurar a través de entidades sin ánimo de lucro que se costean a través de las aportaciones de los fabricantes de productos que pagan una cantidad por cada producto que ponen en el mercado. Y con dicho dinero se financia el coste de la recogida y procesamiento de los materiales que forman el producto. En el caso de España las SIG del subsector de los envases son ECOEMBES (gestión de los envases recogidos en el contenedor amarillo) y ECOVIDRIO (gestión de los envases de vidrio).

El desarrollo de los SIG ha significado un importante avance para recuperar productos sujetos a cada uno de estos sistemas, incrementando de forma importante el volumen de residuos que se recoge de forma selectiva. Sin embargo, este sistema no ha estado exento de críticas, y una de las instituciones que más duramente ha arremetido contra este sistema es Greenpeace. En uno de sus informes, titulado “*Ecoembes miente. Desmontando los engaños de la gestión de residuos de envases domésticos*”, critica de forma generalizada a la asociación Ecoembes. Aboga que la directiva cobra unos sueldos de élite que no tendrían por qué existir; que en su modelo de negocio hay un conflicto de intereses pues sus ingresos dependen en parte de la cantidad de residuos que gestione; que se exportan muchos de los residuos que se generan en España; y que no ha sido capaz de gestionar adecuadamente las causas de los incendios, que han aumentado de forma considerable en nuestro país en los últimos años. Y propone como alternativa un sistema de tipo SDDR.

Esta otra modalidad de gestión de residuos denominada SDDR (Sistema de Depósito, Devolución y Retorno) ha dado resultados muy exitosos en numerosos países, especialmente en Alemania. Este sistema consiste en que el consumidor paga una cantidad por el envase, que se devolverá si se entrega de vuelta. Es un sistema especialmente idóneo para conseguir altos niveles de retorno de envases que sean

reutilizables o de un solo uso. En España este sistema apenas se encuentra desarrollado y en consecuencia, la industria de envases apenas ha desarrollado la introducción de envases que sean reutilizables. Las botellas retornables están hechas de vidrio o de plástico PET, y son propiedad de las compañías que comercializan las bebidas. Una vez han sido devueltas por los clientes, se limpian, se vuelven a etiquetar, se rellenan y se ponen de nuevo en el mercado. Las compañías de bebidas que utilizan las botellas retornables sostienen que las de vidrio se pueden reutilizar hasta 50 ocasiones y las de PET hasta 20 antes de ser retiradas del mercado y recicladas.

Esta falta de desarrollo en el mercado español de una alternativa que ha tenido un éxito importante en otros países, demuestra que es una de las oportunidades más importantes que existen para potenciar la circularidad de la economía y una gestión más eficiente de los residuos. Un informe de Oceana muestra el enorme impacto positivo ambiental que se puede generar a nivel mundial con la aplicación de sistemas de envases retornables, mientras que un informe de Retorna analiza las numerosas oportunidades de creación de empleo que existen en España detrás de la implantación de un sistema de este tipo.

Los residuos plásticos se encuentran ya en muy numerosos lugares de los océanos del planeta, y está demostrado que sus implicaciones sobre nuestros mares y sus especies marinas pueden ser muy perjudiciales (Lavers & Bond, 2017). Se ha podido observar como decenas de miles de ballenas, aves y peces han sufrido estrangulamiento a causa de los plásticos o han ingerido alguno de ellos. La lista de animales que se ven afectados por este tipo de contaminación crece de forma continua, estimándose que un 90% de las especies de aves marinas han consumido plástico en alguna ocasión (Wilcox & B, 2015). El plástico afecta además de forma importante a nuestro clima. Si fuera un país, sería el quinto mayor emisor de gases de efecto invernadero del mundo (Zheng & Suh, 2019). Lo hace mediante el consumo de combustibles fósiles en su producción y la emisión de gases producida por el transporte y su gestión (Climate, 2019).

La sustitución de botellas de PET de un solo uso por botellas de tipo retornable, ya sean de vidrio o PET, tiene un gran potencial para reducir de forma rápida la contaminación marina a nivel global. La siguiente figura, muestra la estimación de Oceana de cuál sería la reducción de plásticos que acabarían en el océano si la cuota de mercado de las botellas

retornables en el sector de las bebidas aumentara un 10%, 25% o 50% en cada país costero del mundo.

	Residuos marinos							
	Situación actual				10% de aumento de los envases reutilizables			
Total de los 76 países costeros	Milliones de botellas		Toneladas		Milliones de botellas		Toneladas	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	20.675	34.459	705.506	1.175.844	16.805	26.809	553.620	922.699
Reducción de los desechos marinos en comparación con la situación actual					4.590	7.650	151.887	253.144
					<b>22.20%</b>		<b>21.53%</b>	
	Residuos marinos							
	20% de aumento de los envases reutilizables				50% de aumento de los envases reutilizables			
Total de los 76 países costeros	Milliones de botellas		Toneladas		Milliones de botellas		Toneladas	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	12.563	20.939	438.035	730.088	2.810	4.684	118.976	198.294
Reducción de los desechos marinos en comparación con la situación actual	8.112	13.520	267.453	445.756	17.865	29.775	586.530	977.550
	<b>39.23%</b>		<b>37.91%</b>		<b>86.41%</b>		<b>83.14%</b>	

Figura 16: Potencial disminución de residuos marinos de PET con un aumento de la cuota de mercado de los retornables

Fuente: Oceana

En 2018, la Comisión Europea elaboró su “estrategia para el plástico en una economía circular”. En la estrategia se describe un plan para el año 2030 en el que el plástico y los productos que lo contengan sean diseñados para permitir mayor durabilidad y reutilización así como un reciclado de alta calidad”. Y para las botellas desechables de un solo uso, el artículo 9 de la Directiva obliga a los distintos miembros de la UE a conseguir una tasa de recuperación mínima del 90% de las botellas de plástico para el año 2029.

Los países de la Unión Europea, donde se intuye que los países tienen una mayor susceptibilidad a aceptar exigencias en favor de soluciones más sostenibles, se encuentran a la cola en cuanto a la cuota de mercado que tienen los envases retornables, con algunas de las cuotas más pequeñas a escala global. Finlandia solo tiene una cuota de mercado del 2% de envases retornables; Francia, Irlanda y el Reino Unido tienen un 3%; Dinamarca, Países Bajos y Grecia un 4%; Rumanía y Portugal un 5% y España un 6%.

La excepción en Europa es Alemania, con una cuota de mercado de los envases retornables del 35%<sup>3</sup>.

La implantación y desarrollo del SDDR en nuestro país crearía nuevos empleos directos e indirectos. Dentro de los empleos directos se encontrarían aquellos pertenecientes a las actividades específicas de recogida y conteo y también de transporte, además de los relacionados con la gestión y administración del sistema. De forma indirecta se crearían puestos de trabajo en el sector de la construcción (líneas de conteo y tratamiento), y en actividades industriales de fabricación de maquinaria. Un informe de Retorna junto con el Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud, estima que la creación total de empleo de implantarse este sistema estaría en torno a 14,000 puestos de trabajo.

Por todo lo mencionado en este epígrafe, la transición de un modelo SIG a uno SDDR supondría un gran avance en materia de residuos y economía circular para nuestro país. Es un modelo contrastado que ya ha triunfado en otros países que ha dado grandes resultados y que tendría un gran impacto ambiental en el planeta así como importantes beneficios y oportunidades económicas para el país.

### 3.5.2. ECOTIC. Un modelo de gestión SCRAP con grandes beneficios

Ecotic es una entidad sin ánimo de lucro establecida como un Sistema Colectivo de Responsabilidad Ampliada del Productor (SCRAP). Su principal actividad es la gestión y financiación de los residuos aparatos eléctricos y electrónicos. Disponen de la autorización a un nivel nacional para llevar a cabo la gestión de todos los tipos de RAEE y se encargan del desarrollo y gestión del sistema de control y tratamiento de sus residuos adheridos, cumpliendo con las responsabilidades y obligaciones legales. Desde esta institución se llevan además a cabo proyectos de formación a fabricantes y productores, así como de divulgación y sensibilización a la sociedad.

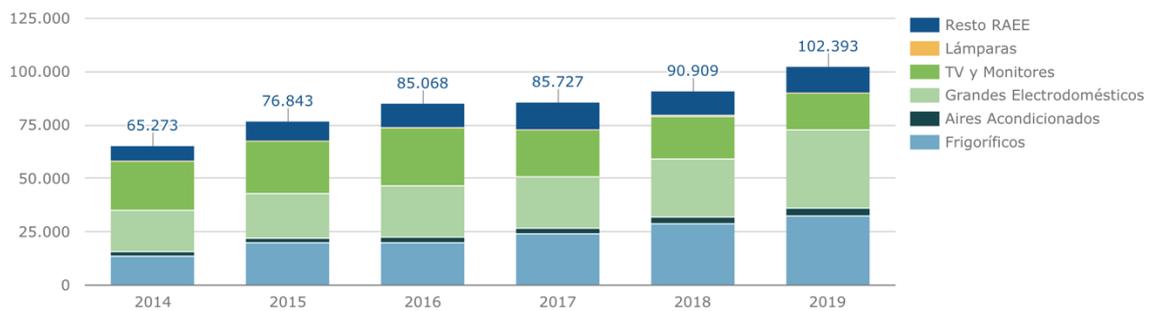
La recogida de los RAEE se elabora en base a tres lugares básicos de recogida y almacenamiento:

---

<sup>3</sup> GlobalData, Market Data Global NARTD market

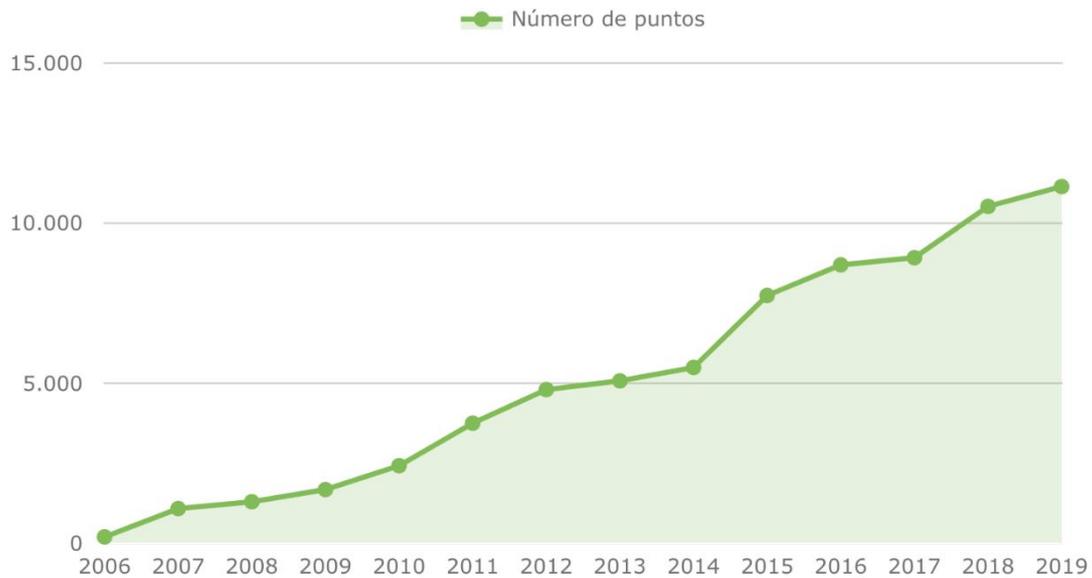
- Puntos municipales y Puntos Limpios, donde los ciudadanos pueden entregar sus residuos de proveniencia doméstica.
- Almacenes de las empresas de distribución, donde se guardan los residuos que generan los propios distribuidores.
- Centros de Agrupación de Carga que habilita Ecotic, donde se reciben los RAEE de los Puntos Limpios y de distribuidores, antes de que sean transportados a las empresas de reciclaje correspondientes.

Las estadísticas muestran cómo la presencia de Ecotic está siendo muy beneficiosa para asegurar una creciente gestión de los RAEE, con unas cifras que crecen año a año. Más de 700 empresas están ya adheridas al sistema de la fundación para cumplir con sus obligaciones de gestión ambiental por el hecho de ser productores. En la figura 17, se puede ver la tendencia claramente creciente de la cantidad de residuos RAEE gestionados, con una cuota de mercado del 35,6% a finales de 2019. Mientras que en la figura 18, se puede observar como los puntos de recogida tienen también una tendencia creciente.



*Figura 17: Residuos gestionados por Ecotic*

*Fuente: Ecotic*



*Figura 18: Evolución de los puntos de recogida de RAEE*

*Fuente: Ecotic*

Ecotic consiguió tener al cierre del ejercicio 2019 un resultado positivo de 3,953 euros, procedentes de los excedentes individuales de los distintos sectores que componen la fundación. Los ingresos fueron de 26.4 millones de euros y la mayor base estructural de costes fue la propia gestión de los RAEE que supusieron un 87,3% de la actividad.

Todo lo mencionado anteriormente demuestra que en este caso concreto el Sistema Integrado de Gestión nacido de las obligaciones de los productores a hacerse cargo de los residuos que se generan de los productos que ellos fabrican, es muy importante para gestionar cantidades muy importantes de residuos y no necesitan ningún tipo de financiación extra por parte de los consumidores ni por el Estado.

### 3.5.3. “La Circular” Cerveza Artesana.

En esta empresa vallisoletana el concepto de economía circular es el ingrediente característico en el proceso de elaboración de su cerveza gracias a la utilización del pan excedente de la producción del sector panadero local. En España se tiran al año 62 millones de kilogramos de pan según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación,

por lo que la utilización de dicho pan para la elaboración de la cerveza podría suponer un muy importante ahorro económico y de residuos.

Otro aspecto considerado por esta empresa en la etapa de Ecodiseño es el material de fabricación de la etiqueta de sus productos, sustituyendo el papel por materiales poliméricos como el Polipropileno. Se estima que aproximadamente 2000 etiquetas de cerveza necesitan 2 kilogramos de Polipropileno. De esta manera, y teniendo en cuenta que en España se consume de media medio botellín de cerveza al día, esto supondría un ahorro de 11,750 kilos de PP anuales.

#### 3.5.4. Revertia

Revertia es una compañía basada en Vigo con un modelo de negocio circular que se encuentra vinculado al sector de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, promoviendo una prolongación de su vida útil, especialmente los que provienen de equipamiento IT, a través de su reutilización. Se trata de una empresa circular en sí misma pues considera los residuos como recursos y de lo que se encarga es devolverlos al propio circuito productivo ya sea mediante su reutilización o mediante su reciclaje responsable. Ellos explican que la experiencia les ha demostrado que la mayoría de estos dispositivos duran poco en manos de sus primeros poseedores y que podrían tener una vida útil mucho más larga y seguir prestando las funciones iniciales para las que fueron fabricados.

Esta empresa además analiza las etapas de la vida que tiene un puesto informático para identificar y cuantificar los impactos ambientales asociados a estas etapas para poder mostrar de manera objetiva cuales han sido los positivos impactos ambientales que se han conseguido gracias a esta reutilización.

Son una compañía que en 10 años de existencia ha gestionado 1590 tn de RAEE, lo cual ha supuesto evitar la emisión de 2035 tn de CO<sub>2</sub>. En el propio 2019 llegaron a su cifra récord de 442 tn, evitando la emisión de 577 tn de CO<sub>2</sub>, lo cual equivale a lo que emite un coche en 1,7 millones de kilómetros o la energía que demandan 85 hogares en un solo año. En media cada puestos informático reutilizado puede evitar la emisión de 190 kilogramos de CO<sub>2</sub>, con lo que se puede ver rápidamente del enorme impacto que puede tener una gran penetración de estos modelos de negocio en nuestra sociedad.

Y por último utilizando la base de datos SABI, se ha podido acceder a las cuentas financieras anuales del grupo Revertia, con unos ingresos en el año 2019 de 297,018€ y un resultado del ejercicio de 41,861€, demostrando que sin una escala de gran tamaño en este tipo de industrias de revalorización se pueden conseguir importantes beneficios económicos junto con los evidentes importantes impactos ambientales.

### 3.5.5. Scrapad

Uno de los motivos más importantes por el que ciertos productos que para una persona o negocio han dejado de tener valor no se reinsertan en los ciclos productivos o se les da una vida útil más larga es por la falta de un mercado claro donde generar el contacto entre el que se quiere deshacer y el que lo quiere obtener. Es aquí donde la digitalización de la sociedad puede reportar un valor enorme y ser una gran manera de luchar contra este acuciante problema. Y dentro de este ecosistema digital crear plataformas donde puedas buscar y vender aquello que buscas de una forma segura, rápida y efectiva.

Y para aprovechar esta tendencia nació el *marketplace* denominado Scrapad, compañía basada en Eibar y que funciona con un modelo de suscripción. Scrapad se ha convertido en una plataforma de referencia del sector de reciclaje a nivel mundial, buscando en primer lugar, ayudar a los reciclados a encontrar la mejor contraparte de compra o venta de sus materiales; y en segundo lugar, reducir al mínimo el número de residuos que se destinan a vertedero, reforzando la economía circular y la preservación del medio ambiente. Scrapad opera ya en más de 40 países y cubre todas las ramas de materiales reciclables.

Las plataformas que permiten crear mercados de segunda mano son fundamentales para conseguir una transición completa a una economía circular y en España ya ha habido un caso de enorme éxito como es el de Wallapop, compañía que conecta ya a 15 millones de usuarios en España, a los que ofrece comprar y vender objetos que ya no usan. Su éxito ha sido tal que los últimos fondos de inversión que han levantado capital para la compañía la han valorado en 700 millones.

### 3.5.6. Ecoalf

Ecoalf es una compañía de moda española que sostiene como visión, “dejar de utilizar recursos naturales de manera indiscriminada”, que es una de las premisas principales del concepto de economía circular. Mientras que su misión es crear una nueva generación de productos reciclados con la misma calidad de producto y diseño que los no reciclados, otro de los puntos más importantes de este nuevo tipo de economía.

Ecoalf es ya una compañía consolidada en el sector de la moda español y ha sido la primera marca de moda del país en ser reconocida por su compromiso con la gente y con el planeta. En el último año fiscal facturó más de 20 millones de euros y emplea a más de 100 personas. Es una compañía que ha invertido mucho en tecnología de tejidos para obtener ventajas competitivas y conseguir hacer rentable la recogida y transformación de los plásticos del océano. Han conseguido tener ya más de 400 tipos de tejido y desde su creación han reciclado lo equivalente a 250 millones de botellas de plástico.

Su proyecto más ambicioso, que nació en 2015 bajo el nombre *Upcycling the Oceans*, con el objetivo de limpiar los océanos y que empezó con la colaboración de 3 pescadores en Alicante, está ya presente en 43 puertos con más de 3,000 personas involucradas. Con este proyecto se han conseguido recolectar ya 600 toneladas de residuos de los fondos de los océanos, y el objetivo es tener a 10,000 personas involucradas en la recolección en 2025.

### 3.5.7. Cocircular

Cocircular es una compañía valenciana que nace con la vocación de ser un servicio de gestión circular de residuos para Constructoras, Promotoras, Ingenierías y Estudios de Arquitectura. Promueve de forma activa que los edificios se conviertan en receptores de residuos a través de los materiales.

Esta compañía certifica la trazabilidad completa de cada residuo de la obra para a posteriori ofrecer un informe final con el Sello de Valorización, donde se indican la valorización de los residuos que se han conseguido, con respecto a lo establecido en la normativa de la UE. A través de este servicio las constructoras tienen una forma simple de diferenciarse de cara a sus clientes.

Los residuos de Construcción y Demolición suponen el 32% del total de los desechos generados en Europa, lo que supone más de 800 millones de toneladas al año. En España concretamente se generan 45 millones, de los que solo el 25% se canalizan a través de gestoras autorizadas. De estos, el 90% termina en vertederos, por la dificultad que existe en el mercado de valorizarlos al no llegar en condiciones óptimas de separación. Es aquí donde Cocircular propone aportar su infraestructura y conocimiento.

Colaboran con el Jefe de Obra para la correcta ubicación de los sistemas de separación de residuos en obra. Además de ello, imparten formación al equipo técnico de obra. El Equipo Técnico de Cocircular realiza visitas quincenales de chequeo a obra y está en permanente contacto con el Jefe de Obra, para la captación de datos y circunstancias respecto a la gestión y separación que se está realizando en obra.

### 3.5.8. Iniciativas de grandes multinacionales

#### 3.5.8.1. Ikea

La empresa de muebles sueca puso en marcha hace cuatro años un servicio de alquiler y reciclado de muebles con el objetivo de hacer la economía más circular, sobre todo dentro de su sector, el del mobiliario. Su intención es prolongar la vida útil de los productos facilitando a los clientes piezas de repuesto, uno de los pilares de la nueva economía circular. En 2020 sirvió 14 millones de repuestos y ahora busca utilizar su canal online para extender de forma mayoritaria esta práctica.

#### 3.5.8.2. Tesla

Algunos de sus coches eléctricos ya están consiguiendo batir récords de longevidad: un Tesla Model S ha conseguido superar el millón de kilómetros, utilizando la misma mecánica en todo ese proceso y solo teniendo que cambiar baterías tras unos ciertos kilómetros. Tesla también apuesta por la economía circular en su diseño, desarrollando coches que necesiten menos piezas para su fabricación. Concretamente un coche convencional necesita 30,000 piezas, Tesla reduce estas cifras en casi un 60%.

### 3.5.8.3. Nestlé

Esta compañía está estudiando la posibilidad de vender los fermentos del yogur, para que cada consumidor se lo pueda hacer en casa, ahorrando de esta manera importantes cantidades de envases de plástico. Otra iniciativa importante en la que están trabajando es el ecodiseño de los envases con materiales reciclados para reducir al mínimo las cantidades de residuos. Y tienen una tercera iniciativa importante que es aprovechar las 45,000 toneladas de posos de café que se producen en la fábrica que tienen en Gerona para producir vapor, con el consiguiente ahorro energético que esto supondría.

## 4. Discusión y Conclusiones

La rauda manera en la que se han desarrollado la tecnología y nuestros hábitos de consumo, nos ha llevado como sociedad a tomar recursos naturales del medio y a generar residuos y contaminación de una forma que es insostenible a largo, e incluso a medio plazo. Es esto tan notorio que la humanidad es a día de hoy muy consciente de ello, y se están haciendo importantes esfuerzos por pivotar de un modelo económico lineal a uno circular. Esto es, una economía que minimiza o deja de tomar recursos naturales del medio, para reaprovechar al máximo todos los materiales, sustancias y productos que ya se encuentran insertadas en la rueda de la economía.

El primer objetivo propuesto consistía en desarrollar **un marco teórico sobre la economía circular y dónde queda la gestión de residuos en la misma**. La transición de un modelo a otro, como ha quedado constatado en este trabajo de investigación, es de una complejidad enorme, y podría catalogarse como uno de los mayores desafíos de la historia de la humanidad, y sin duda, el mayor del siglo XXI. Es por ello, que la colaboración por parte de todos los entes que componen la sociedad, desde los individuos, a las compañías y los gobiernos, es fundamental para asegurar la sostenibilidad de nuestro único planeta.

Muestra del apremio que requiere la situación se puede ver en el caso de España en concreto, con una huella ecológica que es 2,6 gha veces mayor que su biocapacidad por persona. Esto significa que España necesitaría 2,6 veces más superficie de la que tiene disponible para mantener el nivel de vida de la población que tiene a día de hoy, ocupando el puesto número 58 a escala global de nivel de huella ecológica por habitante.

Con la investigación se ha podido ver cómo existe una gran correlación entre el nivel de desarrollo de un país y su generación de residuos, pero también con las tasas de reciclaje y la recuperación de dichos residuos. Sin embargo, en un continente como Europa que es de los más desarrollados del mundo, la tasa de reciclaje solo llega al 38%, y es muestra del amplio margen de mejora existente. En el caso de España, la tasa de reciclaje es del 37%, en línea con la media europea, pero también síntoma de que hay una gran oportunidad de mejora.

El segundo objetivo del trabajo consistía en **analizar los distintos flujos de residuos así como de las principales tecnologías existentes sobre transformación de los residuos en energía**. Dicho análisis ha constatado la diferente complejidad que existe comparando unos flujos de residuos con otros, con altas tasas de recuperación en el caso del papel, pero mucho más bajas en el caso de los envases. En el caso concreto de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos resulta más fundamental todavía si cabe su correcta separación y la colaboración de los ciudadanos para que estos se puedan reinsertar en la rueda de la economía. Ha quedado constatado también con el proyecto que aunque las tecnologías de transformación de residuos en energía sean de gran utilidad para hacer el sistema más sostenible, no lo son de forma suficiente. Y por ende será fundamental potenciar la circularidad de otras vertientes de nuestro sistema productivo para que realmente sea sostenible en el largo plazo.

Respondiendo al tercer objetivo del trabajo que consistía en hacer **un estudio del mercado de los residuos en España, contextualizándolo en primer lugar, y posteriormente hablando de oportunidades y casos concretos**, se han podido encontrar oportunidades muy interesantes para la mejora del sistema de gestión de residuos en España, con la posibilidad de invertir en proyectos rentables. Una de las alternativas más interesantes a nivel del potencial impacto medioambiental, es la transición de un modelo SIG (Sistemas Integrados de Gestión) a uno SDDR (Sistemas de Depósito, Devolución y Retorno), que ha tenido un enorme éxito en otros países como Alemania y que ha elevado de forma muy considerable las tasas de recuperación de envases. Entre otras oportunidades se encuentran Revertia, compañía que recoge, repara y vende Residuos Eléctricos y Electrónicos, con importantes beneficios económicos para una empresa de su tamaño y que colabora a tener una economía más circular. Tienen también un gran potencial proyectos como el de Scrapad, plataforma que busca poner en contacto a compradores y vendedores de todo tipo de residuos.

Por todo lo anteriormente mencionado, nos encontramos ante un reto de enorme importancia para el futuro de nuestro bienestar y de nuestro planeta. Las oportunidades están ahí y la colaboración entre los entes públicos y los privados, junto con los ciudadanos, será fundamental para acometer de forma rápida y efectiva la transición a una economía más circular y a un sistema de gestión de residuos más eficiente, eficaz y mejor para todos.

## 5. Bibliografía

- Aldás, C., López, G., & Moya, D. (2017). *Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using waste-to-energy technologies*. Queensland, Australia.
- ASPAPPEL. (2015). *Economía circular del papel*.
- Baxter, D., Murphy, J., & Wellinger, A. (2013). *The Biogas Handbook. Science, Production and Applications*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Bhadda-Tata, P., Kaza, S., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington DC: World Bank.
- Boldrin, A., Tonini, D., & Turconi, R. (s.f.). *Life cycle assessment of thermal Waste-to-Energy technologies*. Technical University of Denmark.
- CE. (2014). *Reuse is the key to the Circular Economy*.
- CE. (2019). *Revisión de la aplicación de la política ambiental. Informe España*.
- CE. (2020). *Categorisation System for the Circular Economy*.
- Chiemchaisri, C., & Gheewala, S. (2006). *Seasonal Variation of Landfill Methane Emissions from Seven Solid Waste Disposal Sites in Central Thailand*. Bangkok.
- Climate, P. a. (2019). *The Hidden Costs of a Plastic Planet*. Center for International Environmental Law.
- Ecoembes. (2014). *Diagnóstico de envases y sistemas de envasado*.
- Ecovidrio. (2019). *Informe de sostenibilidad 2019*.
- EEA. (2020). *Bio-waste in Europe. Turning challenges into opportunities*.
- Ellen Macarthur Foundation. (2020). *Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition*.
- EU. (2003). *Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives*. Bruselas: European Commission.
- Eurostat. (2017). *Municipal Waste Statistics*.
- Eurostat. (s.f.). *Serie de datos sobre Treatment of waste by waste category, hazardousness and waste management operations*.
- Fachbervand. (2016). *Biowaste to Biogas*. Freising.

- FEC. (2014). *Informe de base para una estrategia de reciclado de cara a los objetivos 2020*.
- FEC. (2020). *Proyecto multiparticipante. Diagnóstico y escenarios de cumplimiento de los objetivos de residuos municipales 2025-2030-2035*.
- Hengevoss, D., Hugi, C., & Mutz, D. (s.f.). *Waste-to-Energy Options in Municipal Solid Waste Management*. Deutsche Gesellschaft für .
- Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*. Washington, DC: World Bank.
- Lavers, J., & Bond, J. (2017). *Exceptional and rapid accumulation of anthropogenic debris on one of the world's most remote and pristine islands*.
- Lee, M., Farouk, B., & Renee, H. (2014). *Results-Based Financing for Municipal Solid Waste*. Washington, DC: World Bank .
- Lehmann, L. (2020). *Economía circular, el cambio cultural. El modelo sostenible para la reactivación*. Buenos Aires.
- MITECO. (2017). *Memoria anual de generación y gestión de residuos. Residuos de competencia municipal*.
- MITECO. (2020). *Guía técnica para la clasificación de los residuos* .
- MITECO. (2020). *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*.
- Muller, P., & Fontrodona, J. (2021). *Economía Circular. Una revolución en marcha*. Cátedra CaixaBank de Responsabilidad Social Corporativa.
- Pery, G., & Whyte, R. (2001). *A rough Guide to Anaerobic Digestion Costs and MSW Diversion*. *Renewable Energy*.
- Preston, F. (2012). *A Global Redesign? Shaping the Circular Economy*.
- Reynolds, D. (1999). *The mineral economy: how prices and costs can falsely signal decreasing scarcity*. *Ecological Economics*.
- WBCSD. (2018). *Remanufacturing*.
- WEF. (2014). *Towards the Circular Economy: Accelerating the Scale-up Across Global Supply Chain*.
- Wilcox, C., & B, H. (2015). *Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive and increasing*.
- Zheng, J., & Suh, S. (2019). *Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics*.

