



Valorización energética de residuos urbanos en España y Andorra: huella de carbono y comparativa con depósito en vertedero

15 de marzo 2021

g-advisory
Grupo GARRIGUES

CONSULTORÍA Técnica - económica - estratégica

Índice

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 2 |
| 1.1 Antecedentes | 2 |
| 1.2 Objetivos | 2 |
| 1.3 Fuentes de información | 2 |
| 1.4 Limitaciones y responsabilidad | 3 |
| 2. RESUMEN EJECUTIVO | 5 |
| 3. EL PAPEL DE LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS URBANOS | 7 |
| 3.1 Introducción | 7 |
| 3.2 Marco normativo y estratégico | 8 |
| 3.3 Perspectivas de cumplimiento de los compromisos europeos | 14 |
| 3.4 Los residuos urbanos en Europa | 15 |
| 3.5 Los residuos urbanos en España | 18 |
| 3.6 La valorización energética en Europa y España | 19 |
| 3.7 Conclusiones del papel de la valorización energética de residuos urbanos | 22 |
| 4. HUELLA DE CARBONO | 23 |
| 4.1 Introducción | 23 |
| 4.2 Metodología de cálculo | 25 |
| 4.3 Huella de carbono y balance neto de la valorización energética de residuos urbanos | 32 |
| 4.4 Huella de carbono y balance neto del depósito en vertedero de residuos urbanos | 36 |
| 4.5 Comparativa de huellas de carbono: valorización energética y depósito en vertedero | 37 |
| 4.6 Escenarios e interpretación de resultados | 38 |
| ANEXO I. DOCUMENTACIÓN REVISADA | 42 |
| ANEXOS II Y III EN DOCUMENTO ANEXO | |

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

AEVERSU (en adelante también el Cliente) es la Asociación de Empresas de Valorización Energética de Residuos Urbanos (RU). Agrupa a 12 empresas, 11 en España y una en Andorra, cuya actividad es el tratamiento de los RU mediante la valorización energética, que supone la producción de electricidad y calor mediante el aprovechamiento del poder calorífico de los residuos.

El objetivo fundamental de AEVERSU es potenciar el desarrollo de la valorización energética de la fracción no reciclable de los RU, conforme a la escala jerárquica establecida por la Unión Europea (UE) en su Directiva 2008/98/CE, posteriormente modificada por la Directiva 2018/851, devolviendo así el valor energético contenido en los residuos al ciclo productivo como proceso fundamental mejor que la eliminación en vertedero.

Con el objetivo de difundir sus objetivos y su contribución a la problemática de la adecuada gestión de los RU, en el año 2015 AEVERSU contrató a G-advisory Consultoría Técnica, Económica y Estratégica, S.L.P. (en adelante, G-advisory) un estudio sobre los impactos socio-económicos y ambientales de la valorización energética de los RU en España y Andorra. En dicho estudio se presentó una visión actualizada de la valorización energética de RU y de las oportunidades del sector bajo dicha visión.

Actualmente y poniendo el foco en la emisión de gases de efecto invernadero, AEVERSU ha encargado a G-advisory analizar con detalle la contribución del sector de valorización energética de RU en España y Andorra a la mitigación del cambio climático y a la transición hacia una economía baja en carbono. Para ello, el estudio analiza la huella de carbono y el balance neto (huella de carbono menos emisiones evitadas) de la valorización energética de RU y los compara con la huella de carbono y el balance neto asociados a la eliminación de los RU en vertedero.

1.2 Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

- Destacar el papel de la valorización energética de RU como parte de la solución ambiental, tras la reducción, reutilización y reciclaje.
- Analizar la huella de carbono del sector de valorización energética de RU.
- Comparar dicha huella con la huella de carbono de los vertederos de RU.

1.3 Fuentes de información

Para la realización del trabajo hemos analizado la información proporcionada por los distintos socios que forman AEVERSU. Esta incluye información actualizada de cada planta de tratamiento relativa al balance de masas y energía (cantidades de RU recibidas anualmente, cantidades producidas de escorias y cenizas, consumos de combustibles y electricidad, energía eléctrica producida, etc.), así como información relativa al transporte de residuos. También hemos recibido información puntual sobre vertederos de RU.

Dicha información fue remitida a G-advisory vía email, en diferentes envíos desde marzo de 2020.

Por otra parte, hemos consultado fuentes de información pública relativa a la gestión de RU y a su valorización energética, como el informe realizado por la Agencia Federal Ambiental de Alemania en 2015 sobre el potencial mitigador del cambio climático del sector de los residuos, el artículo de Møller y Fruergaard de 2009 sobre la contabilidad de gases de efecto invernadero en el sector de los residuos o el informe del PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) de 2019 sobre las consideraciones acerca de la valorización energética para la toma de decisiones, entre otros.

Con respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero hemos consultado fuentes de información como el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (Edición 2020, Serie 1990-2018), publicado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico en marzo de 2020.

En el Anexo I del presente informe se encuentran enumerados los principales documentos revisados para la realización de nuestro estudio.

1.4 Limitaciones y responsabilidad

Este informe ha sido elaborado con las fuentes de información citadas en el apartado 1.3.

Respecto de la información remitida por AEVERSU, hemos asumido las siguientes hipótesis:

- Los documentos e información facilitados y examinados son veraces, completos, se mantienen vigentes a la fecha de este informe y no contienen información falsa, no habiendo sido modificados o extinguidos por otros documentos distintos a los facilitados por las fuentes consultadas, y no se ha ocultado información o documentación relevante que pudiera modificar o alterar de algún modo los documentos e informaciones que han sido objeto de revisión.
- Los documentos han sido suscritos por personas con capacidad y representación suficiente para vincular a cada una de las entidades a que representan.
- Los documentos escaneados y electrónicos son completos y son copias veraces de los documentos originales.
- No existen anexos o modificaciones a los documentos revisados que no se encuentran a nuestra disposición.
- Las firmas de los documentos facilitados se corresponden con las propias de las personas físicas que, en la representación que se declara en los propios documentos analizados, intervinieron en los mismos. Asimismo, las fechas incluidas en la documentación se corresponden con las fechas de su efectiva creación, emisión, firma, otorgamiento o producción.
- No existen documentos, distintos de los facilitados, que modifiquen, contradigan o alteren aquellos que han sido objeto de análisis.

La evaluación del trabajo realizado debe tomar en consideración las siguientes limitaciones y reservas con que ha sido ejecutado el mismo:

- No han sido objeto de análisis documentos o información no referenciados en el apartado 1.3 del presente informe o generados con posterioridad a la fecha de emisión del mismo.
- No han sido objeto de análisis, en los documentos e información evaluados (i) la oportunidad de negocio en la suscripción de los mismos; (ii) su cumplimiento y eficacia reales, en la práctica.
- Los estándares técnicos actuales y el “estado del arte” aplicable a este tipo de instalaciones de tratamiento de RU.

La responsabilidad total de G-advisory en relación con este informe es única y exclusivamente frente a AEVERSU y no excederá los honorarios recibidos por G-advisory en relación con la parte de los servicios que dé lugar a responsabilidad, y en ningún caso comprenderá daños o perjuicios indirectos, lucro cesante, daño emergente o costes de oportunidad.

2. RESUMEN EJECUTIVO

La Unión Europea ha establecido compromisos especialmente desafiantes para España en materia de gestión de residuos urbanos: se prohibirá la admisión de RU valorizables en vertedero a partir de 2030 y se deberá reducir al 10% en peso la cantidad de RU depositado en vertedero antes de 2035.

Ante estos desafíos, el incremento de la reutilización y el reciclaje con el complemento de la valorización energética de los rechazos se posiciona como un esquema clave para el cumplimiento de los compromisos europeos en materia de gestión de RU. Todo ello siguiendo la jerarquía establecida por la UE para la gestión de residuos y en línea con lo que están haciendo los principales países miembros de la UE.

Sin embargo, en España, el principal sistema de gestión de los RU sigue siendo su eliminación directa en vertederos, donde se envía un 56,3% (12,7 millones de t) de los RU generados, seguido del reciclaje (33,8%) y la valorización energética (9,9%). En términos de emisiones de GEI, el sector residuos representa el 4% de las emisiones de GEI en España y puede realizar una contribución significativa a la mitigación del cambio climático.

Los cálculos de huella de carbono resumidos en el presente informe tienen como base las directrices internacionalmente reconocidas del GHG Protocol, EpE Protocol y la Guía IPCC (2006) y se centran en los alcances 1 y 2, cuyos detalles metodológicos se recogen en el apartado 4.2 del presente informe.

Respecto a los datos de las plantas de valorización energética, hemos partido de la información suministrada por las propias instalaciones, integradas en AEVERSU. Hemos contrastado los datos y desestimado aquellos que presentaban inconsistencias o no eran completos. Como parámetro especialmente relevante, hemos recibido datos de mediciones reales del contenido en carbono biogénico de los RU de 6 plantas, que suman el 83% de los RU tratados por AEVERSU.

Para el cálculo de la huella de carbono del vertido de RU, hemos optado por utilizar como fuente principal y fiable el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (Edición 2020, Serie 1990-2018), del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), de marzo de 2020.

En el estudio hemos empleado los factores de emisión más recientes publicados por fuentes oficiales y, siempre que ha sido posible, hemos elegido los factores más específicos y más equiparables a la realidad de nuestro estudio, en España y Andorra.

Como resultado del informe podemos concluir que la huella de carbono de la valorización energética es claramente menor que la huella de carbono asociada a la eliminación en vertedero:

- Las plantas de valorización energética generan unas emisiones de GEI de 377 kg CO₂e / t RU y presentan un balance neto de 224 kg CO₂e / t RU.
- Los vertederos generan unas emisiones de GEI de 781 kg CO₂e / t RU, un 107% más que la valorización energética, y cuentan con un balance neto de 772 kg CO₂e / t RU, un 245% más que la valorización energética.

Según el escenario objetivo del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC, 2021), el porcentaje de generación renovable en el sector eléctrico experimentaría un incremento de 34 puntos porcentuales, pasando del 39,7% en 2020 al 73,6% en el año 2030. Tomando el escenario objetivo del PNIEC como referencia y evaluando únicamente la variación del mix eléctrico en los cálculos de huella analizados (sin incorporar la posible variación de otros parámetros en el tiempo, muy difícil de evaluar), la diferencia entre las huellas de carbono del vertido y de la valorización energética se reduciría y en el año 2030 el balance neto de GEI por tonelada de RU del vertido sería un 133% mayor que el de la valorización energética.

La menor huella de carbono de la valorización energética en comparación con la eliminación en vertedero es un factor que refuerza la jerarquía establecida de gestión de residuos en Europa y el papel que puede jugar la valorización energética en España y Andorra, como complemento del reciclado para lograr los objetivos marcados por las estrategias de economía circular y lucha contra el cambio climático.

3. EL PAPEL DE LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS URBANOS

3.1 Introducción

La humanidad genera más de 2.000 millones de toneladas de residuos cada año. Según los cálculos de Naciones Unidas, se espera que en los próximos 30 años esta cifra ascienda a 3.400 millones¹. Gran parte de estos residuos acaban en vertedero, lo que supone un gran impacto ambiental y social y una solución poco sostenible en el tiempo. Con todo ello, se generan emisiones a la atmósfera que superan los 1.600 millones de toneladas de gases de efecto invernadero (GEI) a partir de los residuos sólidos generados, lo que se estima en un 5% de las emisiones globales.

La preocupación por el agotamiento de los recursos naturales disponibles y la necesidad de reducción de los residuos generados ha planteado la necesidad de cambiar el modelo económico tradicional hacia un modelo que optimice la utilización de los recursos, los materiales y los productos disponibles. Todo ello al mismo tiempo que se garantice el crecimiento económico, un mayor bienestar de la sociedad y la preservación del capital natural. Este nuevo modelo es lo que se conoce como economía circular.

La economía circular tiene como objetivo mantener el valor de los productos, materiales y recursos durante el mayor tiempo posible, devolviéndolos al ciclo productivo al final de su uso, al tiempo que se minimiza la generación de residuos y las emisiones de GEI asociadas.



Figura 3-1. Esquema de la economía circular. Fuente: Comisión Europea.

De acuerdo a la comunicación de la Comisión Europea de 26 de enero de 2017 sobre el papel de la valorización energética de residuos en la economía circular, este tipo de gestión de residuos es uno de los procesos vitales para el ciclo productivo de la economía circular, siempre que se utilice considerando la jerarquía en la gestión de residuos de la UE. Esta

¹ PNUMA, 2016 (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y Banco Mundial, 2018 (What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050, 2018).

pirámide jerárquica (ver apartado 3.2) se basa en el siguiente orden de prioridad con respecto a la gestión de los residuos: prevención de su generación, preparación para la reutilización, reciclaje, valorización energética y, por último, depósito en vertedero. Tal y como expresa la Comisión Europea, la valorización energética de residuos puede contribuir a descarbonizar sectores clave (como el de la calefacción, la refrigeración o el transporte), así como a reducir las emisiones de GEI del sector de los residuos.

Sobre las consideraciones acerca de la valorización energética para la toma de decisiones, el PNUMA incide en la importancia de la valorización energética, que puede permitir reducir el volumen de desechos que termina en vertedero hasta en un 90%, además de disminuir las emisiones de GEI a la atmósfera.

La valorización energética consiste en la conversión en energía de aquellos residuos que no pueden ser reciclados, ya sea en forma de electricidad, vapor o agua caliente para uso doméstico o industrial. Este proceso es recomendado para los residuos que no pueden ser actualmente reutilizados ni reciclados y vital para otros, como los productos sanitarios, que presentan pocas alternativas viables de gestión.

El aprovechamiento energético de los residuos, utilizando su valor para la generación de electricidad y calor, evita su eliminación en vertedero y los impactos ambientales y sociales asociados a esta.

3.2 Marco normativo y estratégico

En este apartado resumimos el análisis realizado de la regulación aplicable en materia de RU en España.

3.2.1 Marco normativo y estratégico europeo

Desde el año 2008, la gestión de residuos en la UE se rige por la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos, también denominada Directiva Marco de Residuos (DMR), transpuesta al ordenamiento jurídico español a través de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

Entre las novedades introducidas por la DMR, se encuentra la definición de prevención, reutilización, preparación para la reutilización, tratamiento y reciclaje, con el fin de dejar claro el ámbito de aplicación de tales conceptos. Modificó así mismo las definiciones de valorización y eliminación para asegurar una clara distinción entre ambos conceptos, basada en la diferencia en cuanto a los impactos de ambas opciones, reconociendo los beneficios de la valorización para el medio ambiente y la salud humana al utilizarse los residuos como recurso.

En la DMR se introduce además como principio rector de toda la legislación y la política de gestión de residuos, una jerarquía de cinco niveles, entendida como un orden de prioridad a seguir en la adopción de medidas para la gestión de los residuos. Esta misma jerarquía ha sido transpuesta en España tanto a la normativa nacional como a la autonómica y se representa en la siguiente figura.



Figura 3-2. Jerarquía europea en la gestión de residuos. Fuente: Comisión Europea y elaboración propia de la figura.

No obstante, la DMR permite cierta flexibilidad en la aplicación de la citada jerarquía, debiéndose analizar en cada caso las mejores opciones ambientales, considerar las características de los diferentes flujos de residuos a tratar y sus posibles alternativas, teniendo siempre en cuenta los principios generales de precaución, sostenibilidad, viabilidad técnica y económica y protección de los recursos.

La DMR ha sido recientemente modificada por la Directiva UE 2018/851. Si bien esta Directiva introduce algunas modificaciones, la prioridad de la valorización energética frente a la eliminación de los residuos se mantiene vigente.

En la DMR se establecen una serie de objetivos para fomentar la preparación para la reutilización, el reciclaje y la valorización. En concreto:

- Para los residuos municipales las cantidades destinadas a la preparación para la reutilización y el reciclaje deberán alcanzar, en conjunto, como mínimo:
 - El 50% en peso antes de 2020.
 - El 55% en peso antes de 2025.
 - El 60% en peso antes de 2030.
 - El 65% en peso antes de 2035.
- Con el fin de facilitar o mejorar la preparación para la reutilización, el reciclaje y otras operaciones de valorización, los residuos se recogerán por separado y no se mezclarán con otros residuos materiales con propiedades diferentes.

Así mismo, hay que destacar que en el mes de junio de 2018 se publicaron las versiones definitivas de una serie de Directivas que culminan un largo proceso que se inició en

diciembre de 2015, cuando la Comisión Europea presentó un paquete revisado de medidas sobre la economía circular, que incluía el denominado «paquete de medidas sobre residuos», compuesto de cuatro propuestas legislativas.

Dicha legislación revisada intenta abordar los problemas medioambientales con repercusiones transnacionales, incluido el impacto de la gestión inadecuada de los residuos en las emisiones de GEI, la contaminación atmosférica y los vertidos incontrolados, especialmente en el medio marino. Uno de sus objetivos es garantizar que los materiales valiosos contenidos en los residuos sean efectivamente reutilizados, reciclados y reinyectados en la economía europea, ayudando a avanzar hacia una economía circular y a reducir la dependencia de la UE de las importaciones de materias primas, fomentando un uso prudente, eficiente y racional de los recursos naturales.

Las cuatro Directivas aprobadas son las siguientes:

- Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos.
- Directiva (UE) 2018/850 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos.
- Directiva (UE) 2018/852 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 94/62/CE relativa a los envases y residuos de envases.
- Directiva (UE) 2018/849 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifican la Directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil, la Directiva 2006/66/CE relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores y la Directiva 2012/19/UE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Entre los objetivos introducidos por este nuevo paquete legislativo, destacan: (i) garantizar una reducción progresiva del depósito en vertedero de residuos, en particular de los vertidos de residuos aptos para el reciclaje u otro tipo de valorización, como la valorización energética, y (ii) mediante rigurosos requisitos técnicos y operativos en materia de residuos y vertidos, establecer medidas, procedimientos y orientaciones para impedir o reducir, en la medida de lo posible, los efectos negativos en el medio ambiente del vertido de residuos, en particular la contaminación de las aguas superficiales, las aguas subterráneas, el suelo, el aire y en general el medio ambiente del planeta, incluido el efecto invernadero, así como cualquier riesgo derivado para la salud humana, durante todo el ciclo de vida del vertedero de residuos.

Para lograr lo anterior, la Directiva UE 2018/850 introdujo las siguientes obligaciones:

- A partir de 2030, todos los residuos aptos para el reciclaje u otro tipo de valorización, en particular los residuos municipales, no serán admitidos en vertedero, con excepción de aquellos residuos para los cuales el depósito en un vertedero proporcione singularmente el mejor resultado medioambiental.
- En 2035 la cantidad de residuos municipales depositados en vertedero debe reducirse a un máximo del 10% en peso de la cantidad total de residuos municipales generados.

Finalmente, según la comunicación de la Comisión Europea de 11 de marzo de 2020, sobre el nuevo plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y más competitiva, se propone revisar la Directiva 2008/98/CE, presentándose una serie de objetivos de reducción de residuos para flujos específicos. Uno de los nuevos objetivos consistiría en la reducción al 50% de la cantidad de RU residuales (no reciclados) en 2030, con respecto a 2020.

3.2.2 Marco normativo y estratégico español

Dada la reciente publicación de las últimas cuatro Directivas mencionadas, el contenido de las mismas no se encuentra todavía transpuesto en las normativas nacional y autonómica. En cualquier caso, a continuación, G-advisory presenta los diferentes marcos normativos vigentes.

Como explicamos anteriormente, la DMR se transpuso al ordenamiento jurídico español mediante la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, que sustituyó a la anterior Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos. Esta Ley incorpora todos los objetivos incluidos en la DMR.

Bajo el amparo de la Ley 22/2011, la incineración energéticamente eficiente (cumplidos unos rendimientos mínimos recogidos en la propia Ley) es una opción de gestión que ha de anteponerse a la opción de eliminación, si bien debe estar condicionada al cumplimiento de los objetivos establecidos de prevención y reciclado, orientados a la prevención y a maximizar el aprovechamiento material de los residuos.

La Ley 22/2011 establece que el Ministerio competente en materia de medio ambiente elaborará la normativa marco nacional en materia de residuos. A este respecto, está actualmente vigente el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022, aprobado en Consejo de Ministros el día 6 de noviembre de 2015, mientras que el Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020, aprobado en noviembre de 2012, ha perdido su vigencia en este año 2021.

- El PEMAR establece las líneas estratégicas para la gestión de los residuos en el período 2016-2022 y las medidas necesarias para cumplir los objetivos comunitarios en esta materia. El objetivo final del Plan es sustituir una economía lineal por una economía circular. El PEMAR aplica el principio de jerarquía establecido en la normativa comunitaria de residuos, especialmente para reducir el depósito de residuos en vertedero, mediante el incremento de la preparación para la reutilización, el reciclaje y otras formas de valorización, incluida la valorización energética. Este Plan introduce, entre otros, varios objetivos en lo referente a la gestión y eliminación de residuos:
 - No depositar en vertedero residuos municipales sin tratar, de acuerdo a lo fijado en el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.
 - Antes de 2020, la cantidad de residuos domésticos y comerciales destinados a la preparación para la reutilización y el reciclaje para las fracciones de papel, metales, vidrio, plástico, biorresiduos y otras fracciones reciclables debería alcanzar, en conjunto, como mínimo el 50% en peso.

- En 2020, limitar el vertido total de residuos municipales generados al 35%.

En junio de 2020 se aprobó la Estrategia Española de Economía Circular que marca actuaciones para esta década que permitan, entre otros, reducir en un 30% el consumo nacional de materiales, mejorar un 10% la eficiencia en el uso del agua y recortar un 15% la generación de residuos respecto a 2010, lo que posibilitaría situar las emisiones de GEI del sector residuos por debajo de los 10 millones de toneladas en 2030.

El Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, con el objetivo de adaptar el vertido a la economía circular. En él, se especifican los residuos admisibles en vertedero, así como el objetivo de vertido, que es el mismo que establece la UE: máximo del 10% en peso de residuos municipales que acaba en vertedero para 2035. Para ello establece los objetivos parciales de máximo del 40% para 2025 y del 20% para 2030.

Por último, destacar que el 2 junio de 2020 el Consejo de Ministros, a propuesta del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, dio luz verde a un nuevo Anteproyecto de Ley de Residuos y Suelos Contaminados, que fue sometido al trámite de información pública entre el 3 de junio y el 3 de julio de 2020, y se encuentra actualmente en fase de tramitación. Se espera que sea aprobado entre marzo y abril en el Consejo de Ministros, para posteriormente ser enviado a las Cortes para su tramitación definitiva. Este Anteproyecto tiene el objetivo de impulsar la economía circular y la reducción de determinados productos plásticos, reforzando la jerarquía de gestión de residuos e incorporando objetivos de reducción de la generación: al objetivo de reducción del 10% en 2020 del peso de los residuos producidos se añaden los objetivos de un 13% en 2025 y de un 15% en 2030, en todos los casos respecto a los generados en 2010.

3.2.3 Evolución de los objetivos de reducción de emisiones en la Unión Europea y España

La UE ha venido definiendo y actualizando objetivos europeos de reducción de emisiones de GEI, en los que la valorización energética, por sus menores emisiones que el depósito en vertedero como veremos en el presente estudio, puede jugar un papel importante.

Desde 2008 se estableció un compromiso de reducción de emisiones a través del Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático, donde se fijó un objetivo a 2020 de reducción de emisiones del 20% con respecto a los niveles de 1990, así como un mínimo de 20% de renovables en el consumo de energía. A nivel estatal a España le correspondía, para lograr el objetivo europeo de emisiones, reducir en 2020 un 10% el nivel de emisiones de GEI respecto de 2005.

Para el periodo 2021-2030, el Marco de Políticas de Energía y Cambio Climático del Consejo Europeo de octubre de 2014, fijó objetivos vinculantes para 2030 de reducción de las emisiones en un 40% con respecto a 1990, así como al menos un 27% de energías renovables en el consumo de energía.

El reciente Pacto Verde Europeo, aprobado en diciembre 2019, es todavía más ambicioso; un plan que incluye 50 acciones concretas para la lucha contra el cambio climático, que pretende convertir a Europa en el primer continente climáticamente neutro en el año 2050. En este sentido, pretende rebajar las emisiones en un 50% o un 55% para el año 2030 a través de instrumentos como (i) el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión, con posible extensión a sectores nuevos, (ii) los objetivos de los Estados Miembros para reducir las

emisiones en sectores no incluidos en dicho régimen, (iii) la regulación del uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura y (iv) la actual propuesta de la Comisión para una primera Ley Europea del Clima que regule los objetivos del Pacto Verde Europeo.

En España, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC), de enero 2020, establece un conjunto de actuaciones para tratar de alcanzar una reducción de emisiones de GEI en 2030 de un 23% respecto a 1990. Los sectores difusos, entre los que se encuentra la gestión de residuos, contribuirían con un 39% de reducción frente a las emisiones de 2005. El PNIEC cuenta con un conjunto de medidas para la reducción de emisiones en la gestión de los residuos que integra la recogida selectiva, la gestión del biogás fugado en vertederos y el fomento de la valorización energética de residuos forestales y otros restos de cultivos.

En mayo de 2020, el Gobierno envió a las Cortes el primer proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética para alcanzar la neutralidad de emisiones a más tardar en 2050. España pretende fijar por ley un objetivo de reducción de emisiones de GEI de un 20% a 2030 respecto a los niveles de 1990, alineándose con los nuevos objetivos, más ambiciosos, de la UE.

3.2.4 Resumen de objetivos y compromisos

Del análisis del marco comunitario y estatal, se desprenden los siguientes objetivos y compromisos:

| Compromiso Residuos | Horizonte temporal | Vinculación normativa/estratégica |
|---|--------------------|---|
| Prioridad de la valorización energética frente a la eliminación de residuos. | A partir de 2008 | Directiva 2008/98 |
| El 50% en peso de los RU a preparación para la reutilización y el reciclaje. | 2020 | Directiva 2008/98, Ley 22/2011 y PEMAR |
| El 55% de los RU a preparación para la reutilización y el reciclaje. | 2025 | Directiva 2018/851 |
| El 60% de los RU a preparación para la reutilización y el reciclaje. | 2030 | |
| El 65% de los RU a preparación para la reutilización y el reciclaje. | 2035 | |
| No se admitirán residuos valorizables (en particular residuos municipales) en vertedero. | A partir de 2030 | Directiva 2018/850 |
| Reducir al 10% en peso la cantidad de RU depositada en vertedero. | 2035 | |
| Reducir a la mitad la cantidad de RU residuales (no reciclados) con respecto a 2020. | 2030 | Comunicación Comisión Europea (11/03/2020) |
| Reducir los residuos generados en un 10% en peso respecto de los residuos generados en 2010. | 2020 | Ley 22/2011 y Programa Estatal de Residuos |
| Máximo del 40% en peso de residuos municipales que acaba en vertedero. | 2025 | RD 646/2020 |
| Máximo del 20% en peso de residuos municipales que acaba en vertedero. | 2030 | |
| Máximo del 10% en peso de residuos municipales que acaba en vertedero. | 2035 | |
| Limitar al 35% el vertido total de RU generados. | 2020 | PEMAR |
| Reducir los residuos generados en un 10% en 2020, un 13% en 2025 y un 15% en 2030, en todos los casos respecto a los generados en 2010. | 2025 y 2030 | Anteproyecto de Ley de Residuos y Suelos Contaminados |

| Compromiso Residuos | Horizonte temporal | Vinculación normativa/estratégica |
|--|--------------------|---|
| Incremento de la preparación para la reutilización y reciclaje de residuos municipales hasta un mínimo del 55% en peso en 2025, 60% en 2030 y 65% en 2035. | 2025, 2030 y 2035 | |
| Emisiones | Horizonte temporal | Vinculación normativa/estratégica |
| UE: reducción de emisiones del 20% con respecto a los niveles de 1990. España: 10% de reducción con respecto a 2005. | 2020 | Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático |
| UE: reducción de las emisiones en un 40%, respecto a 1990. | 2030 | Marco de Políticas de Energía y Cambio Climático 2021-2030 |
| UE: reducción de emisiones en un 50%-55% respecto a 1990. UE: neutralidad climática (balance neto de emisiones cero). | 2030 2050 | Pacto Verde Europeo |
| España: reducción de al menos 20% respecto a 1990 (revisable). | 2030 | Proyecto de Ley de cambio climático y transición energética (mayo 2020) |
| España: neutralidad climática. | 2050 | |

Tabla 3-1. Compromisos y objetivos en gestión de residuos y emisiones a la atmósfera.

Se observa como existen numerosos objetivos relacionados con la disminución del depósito en vertedero, tanto a nivel europeo como estatal. Así, no se admitirán residuos valorizables (en particular residuos municipales) en vertedero a partir de 2030, y la cantidad de residuos que se depositan en vertedero deberá reducirse progresivamente al 40% para 2025, al 20% para 2030 y al 10% para 2035.

3.3 Perspectivas de cumplimiento de los compromisos europeos

La Directiva 2008/98 establecía que, antes de 2020, el 50% de los RU debería prepararse para su reutilización o reciclaje, aspecto que parece complicado que vaya a cumplir España, con datos de reciclado en 2018 de un 33,8% de los residuos -último año con datos disponibles-, según datos de 2020 del MITECO. Este compromiso aumenta un 5% cada 5 años, hasta llegar a un 65% de los residuos reutilizados o reciclados antes de 2035, objetivos incorporados también en el Anteproyecto de Ley de Residuos y Suelos Contaminados. En este sentido, la evolución temporal muestra un ascenso progresivo del reciclaje, pudiendo llegar a cumplirse alguno de los citados compromisos de 2025, 2030 o 2035.

La Directiva 2018/850 introdujo las obligaciones de no admitir en vertedero cualquier tipo de residuo reciclable o valorizable a partir de 2030. Asimismo, esto se debería materializar 5 años después, reduciendo la cantidad de RU depositados en vertedero a un máximo del 10% en peso antes de 2035. A pesar de que la valorización energética y, especialmente, el reciclaje, han ido evolucionando positivamente, parece especialmente ambicioso que España pueda pasar de más del 50% de depósito en vertedero en 2017 a menos del 10% en 2035.

Desde un punto de vista europeo, y de acuerdo con las estimaciones de CEWEP (Confederation of European Waste-To-Energy Plants) en 2019, se necesitaría un incremento de 40 millones de t/año de capacidad en las plantas de valorización energética de residuos, lo que permitiría llegar a una capacidad de 142 millones de t/año de residuos que estiman necesaria para cumplir los objetivos fijados para 2035.

En cuanto a los compromisos de reducción de emisiones, el objetivo para 2020 que establecía el Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático, suponía una reducción del 20% con respecto a 1990. En este sentido, la UE redujo sus emisiones un 22% entre 1990 y 2017, por lo que el informe SOER 2020² establece un pronóstico positivo de cumplimiento de dicho objetivo. Sin embargo, la Agencia Europea del Medio Ambiente reconoce que es necesario un esfuerzo adicional importante para alcanzar los objetivos marcados a 2030 y 2050.

A nivel nacional, España se encuentra en la senda de cumplimiento de su compromiso particular, ya que las emisiones en 2017, de acuerdo al Cuarto Informe Bienal de España sobre la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (MITECO, diciembre de 2019) habían disminuido un 23% con respecto a 2005. No obstante, hay que tener en cuenta que el año 2005 presentó unas emisiones muy por encima de la media, y que con respecto a 1990 las emisiones de 2017 habían aumentado un 17,9%, aunque ese no sea el año de comparación para España en este caso. El sector de los residuos supuso un 4% de las emisiones en 2017.

Los compromisos a 2030 y 2050 establecidos en el nuevo Proyecto de Ley de cambio climático y transición energética fijan un objetivo de reducción de emisiones de GEI de un 20% a 2030 respecto a los niveles de 1990, alineándose con los ambiciosos objetivos de la UE. Según el escenario tendencial del PNIEC, es decir, aquel en el que se mantiene la tendencia actual sin medidas adicionales, se proyecta un aumento de emisiones del 8% para 2030, con respecto a 1990. Por ello, España debe apostar fuertemente por la inversión en la reducción de emisiones para cumplir con los objetivos marcados por la UE. Las reducciones de emisiones en el sector de los residuos (4% del total en 2017, como hemos indicado) contribuirían a la consecución de dichos objetivos.

3.4 Los residuos urbanos en Europa

Los países de la UE generaron, de media, 489 kg de RU por habitante en 2018³, con un alto rango de variabilidad entre ellos. España se sitúa ligeramente por debajo, con 475 kg/habitante. Entre los países con una mayor generación se encuentran Dinamarca (766 kg/habitante), Malta (640 kg/habitante) y Alemania (615 kg/habitante). Por otra parte, los países que menos residuos generan por habitante son Chequia (351), Polonia (329) y Rumanía (272).

²El medio ambiente en Europa. Estado y perspectivas 2020. Informe SOER, 2019. Agencia Europea de Medio Ambiente, 2019.

³ [Municipal Waste Statistics](#), Eurostat, 2019.

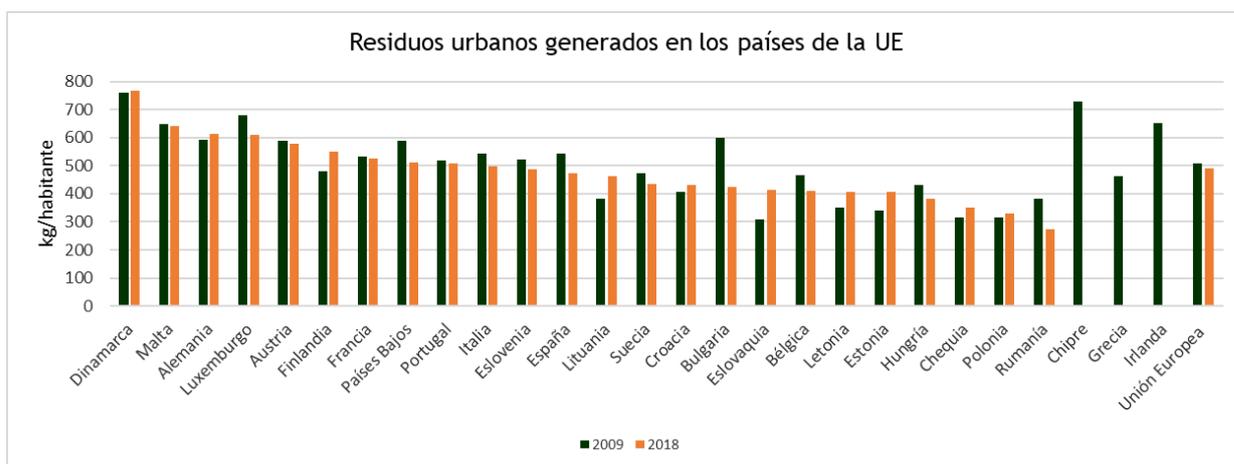


Figura 3-3. Residuos urbanos generados en los países de la UE en 2009 y 2018 (en kg por habitante).
Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2019).

En cuanto al destino del tratamiento de los RU, según Eurostat la media europea para el año 2018 (considerando los 27 miembros de la UE desde el 31 de enero de 2020), presenta un 49% destinado a reciclaje o compostaje, un 27% a valorización energética y un 24% a vertedero.

Como se observa en la figura 2-4, la proporción en la que gestionan sus residuos los diferentes países de la UE es muy variable. En países como Malta, Grecia o Chipre más del 80% de los residuos urbanos acaba en vertedero y prácticamente nada de ellos es valorizado energéticamente. Esto contrasta con países como Alemania, Dinamarca, Suecia o Finlandia en los que el depósito en vertedero es mínimo (menos del 1%), y alrededor de la mitad de los residuos es reciclada y la otra mitad, valorizada energéticamente (salvo en el caso de Alemania, donde reciclan cerca del 70% de los residuos). Se aprecia, por tanto, que existe una correlación entre los países que menos depositan en vertedero y los que más valorizan, pudiéndose comprobar que la valorización energética sustituye principalmente al depósito en vertedero y no al reciclaje.

El tratamiento de los residuos ha tenido una importante evolución en el periodo de 1995 a 2018 (ver figura 2-5). El vertido de residuos ha disminuido en algo más del 60%. Frente a dicha disminución se encuentra el crecimiento tanto del reciclaje como de la incineración (con y sin aprovechamiento energético). El mayor crecimiento se ha producido en el reciclaje y compostaje, de un 17% a un 47% en dicho periodo. La incineración⁴ ha aumentado un 117% en el periodo 1995-2018, hasta alcanzar el tratamiento del 28% del total de los RU.

⁴ La incineración de residuos consiste en el tratamiento térmico y eliminación de los mismos, con o sin recuperación del calor generado. La valorización energética, por su parte, es la incineración de residuos con aprovechamiento energético, es decir, la valorización energética utiliza los residuos como combustible para la producción de calor en primera instancia y energía eléctrica en segunda instancia.

Para que la incineración de RU sea considerada como operación de valorización en el marco de la jerarquía de gestión de RU, la Directiva 2008/98/CE y la Ley 22/2011 establecen la necesidad de alcanzar o superar una eficiencia energética de 0,65. De no llegarse a este valor, el tratamiento se considerará incineración sin aprovechamiento energético.

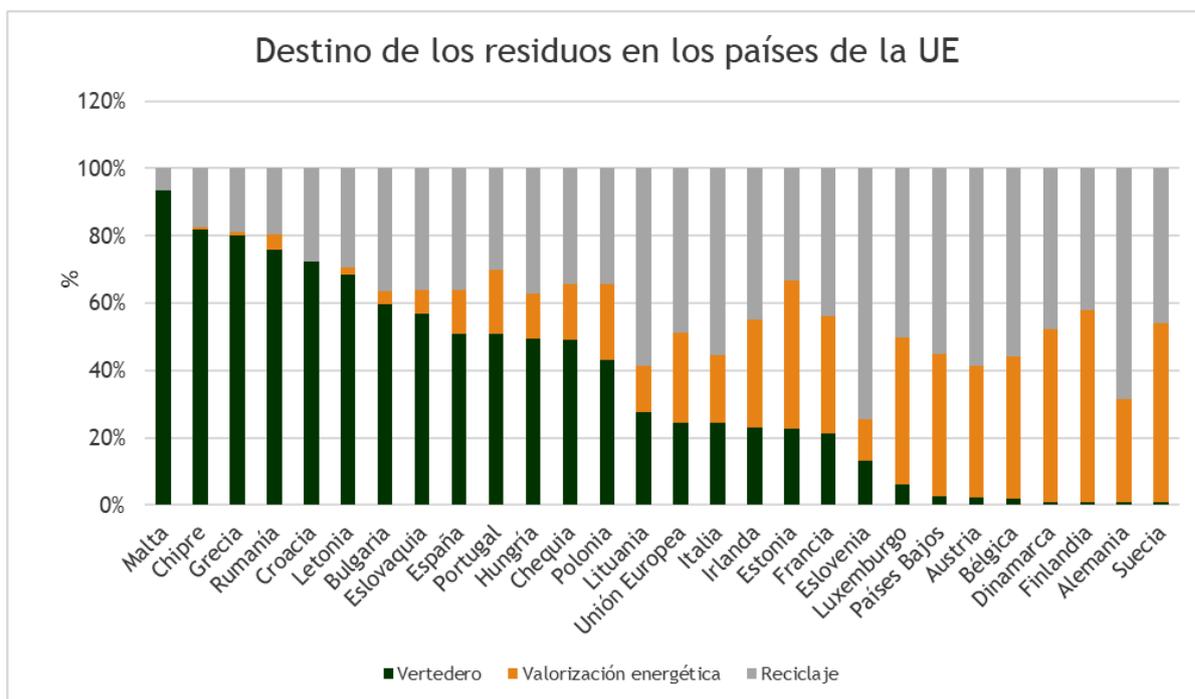


Figura 3-4. Destino de los residuos en países de la UE en porcentaje (datos de 2018 excepto para Grecia, Irlanda y Chipre, que son de 2017). Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2020).

Municipal waste treatment, EU-28, 1995-2018
(kg per capita)

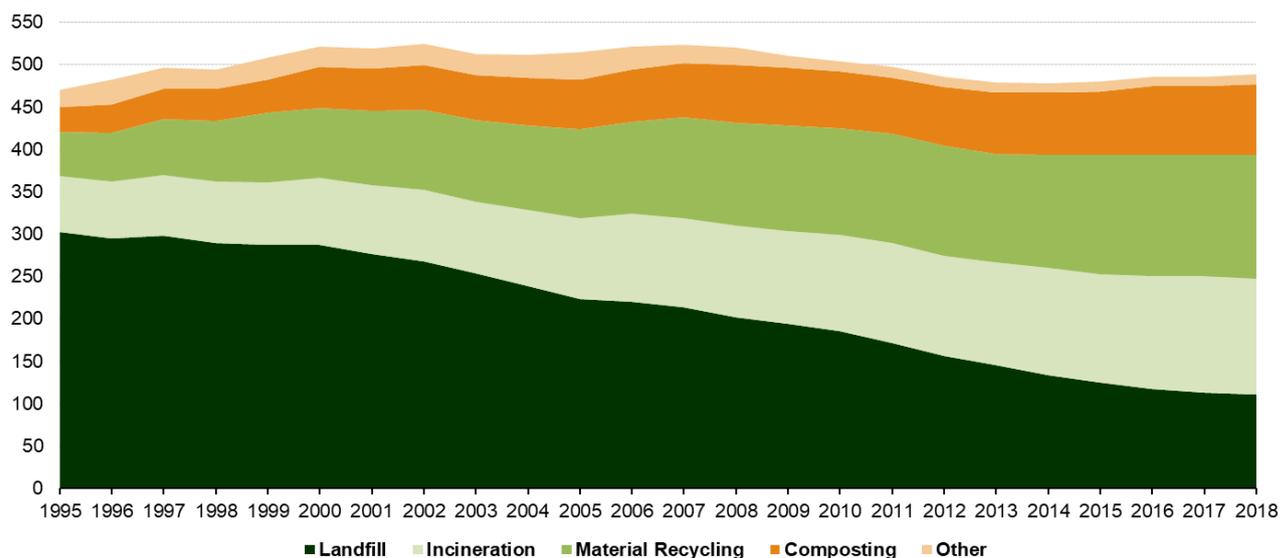


Figura 3-5. Tratamiento de los residuos urbanos generados en los países de la UE entre 1995 y 2018 (en kg por habitante). Se incluyen los 28 Estados miembros de 2018 (Reino Unido incluido). Fuente: Eurostat (2019).

3.5 Los residuos urbanos en España

En 2017 se produjeron en España 483,9 kg de RU por persona, lo que supone un total de 22,5 millones de toneladas de RU. El tratamiento de los RU en España incluye, fundamentalmente, el depósito en vertedero, el reciclaje y la valorización energética. Su distribución porcentual del año 2018 es la que se presenta en la figura 2-6.

El principal sistema de gestión de los RU en España sigue siendo su eliminación directa en vertederos, donde se envía un 56,3% (12,7 millones de t) de los RU generados, seguido del reciclaje, que supone un 33,8% (7,6 millones de t) y la valorización energética con un 9,9% (2,2 millones de t). Se puede observar que, para cumplir los objetivos europeos y nacionales de reducción del vertido, que culminan con el objetivo de un máximo del 10% en peso de los residuos a vertedero para 2035, no será suficiente a priori con un aumento del reciclaje, si no que este deberá ir acompañado necesariamente de un incremento de los residuos destinados a valorización energética.

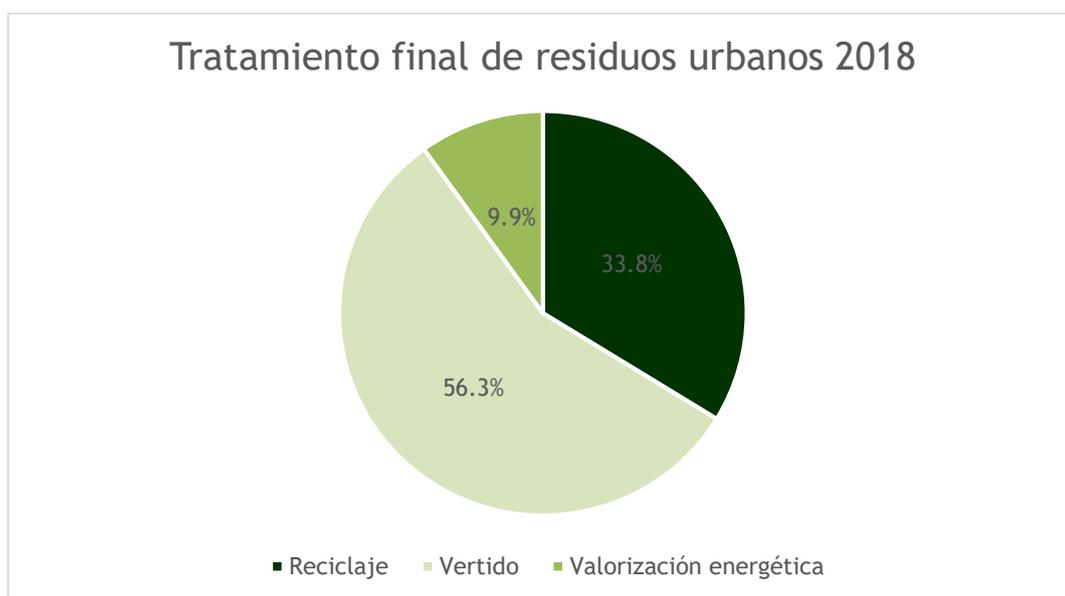


Figura 3-6. Porcentaje de destino de los RU en 2018. Fuente: elaboración propia a partir de datos del MITECO (2020).

En cuanto a la evolución de la gestión de los residuos en los últimos años, la tendencia muestra una cierta disminución del porcentaje de residuos que se destina a vertedero (más del 4% en 9 años) y un incremento del reciclaje (1,6% en 9 años) y de la valorización energética (2,6% en 9 años). Son tendencias en cualquier caso suaves, poco marcadas.

| | Reciclaje | Vertido | Valorización energética |
|------|-----------|---------|-------------------------|
| 2010 | 32,2% | 60,5% | 7,3% |
| 2011 | 31,3% | 60,3% | 8,4% |
| 2012 | 34,9% | 56,8% | 8,3% |
| 2013 | 35,3% | 55,9% | 8,8% |
| 2014 | 31,8% | 58,8% | 9,4% |
| 2015 | 32,5% | 57,8% | 9,6% |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 2016 | 32,6% | 56,9% | 10,5% |
| 2017 | 33,8% | 56,2% | 10,0% |
| 2018 | 33,8% | 56,3% | 9,9% |

Tabla 3-2. Porcentaje destinado a reciclaje, vertedero y valorización energética en España entre 2010 y 2018. Fuente: elaboración propia a partir de datos del MITECO (2020).

La figura a continuación muestra la evolución descrita anteriormente de las cantidades tratadas en el mismo periodo 2010-2018, así como los RU totales. Desde el 2010 se produjo una reducción en la generación de RU, pasando de más de 26 millones de toneladas en 2010 a algo menos de 22 millones en 2014, todo ello vinculado a la crisis económica que se inició en 2008. La dinámica de reducción de residuos se invirtió a partir de 2014, coincidiendo con el repunte del crecimiento económico español. A partir de esta fecha, los residuos aumentan año a año hasta llegar a más de 22,5 millones de toneladas de residuos en 2017, aún por debajo de las 26 millones de toneladas generadas en 2010.

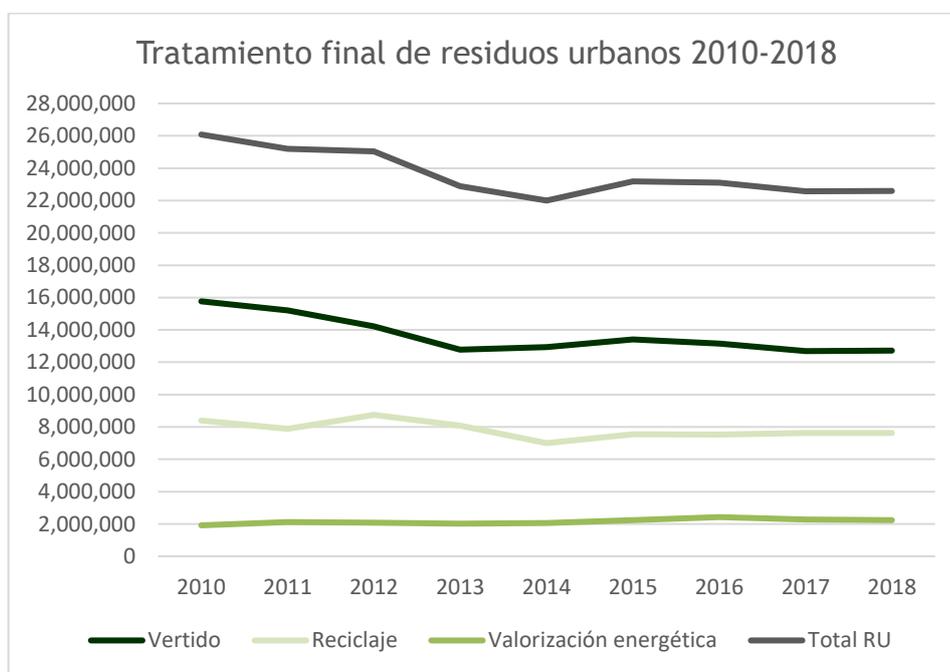


Figura 3-7. Evolución de las toneladas de residuos destinados a vertedero, a reciclaje y a valorización energética, así como el total de RU en España entre 2010 y 2018. Fuente: elaboración propia a partir de datos del MITECO (2020).

3.6 La valorización energética en Europa y España

La media de la UE es de un 26% de valorización energética del total de los RU generados, mientras que España, con un 12,7%, se encuentra alejada de este valor.

A partir del 2009 se aprecia un incremento de la valorización energética en casi todos los países europeos. Esto refleja el progresivo avance de este destino de los RU, que va sustituyendo paulatinamente al depósito en vertedero. Como excepción se encuentran algunos países europeos que siguen sin realizar valorización energética de residuos (Irlanda, Malta, Grecia y Chipre) y Portugal, donde ha disminuido.

La lista la encabezan Finlandia y Suecia, con un 57% y 53%, respectivamente, en 2018. Es destacable como numerosos países han incrementado notablemente su porcentaje destinado a valorización energética entre 2009 y 2018.

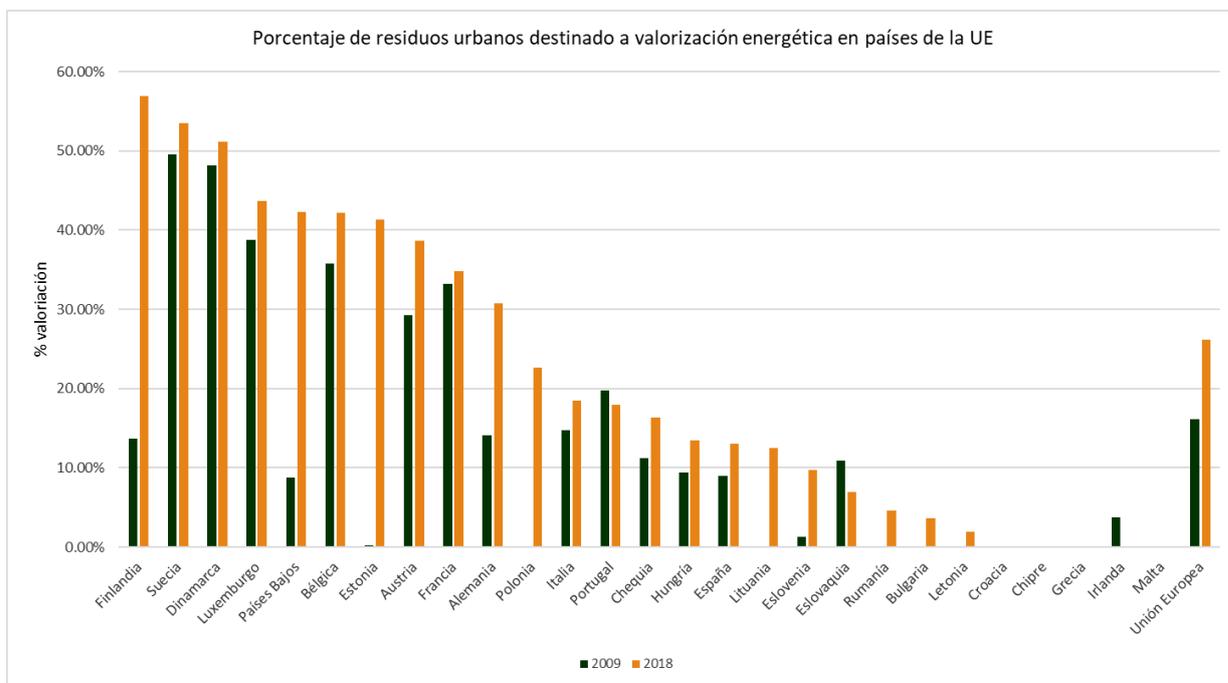


Figura 3-8. Porcentaje de RU destinado a valorización energética en los países de la UE en 2009 y 2018. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2019).

En cuanto a España, como se ha visto anteriormente, la valorización energética ha experimentado un ligero incremento como destino de los RU entre 2010 y 2016, pasando después a disminuir hasta 2018. En cualquier caso, las diferencias son pequeñas y se puede decir que la evolución de la valorización energética es bastante plana. Como se puede ver en la figura a continuación, se ha pasado de 1,9 millones de toneladas de RU en 2010 a 2,2 millones en 2018. La tendencia media es ligeramente ascendente.

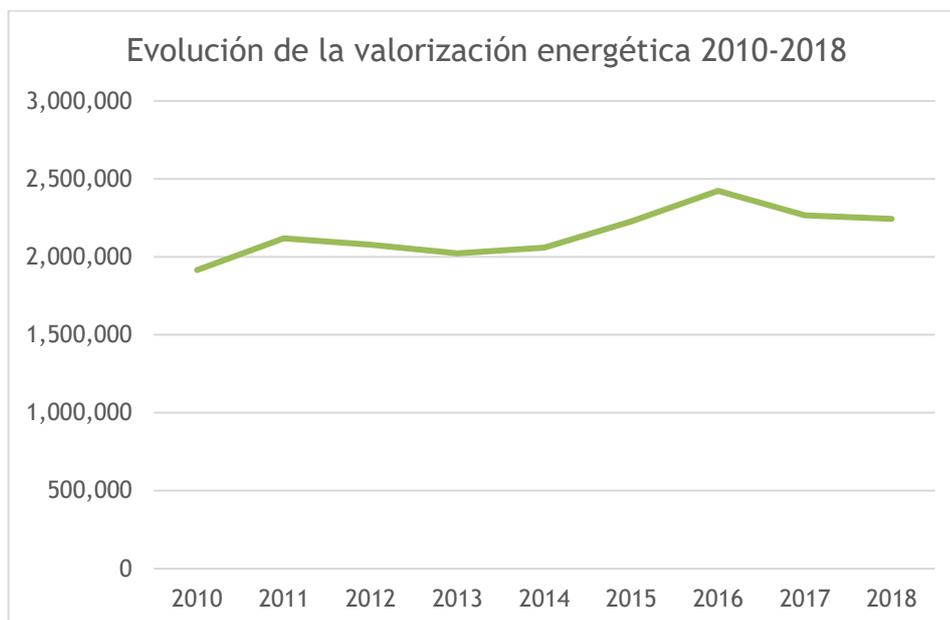


Figura 3-9. Evolución de la valorización energética de RU en España entre 2010 y 2018 (toneladas).
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2019).

A continuación se muestra una comparativa entre la evolución de la valorización energética y el vertido, tanto en España como en la Unión Europea:

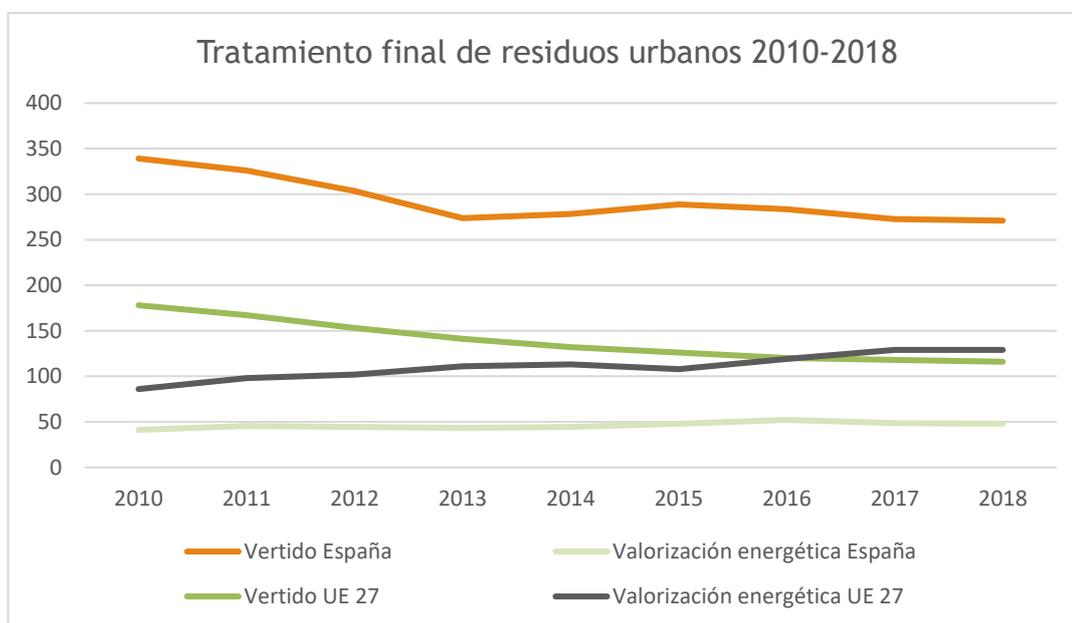


Figura 3-10. Evolución de la valorización energética y el vertido en España y en la Unión Europea (con los 27 países que hay desde el 31 de enero de 2020), en kg por habitante y año. Fuente: elaboración propia a partir de datos del MITECO (2020) y Eurostat (2019).

En la figura anterior se observa un descenso de los kg de RU por habitante destinados a vertedero tanto en Europa como en España, en el periodo 2010-2018, si bien los residuos con dicho destino en España son muy superiores a la media europea. El crecimiento de la

valorización energética en Europa es notable para el mismo periodo 2010-2018, mientras que esta tendencia es mucho menos marcada en España.

3.7 Conclusiones del papel de la valorización energética de residuos urbanos

Entre los principales compromisos legales y estratégicos en materia de gestión de RU en Europa, destacan los siguientes:

- La jerarquía en la gestión de los residuos debe estar presente en las políticas y medidas adoptadas por los Estados Miembros para cumplir con los compromisos europeos: preparación para la reutilización o reciclaje de todo aquello que sea posible y evitar la eliminación en vertedero.
- Según lo establecido en la Directiva 2018/850, se prohíbe la admisión de RU valorizables en vertedero a partir de 2030 y deberá conseguirse reducir al 10% en peso la cantidad de RU depositado en vertedero antes de 2035. Estos compromisos son especialmente desafiantes para España, que en el año 2017 depositaba en vertedero más del 50% de los RU.

En este sentido, la valorización energética ha experimentado en España un ligero aumento en la última década, pasando de 1,9 millones de t/año de RU en 2010 a 2,2 millones de t/año en 2018. A pesar de dicha evolución, a día de hoy, en España el 56,3% de los RU se depositan en vertedero frente al 9,9% que se destina a valorización energética.

Tanto en Europa como en España, el incremento de la valorización energética ha venido acompañado en la práctica de un incremento aún mayor del reciclaje y en detrimento del depósito en vertedero.

La actual tendencia europea de incremento de la reutilización y el reciclaje, acompañada de una mayor valorización energética, se presentan como parte fundamental para el cumplimiento de los compromisos europeos en materia de gestión de residuos urbanos y siguiendo la jerarquía definida de gestión de residuos. A día de hoy, un incremento del reciclaje no es suficiente a priori para cumplir con los objetivos de vertido, y debe ir acompañado necesariamente de un aumento de la valorización energética de residuos. Esto contribuirá así mismo a lograr los objetivos de reducción de emisiones de GEI.

4. HUELLA DE CARBONO

4.1 Introducción

La huella de carbono mide la totalidad de GEI emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto, con el fin de determinar su contribución al cambio climático y se expresa en toneladas de CO₂ equivalentes (tCO₂e). Los GEI fundamentales, conforme regula el IPCC⁵, son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos de hidrofluorocarbonos (HFC), los compuestos de clorofluorocarbonos (CFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆).

Emisiones de GEI en la valorización energética de residuos urbanos

La valorización energética de residuos urbanos, consistente en la oxidación total de los residuos en exceso de aire y a temperaturas superiores a 850°C, produce una serie de emisiones de GEI. Éstas son debidas fundamentalmente a la combustión de los residuos que se lleva a cabo y secundariamente a otros procesos asociados, como el transporte o el consumo de energía de fuentes externas. Estas emisiones se pueden clasificar en directas e indirectas.

Las emisiones directas corresponden al CO₂ emitido por la combustión de los residuos, el CO₂ emitido por el combustible auxiliar empleado, el CO₂ emitido por los vehículos propiedad de la planta de valorización y las emisiones de N₂O. De las emisiones, sustraemos el CO₂ derivado del carbono biogénico, esto es, el correspondiente a la biomasa que se encuentra en los residuos urbanos valorizados, puesto que ese CO₂ había sido absorbido previamente mediante el proceso natural de fotosíntesis, y por tanto no se tiene en cuenta para el cálculo de las emisiones.

Las emisiones indirectas son aquellas debidas a la compra de electricidad de fuentes externas, en el caso de que esta electricidad no provenga de fuentes renovables, así como las relativas al transporte por parte de vehículos que no sean propiedad o no estén controlados por la planta de valorización, y por lo tanto no hayan sido incorporadas como emisiones directas.

Por otra parte, debido a que el proceso de valorización genera energía, se evitan las emisiones que se hubiesen producido de haber sido generada una cantidad equivalente de energía por otros métodos, por lo que disminuyen el balance neto. En el caso de la energía eléctrica, en España y según datos de Red Eléctrica de España (REE), en 2019 el mix energético de la España peninsular emitió, de media, 170 kg de CO₂e por MWh producido. De forma adicional, también se produce una cierta reducción de las emisiones por el reciclaje de las escorias generadas en el proceso de valorización.

⁵ Panel Intergubernamental de Cambio Climático o IPCC (<http://www.ipcc.ch/>).

Emisiones de GEI en vertederos de residuos urbanos

La eliminación de residuos urbanos en vertedero consiste básicamente en depositar los mismos en un vaso de vertido, vaso que se encuentra impermeabilizado para procurar evitar al máximo la contaminación del terreno.

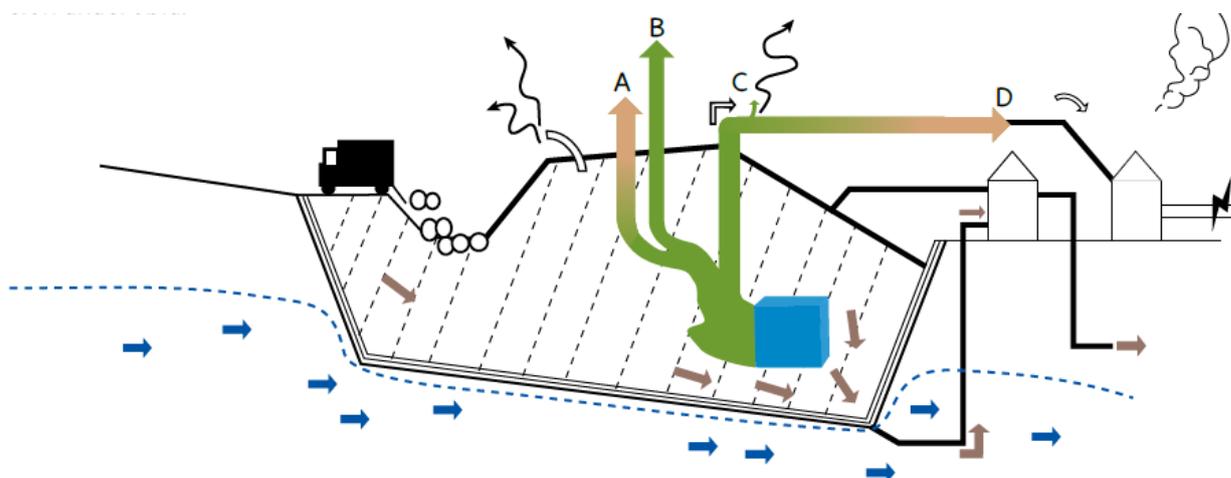
Los vertederos son una de las principales fuentes de emisión de GEI en el sector de la gestión de residuos. La eliminación de residuos urbanos en vertedero genera biogás en la fermentación de dichos residuos. El biogás está compuesto por metano -proveniente de la descomposición anaerobia de los componentes orgánicos de los residuos-, CO₂ -procedente de la descomposición aerobia- y, en menor medida por N₂, O₂, H₂S, CO, NH₃, H₂ y COVs.

En la actualidad la mayoría de los vertederos en España cuentan con sistemas de captación del biogás producido en las celdas de vertido. Su eficiencia puede variar desde el 10% hasta más del 90% en algunos casos. Los gases captados se pueden eliminar quemándose en una antorcha o utilizarse para producir electricidad o calor, típicamente mediante motores de cogeneración. De manera análoga a la valorización energética, el biogás capturado y destinado a motores, da lugar a una generación de electricidad que se inyecta a la red y contribuye a desplazar el mix eléctrico y, por tanto, se traduce en emisiones evitadas que disminuyen el balance neto.

Sin embargo, una proporción de los gases producidos no son captados y se convierten en emisiones difusas, que llegan a la atmósfera por diversos motivos (antes de que las celdas de vertido se cierren, atravesando la cubierta de las celdas, vertederos al aire libre, etc.) y tras sufrir un proceso de oxidación parcial. Las emisiones que se generan son variables en el tiempo y también en función de la naturaleza del residuo. Aumentan rápidamente en los primeros años tras el vertido y luego van reduciéndose de forma lenta durante muchos años. Mediante la combustión del biogás se convierte el metano capturado en CO₂, con un potencial de calentamiento global 25 veces menor.

En los vertederos también se producen emisiones indirectas derivadas de la compra de electricidad de fuentes externas y del transporte por parte de vehículos que no sean propiedad o no estén controlados por la propia instalación, y por lo tanto no hayan sido incorporadas como emisiones directas.

El siguiente esquema muestra las distintas fuentes de emisión:



- A: El gas se oxida dentro de la capa de cubrición y migra a la atmósfera: únicamente CO_2 .
- B: Difusión del gas de vertedero a la atmósfera: CO_2 y CH_4 .
- C: Fuga en el sistema de recogida de gas del vertedero: CO_2 y CH_4 .
- D: Eliminación o valorización del gas (antorcha, motor o turbina): CO_2 .

Figura 4-1. Fuentes de emisión de gases de un vertedero. Fuente: European Environment Agency - EEA- (2005).

4.2 Metodología de cálculo

Los cálculos de huella de carbono resumidos en el presente informe tienen como base las directrices del GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol), organización que proporciona las normas de contabilidad de GEI más utilizadas y reconocidas internacionalmente.

Adicionalmente, hemos utilizado como referencia específica para el sector el protocolo de cálculo de emisiones de GEI en las actividades de gestión de residuos -EpE Protocol⁶-, construido a partir del GHG Protocol y en conformidad con el mismo.

Los cálculos de huella de carbono se han desarrollado en una hoja de cálculo, tomando como base la herramienta de cálculo de la Asociación de Empresas Gestoras de Residuos y Recursos Especiales (ASEGRE), que en 2006 puso a disposición de las empresas españolas gestoras de residuos una herramienta de cálculo de emisiones de GEI y el “Protocolo para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero en actividades de gestión de residuos”. La herramienta de ASEGRE parte a su vez de la desarrollada por la asociación francesa EpE (Entreprises pour l'Environnement) y su correspondiente protocolo de cálculo asociado.

La herramienta de cálculo de ASEGRE ha sido adaptada por G-advisory a las necesidades del presente estudio, siguiendo las pautas del IPCC (2006) y actualizando los factores de emisión a los más recientes publicados y más equiparables a la realidad de nuestro estudio (ver siguientes apartados).

⁶ Protocol for the quantification of greenhouse gas emissions from waste management activities. [Version 5.0. October, 2013.](#)

Por su parte, para la estimación de la huella de carbono del depósito en vertedero, hemos considerado los datos disponibles en el Inventario Nacional de GEI del MITECO (marzo, 2020).

4.2.1 Principales fuentes de información

La principal fuente de información de datos de las plantas de valorización energética en España y Andorra ha sido AEVERSU, que ha centralizado la información de cada una de las instalaciones que forman parte de la Asociación. El estudio se ha elaborado con la información de base de las siguientes instalaciones pertenecientes a AEVERSU: CTRASA, SIRUSA, SOGAMA, TERSA, TIRCANTABRIA, TIRMADRID, TIRME y UTETEM. Cada compañía es propietaria de una instalación de valorización energética, por lo que en el presente informe nos referiremos indistintamente a empresas o a instalaciones.



Figura 4-2. Mapa de las instalaciones de AEVERSU que han participado en el estudio. Fuente: elaboración propia.

Los valores aportados por las distintas instalaciones para el cálculo de la huella de carbono, correspondientes al año 2019, se presentan agregados a continuación y permiten destacar que el conjunto de plantas de valorización energética del estudio tratan anualmente 2,2 millones de toneladas de RU y venden 1 TWh/año de energía eléctrica.

| Información de las plantas de valorización de RU de AEVERSU | Valor | Unidad |
|---|-----------|-----------------|
| Residuos | | |
| Cantidad de RU valorizada energéticamente | 2.248.495 | t |
| Cantidad de escorias generadas | 347.588 | t |
| Cantidad de cenizas generadas | 152.946 | t |
| Consumos | | |
| Consumo de gasoil | 1.332.591 | l |
| Consumo de gas natural | 7.470.420 | Nm ³ |
| Consumo de electricidad de fuentes externas | 267.799 | MWh |
| Consumo de calor de fuentes externas | 0 | MWht |
| Producción | | |
| Cantidad de electricidad producida | 1.289.776 | MWh |
| Cantidad de electricidad vendida | 1.031.095 | MWh |
| Cantidad de calor producido y vendido | 100.227 | MWht |

Tabla 4-1. Información de partida agregada de las plantas de AEVERSU. Datos anuales.

Para el cálculo de la huella de carbono del vertido de residuos, debido a que la información proporcionada por AEVERSU era muy puntual -se restringía a dos vertederos-, hemos optado por utilizar el valor del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (Edición 2020, Serie 1990-2018), del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), de marzo de 2020.

4.2.2 Factores de emisión

En cuanto a los factores de emisión considerados en los cálculos, la metodología de referencia recomienda utilizar los factores de emisión promedios nacionales y utilizar los más específicos siempre que se cuente con ellos y el dato provenga de una fuente oficial.

De este modo, la tabla que sigue resume los factores de emisión que hemos utilizado:

| Valorización | Factor | Unidades | Fuente |
|-------------------------|--------|---|--|
| Combustión | 332,46 | kg CO ₂ / t residuo | MITECO y AEVERSU |
| | 0,05 | kg N ₂ O / t residuo | MITECO |
| Consumo de combustible | 2,68 | kg CO ₂ / l de gasoil | MITECO |
| | 2,38 | kg CO ₂ / Nm ³ de gas natural | MITECO y Resolución de 21 de junio de 2019, de la Dirección General de Política Energética y Minas |
| Consumo de electricidad | 170 | kg CO ₂ / MWh | REE |
| | 154 | kg CO ₂ / MWh | Informe de sostenibilidad, comercializadora Andorra |
| | 778 | kg CO ₂ / MWh | Gobierno Islas Baleares |
| Emisiones evitadas | 170 | kg CO ₂ / MWh | REE |
| | 778 | kg CO ₂ / MWh | Gobierno Islas Baleares |
| | 154 | kg CO ₂ / MWh | Informe de sostenibilidad, comercializadora Andorra |
| | 279 | kg CO ₂ / MWht de calor | Tecnología AEA, las opciones de gestión de residuos y cambio climático |
| Vertido | Factor | Unidades | Fuente |
| Emisiones evitadas | 190 | kg CO ₂ / MWh | REE |

Tabla 4-2. Factores de emisión utilizados en el cálculo de la huella de carbono y el balance neto de la valorización energética de residuos urbanos y el vertido de residuos. Elaboración propia a partir de diversas fuentes.

Todos los factores de emisión incluidos en la tabla anterior se han empleado en el cálculo de la huella de carbono, tanto de la valorización energética como del depósito en vertedero.

Como dato más relevante, el factor de emisión considerado para las emisiones del proceso de combustión de RU ha sido de 332,46 kg de CO₂ fósil por tonelada de RU. Para la estimación de este factor hemos tomado en consideración las siguientes referencias y mediciones:

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en 2020, en su Comunicación a la Comisión Europea en cumplimiento del Reglamento (UE) N° 525/2013 acerca del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero entre 1990 y 2018: en esta Comunicación se considera un factor de emisión global en la valorización de RU de 900 kg CO₂ / t residuo, dato que G-advisory ha podido contrastar con distintas publicaciones de IPCC, EPA y otros estudios de referencia (ver Anexo I).
- La comunicación anterior del MITECO también propone un factor de emisión de 297 kg CO₂ fósil por tonelada de RU y lo utiliza por defecto siempre que no existan datos específicos de cada instalación. Este factor, a juicio del equipo de trabajo del Inventario Nacional, es el que mejor refleja las características y composición de los RU que entran en las instalaciones de valorización energética presentes en España. Este factor de emisión indicado por MITECO se basa en un contenido de carbono biogénico del 67%.
- Frente al 67% de biogenicidad en los RU considerado en el Inventario Nacional, en el presente estudio se ha particularizado este factor a 63,06%, utilizando mediciones propias de 6 plantas de AEVERSU. Estas plantas han medido en laboratorio su porcentaje de carbono biogénico entre enero y febrero de 2021, como se puede ver en el Anexo II -en un documento anexo-, obteniendo los siguientes resultados:

| Planta | Laboratorio | % Carbono biogénico | % residuos de AEVERSU |
|-------------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|
| SOGAMA | Dekra | 67% | 23,38% |
| TIRME | Beta Analytic - Dekra | 69% | 21,78% |
| TERSA | Tüv Rheinland | 56% | 13,87% |
| UTETEM | Beta Analytic - Bureau veritas | 56% | 6,14% |
| SIRUSA | Beta Analytic - Bureau veritas | 60% | 5,08% |
| TIRMADRID | Beta Analytic | 58% | 12,73% |
| Media ponderada / Total | - | 63,06% | 82,98% |

Tabla 4-3. Porcentaje de carbono biogénico en las plantas de AEVERSU en las que se ha realizado la medición. Fuente: AEVERSU (2021).

Las plantas en las que se han realizado mediciones representan el 82,98% de los RU de AEVERSU, un porcentaje muy elevado.

- Atendiendo al factor de emisión global de 900 kg CO₂ / t residuo y al 63,06% de carbono biogénico en la composición de los residuos, resulta un factor de emisión de 332,46 kg de CO₂ fósil por tonelada de RU valorizada.
- Adicionalmente, se ha medido el carbono biogénico de una segunda línea de UTETEM y de REMESA, obteniendo un 61% de carbono biogénico en el primer caso y un 72% en el segundo. Sin embargo, estos datos no se han incorporado en el cálculo del factor de emisión por aportarse fuera de tiempo (a su vez, REMESA no había participado en el estudio por no aportar datos). El Anexo III, en documento anexo, muestra los informes de laboratorio de la segunda línea de UTETEM y de REMESA.

En cuanto a las emisiones indirectas procedentes del consumo de electricidad generada por fuentes externas, hemos considerado dos opciones, en función de la disponibilidad de información:

- Uso del factor de emisión publicado por la comercializadora eléctrica de la planta en cuestión, como es el caso de la planta de Andorra, en el año 2019, siempre que se cuente con dicha información.
- A falta de información sobre la comercializadora específica, hemos utilizado el valor de 170 kg CO₂/MWh de REE para 2019 en el caso de las instalaciones peninsulares, y el correspondiente a su localización para la planta en las Islas Baleares. Nótese que actualmente no hay plantas de valorización energética de RU en las Islas Canarias.

Estos factores de emisión asociados al consumo eléctrico también se han utilizado para el cálculo de las emisiones evitadas.

En cuanto a las emisiones evitadas en los vertederos por el biogás capturado y destinado a motores, hemos utilizado el valor de 190 kg CO₂ / MWh de REE para 2019 para toda España, ya que se incluyen vertederos de la península y de las Islas Baleares y Canarias.

4.2.3 Alcance de la huella de carbono

Conforme a las metodologías empleadas en este informe (Guía IPCC 2006, GHG Protocol y EpE Protocol), hemos realizado el cálculo de la huella de carbono con la siguiente diferenciación de alcances.

Huella de carbono de la valorización energética

- Emisiones de GEI directas o Alcance 1: son las emisiones provenientes de procesos o equipos propiedad o bajo control de la organización en cuestión. En el caso de la valorización energética, hemos contemplado las principales fuentes de emisiones de las instalaciones de combustión: emisiones de CO₂ y N₂O derivadas del proceso de combustión de los RU, así como del consumo de combustibles auxiliares.
- Emisiones indirectas, que se dividen en dos partes:
 - Alcance 2. Emisiones de GEI derivadas de la producción de electricidad utilizada por la organización, pero producida por una tercera parte.
 - Alcance 3. Emisiones de GEI derivadas del transporte en vehículos que no son propiedad de la organización o sobre los que esta no ejerce control. Se ha excluido del alcance del estudio, como indicaremos posteriormente.

Emisiones evitadas de la valorización energética

La exportación a la red de energía eléctrica generada mediante valorización energética de RU evita las emisiones de GEI que se habrían producido al generarse la misma cantidad de energía eléctrica a partir de otras tecnologías. Estas emisiones evitadas reducen las emisiones generadas descritas en los tres alcances anteriores, en lo que se denomina balance neto.

Huella de carbono del depósito en vertedero

- Emisiones de GEI directas o Alcance 1: el Inventario Nacional considera como único contaminante las emisiones difusas de metano (CH₄) procedente de la descomposición anaerobia de los residuos depositados en el vaso de vertido (flujos A, B y C de la figura 3-1). Siguiendo las indicaciones de la Guía IPCC 2006, el Inventario Nacional desprecia las emisiones provenientes de la quema de biogás en antorchas, motores y turbinas (flujo D de la figura 3-1). G-advisory ha realizado el cálculo de las mismas con los datos disponibles, comprobando que efectivamente su contribución a la huella de carbono es mínima.

La estimación de CH₄ emitido de los flujos A, B y C se calcula restando la cantidad de CH₄ recuperado (flujo D), al total producido. A este respecto, el Inventario Nacional ha considerado las siguientes asunciones:

- Cuando el valor de biogás captado en un vertedero es declarado superior al 70% del producido, el Inventario Nacional ha considerado 70%. Esta estimación está basada en que la mayoría de los vertederos con recuperación de biogás tienen instalaciones modernas y su captación de biogás es, en promedio, del 70%.

- En los casos en que se conoce que existe captación de biogás pero no se conoce el valor exacto, el Inventario Nacional ha considerado una captación del 20%.

Estas asunciones están fundamentadas en los estudios que cita la Guía IPCC 2006 en su apartado de recuperación de biogás (apartado 3.2.3, capítulo 3, volumen 5). En opinión de G-advisory, se trata de aproximaciones razonables, considerando las incertidumbres asociadas a la cantidad de biogás producido, fugado y captado en un vertedero.

- Emisiones indirectas, alcances 2 y 3: el método de cálculo del Inventario Nacional no incluye emisiones indirectas como las debidas al transporte y al consumo de electricidad, por lo que no se han considerado tampoco en el presente estudio.

Emisiones evitadas del depósito en vertedero

La exportación a red de energía eléctrica generada en vertederos mediante el biogás capturado y destinado a motores evita las emisiones de GEI que se habrían producido al generarse la misma cantidad de energía eléctrica a partir de otras tecnologías. Estas emisiones evitadas reducen las emisiones generadas descritas anteriormente, en lo que se denomina balance neto.

4.2.4 Exclusiones y asunciones

En los cálculos hemos realizado ciertas asunciones y exclusiones que se detallan a continuación:

- Hemos desestimado para los cálculos aquellos datos proporcionados por AEVERSU que divergen altamente del resto de instalaciones o resultan incongruentes.
- No hemos incluido los datos de la planta de TRARGISA debido a que no se encuentra en operación en la actualidad, ni los de la planta de REMESA por no haber recibido información al respecto. Tampoco hemos considerado los datos de la planta de ZABALGARBI, dado que no es posible diferenciar fácilmente las emisiones procedentes de la valorización energética de RU de las procedentes de la combustión de gas natural.
- Se ha excluido del alcance del estudio el transporte de RU mediante vehículos, por la falta de datos y la disparidad de los datos disponibles. Como hemos indicado previamente, el Inventario Nacional también lo excluyó para el depósito en vertedero.
- En la estimación de las emisiones directas por valorización energética, hemos considerado que las emisiones de metano no son apreciables: 0,1 g de CH₄ por tonelada de RU, conforme a MITECO, año 2018.
- El Inventario Nacional de GEI del MITECO (marzo, 2020) ofrece los datos de emisiones de vertedero de 2018, pero no proporciona datos del año 2019. Para nuestro estudio, hemos considerado que la proporción de emisiones por tonelada de RU se mantiene constante entre estos dos años, y por ello es comparable con las emisiones de valorización energética de 2019, en términos relativos. En cualquier caso, no hemos comparado las emisiones totales, sino las relativas (kg CO₂e / t de RU), para evitar una

distorsión de los resultados por corresponder a años diferentes y, por tanto, con unas toneladas de RU totales ligeramente diferentes.

- El Inventario Nacional ofrece los datos de emisiones de vertedero de 2018, incluyendo únicamente los vertederos españoles, por lo que el estudio no ha contado con información de depósitos en Andorra.
- Cálculo de las emisiones evitadas:
 - Hemos considerado las emisiones evitadas como las procedentes de la electricidad vendida, entendiendo que la diferencia entre la electricidad producida por la instalación de valorización energética y la electricidad vendida se corresponde con la electricidad destinada a autoconsumo de la planta. Este valor se ha empleado en el cálculo del balance neto.
 - En los casos en que no disponemos del dato de autoconsumo eléctrico hemos considerado que el 80% de la energía producida por la planta es vendida y el 20% autoconsumida, que es el valor medio de autoconsumo de las plantas de las que disponemos de datos.
 - Hemos considerado que la producción eléctrica de las plantas de valorización evita emisiones correspondientes al mix eléctrico donde la planta de valorización se sitúa: mix peninsular (170 kg CO₂ por MWh), mix balear (778 kg CO₂ por MWh) y mix andorrano (154 kg CO₂ por MWh). Nótese que actualmente no hay plantas de valorización energética de RU en las Islas Canarias.
 - El reciclaje de escorias no se ha incorporado al cálculo, al considerarse que (i) el factor de emisiones evitadas es pequeño -aproximadamente se evitan 0,5 kg CO₂ por tonelada de RU (fuente: Christensen et al, 2015. Waste to energy: the carbon perspective) y (ii) existe incertidumbre en cuanto a la cantidad de escorias recicladas en cada planta.
 - No hemos incluido en el cálculo de las emisiones evitadas el CO₂ absorbido por la carbonatación de las escorias, debido a la elevada variabilidad existente en la gestión de las escorias en las diferentes instalaciones del estudio. La carbonatación es un proceso natural que se produce entre el dióxido de carbono del aire y el calcio presente en las escorias, haciendo que el CO₂ se fije, en ratios que pueden variar entre 12 y 251 kg por tonelada de escoria (fuente: Johansson y Lönebo, 2016).

4.3 Huella de carbono y balance neto de la valorización energética de residuos urbanos

A continuación, presentamos los resultados del cálculo de la huella de carbono para la valorización energética de RU.

Las emisiones de GEI del proceso de valorización energética por tonelada de RU tratado, calculadas siguiendo las directrices internacionalmente reconocidas del GHG Protocol, EpE Protocol y la Guía IPCC (2006), se estiman en 357 kg CO₂e / t RU. Estas emisiones son derivadas del proceso de combustión de RU (347 kg CO₂e / t RU) y del consumo de combustibles auxiliares (10 kg CO₂e / t RU). A este valor hay que añadirle 20 kg CO₂e/t RU del consumo de electricidad de fuentes externas.

Las anteriores emisiones del proceso de combustión derivan de las emisiones procedentes de carbono fósil. Las emisiones procedentes de carbono biogénico, de 567,5 kg CO₂e / t RU, son descontadas de acuerdo con la metodología utilizada.

Las emisiones evitadas derivadas de la venta de electricidad y calor (estimadas en 153 kg CO₂e / t RU), dan lugar a un balance neto de 224 kg CO₂e / t RU.

| Alcance | Fuente de emisión | Emisiones (t CO ₂ e) | Emisiones por tonelada de residuos (kg CO ₂ e / t RU) |
|---------------------|--|---------------------------------|--|
| Alcance 1 | Combustión de RU | 781.037 | 347,4 |
| | Consumo de combustibles auxiliares | 21.315 | 9,5 |
| | <i>Total Alcance 1</i> | <i>802.352</i> | <i>356,9</i> |
| Alcance 2 | Consumo de electricidad de fuentes externas | 45.473 | 20,2 |
| | <i>Total Alcance 2</i> | <i>45.473</i> | <i>20,2</i> |
| HUELLA DE CARBONO | Alcance 1 + Alcance 2 | 847.825 | 377,1 |
| | Emisiones evitadas por venta de electricidad | 316.459 | 140,7 |
| Emisiones evitadas | Emisiones evitadas por venta de calor | 27.963 | 12,4 |
| | <i>Total Evitadas</i> | <i>344.423</i> | <i>153,1</i> |
| BALANCE NETO | Alcance 1 + Alcance 2 - Evitadas | 503.402 | 224,0 |

Tabla 4-4. Balance global del cálculo de la huella de carbono de la valorización energética.

A continuación, explicamos el detalle de las emisiones calculadas en cada uno de los alcances resumidos en la tabla anterior.

Alcance 1: emisiones directas

Las emisiones directas son las derivadas del proceso de combustión de los RU, en el que se emite CO₂ y N₂O, así como por el consumo de combustibles auxiliares.

- Emisiones de CO₂ de la combustión de RU:

| Alcance | Fuente de emisión | Cantidad valorizada (t RU) | Factor de emisión (kg CO ₂ / t RU) | Emisiones (t CO ₂) |
|-----------|-------------------|----------------------------|---|--------------------------------|
| Alcance 1 | Combustión de RU | 2.248.495 | 332,46 | 747.535 |

Tabla 4-5. Emisiones de CO₂ de la combustión de RU.

- Emisiones de N₂O de la combustión de RU:

| Alcance | Fuente de emisión | Cantidad valorizada (t RU) | Factor de emisión (kg N ₂ O / t RU) | Emisiones (t N ₂ O) | Emisiones (t CO ₂ e) |
|------------------|-------------------|----------------------------|--|--------------------------------|---------------------------------|
| Alcance 1 | Combustión de RU | 2.248.495 | 0,050 | 112 | 33.503 |

Tabla 4-6. Emisiones de N₂O de la combustión de RU.

De este modo, las emisiones directas (alcance 1) derivadas del proceso de combustión de RU son las siguientes:

| Alcance 1: emisiones directas | Emisiones (t CO ₂) | Emisiones (t N ₂ O) | Emisiones (t CO ₂ e) |
|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Combustión de RU | 747.535 | - | 747.535 |
| | - | 112 | 33.503 |
| TOTAL | | | 781.037 |

Tabla 4-7. Emisiones de CO₂e de la combustión de RU.

- Emisiones debidas al consumo de combustibles auxiliares:

| Alcance 1: emisiones directas | Cantida consumida | Factor de emisión (kg CO ₂ / l y kg CO ₂ / Nm ³) | Emisiones (t CO ₂ e) |
|--------------------------------|-------------------|--|---------------------------------|
| Gasoil (l) | 1.332.591 | 2,681 | 3.572 |
| Gas natural (Nm ³) | 7.470.420 | 2,375 | 17.743 |
| TOTAL | - | - | 21.315 |

Tabla 4-8. Emisiones debidas al consumo de combustibles auxiliares.

| Alcance | Fuente | Emisiones (t CO ₂ e) | Emisiones por tonelada de residuos (kg CO ₂ e / t RU) |
|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--|
| Alcance 1: emisiones directas | Combustión de RU | 781.037 | 347,4 |
| | Consumo de combustibles auxiliares | 21.315 | 9,5 |
| | TOTAL | 802.352 | 356,9 |

Tabla 4-9. Total de emisiones del alcance 1: emisiones directas.

Alcance 2: emisiones indirectas

Las emisiones indirectas son las debidas al consumo de electricidad generada por fuentes externas. Como hemos explicado anteriormente atendiendo a los factores de emisión específicos de cada región, hemos dividido su cálculo entre las instalaciones peninsulares, la instalación ubicada en Andorra y la situada en Baleares, tal y como se muestra a continuación.

| Alcance | Origen de la electricidad | Electricidad consumida (MWh) | Factor de emisión (kg CO ₂ / MWh) | Emisiones (t CO ₂ e) | Emisiones por tonelada de residuos (kg CO ₂ e / t RU) |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|--|---------------------------------|--|
| Alcance 2: emisiones indirectas | Península | 262.461 | 170 | 44.618 | 19,8 |
| | Andorra | 5.287 | 154 | 814 | 0,4 |
| | Baleares | 52 | 778 | 40 | 0,0 |
| | TOTAL | 267.799 | - | 45.473 | 20,2 |

Tabla 4-10. Emisiones debidas al consumo de electricidad generada por fuentes externas (alcance 2).

Emisiones evitadas

Mediante la venta de energía -calor y electricidad- a partir de la valorización energética de RU se evitan las emisiones de GEI que se habrían producido al generarse dicha energía mediante otras tecnologías. Las plantas integradas en AEVERSU están diseñadas para maximizar la producción de energía eléctrica, en detrimento de la producción de calor. Si bien la cantidad de calor producida y vendida es baja, cuando se compara con otras plantas de valorización energética de RU en otros países europeos, las emisiones evitadas por la venta de este calor son significativas. A continuación, mostramos las emisiones evitadas por la venta de electricidad y calor, que contribuyen a disminuir el balance neto (huella de carbono menos emisiones evitadas).

- Emisiones evitadas por la producción y venta de electricidad.

| Alcance | Origen de la electricidad | Cantidad vendida (MWh) | Factor de emisión (kg CO ₂ / MWh) | Emisiones evitadas (t CO ₂ e) |
|--------------------|---------------------------|------------------------|--|--|
| Emisiones evitadas | Península | 781.019 | 170 | 132.773 |
| | Andorra | 17.238 | 154 | 2.655 |
| | Baleares | 232.838 | 778 | 181.031 |
| | TOTAL | 1.031.095 | - | 316.459 |

Tabla 4-11. Emisiones evitadas por la venta de electricidad.

- Emisiones evitadas por la producción y venta de calor.

| Alcance | Origen | Cantidad vendida (MWh) | Factor de emisión (kg CO ₂ / MWht) | Emisiones evitadas (t CO ₂ e) |
|--------------------|--------|------------------------|---|--|
| Emisiones evitadas | Calor | 100.227 | 279 | 27.963 |

Tabla 4-12. Emisiones evitadas por la venta de calor.

- Emisiones evitadas totales por la producción y venta de electricidad y calor.

| Alcance | Origen | Cantidad vendida (MWh) | Emisiones evitadas (t CO ₂ e) | Emisiones por tonelada de residuos (kg CO ₂ e / t RU) |
|---------|--------------|------------------------|--|--|
| | Electricidad | 1.031.095 | 316.459 | 140,7 |

| | | | | |
|--------------------|--------------|------------------|----------------|--------------|
| Emisiones evitadas | Calor | 100.227 | 27.963 | 12,4 |
| | TOTAL | 1.131.323 | 344.423 | 153,1 |

Tabla 4-13. Emisiones evitadas por la venta de electricidad y calor.

La valorización energética de RU evita emisiones por un total de 344.423 t CO₂e, que se habrían emitido de obtener la misma cantidad de calor y electricidad mediante otros medios. Destaca el caso de Baleares que, con una sola instalación, TIRME, y debido a las circunstancias insulares y de dependencia de fuentes no renovables, cuenta con un mix eléctrico con un elevado factor de emisión que permite contabilizar como evitadas casi las mismas toneladas de CO₂e que el conjunto de instalaciones peninsulares.

4.4 Huella de carbono y balance neto del depósito en vertedero de residuos urbanos

A continuación, mostramos el cálculo de la huella de carbono del depósito en vertedero de RU, partiendo de los datos del Inventario Nacional de GEI del MITECO (marzo 2020), en el cuál no figuran los datos desglosados vertedero a vertedero, y por tanto hemos revisado únicamente los valores totales.

Considerando que los vertederos españoles gestionaron en el año 2018, 12.716.275 t de RU, el Inventario Nacional de GEI estima las siguientes emisiones derivadas de la gestión de RU en vertedero:

- Emisiones del vertido de RU.

| Alcance | Fuente de emisión | Emisiones (t) | GWP* del gas emitido | Emisiones (t CO ₂ e) | Emisiones por tonelada de residuos de vertederos (kg CO ₂ e / t RU) |
|--------------------------|---|----------------|----------------------|---------------------------------|--|
| Alcance 1 | Emisión difusa de CH ₄ | 397.237 | 25 | 9.930.929 | 781,0 |
| | Emisión de quema en antorcha | 0 | 0 | 0 | 0,0 |
| | Emisiones de CH ₄ debidas a la valorización energética del biogás | 4,67 | 25 | 117 | 0,0 |
| | Emisiones de N ₂ O debidas a la valorización energética del biogás | 0,47 | 298 | 140 | 0,0 |
| | <i>Total Alcance 1</i> | | <i>397.242</i> | <i>-</i> | <i>9.931.186</i> |
| Alcance 2 | Consumo de electricidad | - | - | 0 | 0,0 |
| HUELLA DE CARBONO | Alcance 1 + Alcance 2 | 394.242 | - | 9.931.186 | 781,0 |
| Emisiones evitadas | Emisiones evitadas por venta de electricidad | - | - | 116.465 | 9,2 |
| BALANCE NETO | Alcance 1 + Alcance 2 - Evitadas | 397.242 | - | 9.814.720 | 771,8 |

*Global Warming Potential.

Tabla 4-14. Emisiones del vertido de RU (2018). Fuente: Informe de Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (Edición 2020, Serie 1990-2018), Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Como hemos descrito en capítulos anteriores, la captura de biogás en los vertederos españoles se destina a su quema en antorchas o a su utilización como combustible en motores, en este último caso, si el vertedero de RU es especialmente grande, para que la inversión sea viable.

De acuerdo a las estimaciones del Inventario Nacional de GEI del MITECO, las emisiones provenientes de la quema de biogás en antorcha se consideran insignificantes, pues las emisiones de CO₂ son de origen biogénico y las emisiones de CH₄ y N₂O son muy pequeñas, como se puede ver en la tabla anterior.

El método de cálculo del Inventario Nacional no incluye las emisiones de alcance 2, por lo que no se han considerado tampoco en el presente cálculo.

El biogás capturado y destinado a motores da lugar a una producción eléctrica que puede inyectarse a la red. En tal caso, se considera que contribuye a desplazar el mix eléctrico y, por tanto, se traduce en emisiones evitadas. Si bien el Inventario Nacional no calcula las emisiones evitadas, sí que estima que en el año 2018 se destinaron a motogeneradores 92.965 t de CH₄. En base a esta información, G-advisory ha estimado unas emisiones evitadas de 116.465 t de CO₂e, considerando una eficiencia de un motogenerador estándar del 40%, y un poder calorífico inferior (PCI) de 10,83 kWh / Nm³. Por otra parte, esta valorización energética del biogás de vertedero produce unas emisiones de N₂O y, en caso de que la combustión sea incompleta, de CH₄, también consideradas en el presente estudio, si bien tienen una contribución despreciable a la huella de carbono, como se puede ver en la tabla anterior.

En conclusión, el balance neto del vertido de RU en España es de casi 10 millones de t CO₂e, lo que equivale a 772 kg CO₂e / t RU. Estos datos tienen en cuenta tanto las emisiones difusas del vaso de vertido como la exportación a red de la energía eléctrica generada a partir del biogás capturado.

4.5 Comparativa de huellas de carbono: valorización energética y depósito en vertedero

De los resultados indicados en los apartados anteriores se puede observar una importante diferencia entre las emisiones de GEI derivadas de la valorización energética y del depósito en vertedero por tonelada de RU.

Considerando únicamente la fase de tratamiento dentro del ciclo de vida de gestión de RU, a continuación reflejamos la diferencia de huella de carbono entre la valorización energética y el depósito en vertedero.

| Alcance | Emisiones por tonelada de residuos (kg CO ₂ e / t RU) | | Diferencia Vertido-Valorización | |
|--|--|-------------------------|--|----------------|
| | Depósito en vertedero | Valorización energética | Diferencia (kg CO ₂ e / t RU) | Diferencia (%) |
| Alcance 1 (Emisiones directas) | 781,0 | 356,9 | +424,1 | +119% |
| Alcance 2 (Emisiones indirectas) | - | 20,2 | -20,2 | -100% |
| Huella de carbono (total emisiones) | 781,0 | 377,1 | 403,9 | +107% |
| Emisiones evitadas | 9,2 | 153,1 | -143,9 | -94% |
| Total balance neto | 771,8 | 224,0 | 547,8 | +245% |

Tabla 4-15. Comparativa de la huella de carbono del vertido frente a la valorización energética de RU.

Como se observa, la opción de depósito en vertedero supone un incremento de emisiones de 404 kg CO₂e / t RU, es decir, un 107% más de emisiones.

Descontando las reducciones de emisiones conseguidas como consecuencia de la generación y exportación de electricidad a la red, esta diferencia se incrementa hasta los 548 kg CO₂e / t RU, lo que supone un 245% más de emisiones en el balance neto.

Por tanto, se puede concluir que la eliminación de RU en vertedero genera unas 2 veces más emisiones de GEI que la valorización energética, por tonelada de residuo tratado, y presenta un balance neto 3,5 veces mayor.

4.6 Escenarios e interpretación de resultados

En este apartado analizamos la huella de carbono de la valorización energética de RU en dos escenarios futuros de variación del mix eléctrico nacional y la comparamos con su huella de carbono actual y con la huella de carbono del depósito en vertedero.

Los escenarios seleccionados para el presente estudio son los que propone el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, que define dos proyecciones de la contribución de la producción de energía renovable sobre la generación eléctrica total.

Los escenarios considerados por el PNIEC y trasladados al presente estudio son los siguientes:

- Escenario tendencial: no se implementan nuevas políticas para fomentar la producción de energía eléctrica renovable. Este escenario considera que, en el año 2025, un 47% de la energía eléctrica generada será de origen renovable. Esta proyección para el año 2030 es del 52%.
- Escenario objetivo: se implementan las medidas indicadas en el PNIEC, con lo que en el año 2025, el 60% de la energía eléctrica total generada será de origen renovable. Este porcentaje se incrementa hasta el 74% para el año 2030.

Por tanto, los escenarios considerados para el presente estudio se basan en una potencial variación del mix eléctrico nacional en los años 2025 y 2030. El resto de variables han sido consideradas constantes, como aproximación razonable, en particular tanto la cantidad como la composición de los RU en España y Andorra.

El aumento en la proporción de generación de energía eléctrica renovable respecto al total implica una generación eléctrica más limpia, con menos emisiones de GEI, y por tanto una bajada del factor de emisión. Tal y como estima el PNIEC en sus escenarios, hemos considerado un único factor de emisión de generación eléctrica para toda España, sin distinguir entre península, islas y ciudades autónomas.

Los escenarios tendencial y objetivo considerados para el presente apartado son los siguientes:

| Año | Escenario tendencial | | Escenario objetivo | |
|---|----------------------|------|--------------------|------|
| | 2025 | 2030 | 2025 | 2030 |
| Energías renovables (% sobre la generación eléctrica total) | 47% | 52% | 60% | 74% |
| Factor de emisión (kg CO ₂ e/MWh) | 146 | 141 | 86 | 59 |

Tabla 4-16. Escenarios tendencial y objetivo. Fuente: PNIEC (enero 2020).

Escenarios para la huella de carbono y el balance neto de la valorización energética de RU

La siguiente tabla resume las emisiones derivadas de la valoración energética de RU en ambos escenarios, tendencial y objetivo. Se recogen tanto las emisiones calculadas para el año 2019 (ver cálculos en la sección 4.3) como las estimaciones realizadas para 2025 y 2030 a partir de los factores de emisión propuestos por el PNIEC para cada escenario.

| Emisiones por tonelada de residuos (kg CO ₂ e / t RU) | | | | | |
|--|--------------|----------------------|--------------|--------------------|--------------|
| Alcance | Caso base | Escenario tendencial | | Escenario objetivo | |
| | 2019 | 2025 | 2030 | 2025 | 2030 |
| Alcance 1 (Emisiones directas) | 356,9 | 356,9 | 356,9 | 356,9 | 356,9 |
| Alcance 2 (Emisiones indirectas) | 20,2 | 17,4 | 16,8 | 10,2 | 7,0 |
| Huella de carbono | 377,1 | 374,3 | 373,7 | 367,1 | 363,9 |
| Emisiones evitadas | 153,1 | 73,5 | 70,9 | 43,3 | 29,7 |
| Balance neto | 224,0 | 300,8 | 302,8 | 323,8 | 334,2 |

Tabla 4-17. Emisiones de GEI (kg CO₂e / t RU) de la valoración energética de RU calculadas en distintos escenarios.

Como se observa en la tabla anterior, las emisiones directas se mantienen constantes en todos los escenarios, puesto que la variación del mix eléctrico no influye en el alcance 1. Con respecto al alcance 2, se observa una reducción de emisiones para un mismo consumo eléctrico. Este hecho es fruto de la disminución del factor de emisión del consumo eléctrico y también se traduce en una reducción de emisiones evitadas por la venta de electricidad. El resultado es un incremento del balance neto asociado a la valorización, especialmente debido a la disminución de las emisiones evitadas.

Escenarios para la huella de carbono y el balance neto del depósito en vertedero de RU

Como hemos descrito anteriormente, las emisiones de los vertederos provienen mayoritariamente de las emisiones difusas de metano (alcance 1), que hemos considerado constantes en estos escenarios, por lo que la única variación que se produce en el balance neto es debida a las emisiones evitadas. La realidad es que, teniendo en cuenta una futura disminución de los RU que van a vertedero, sus emisiones se acumularán con las de los RU vertidos previamente, ya que los residuos depositados emiten metano durante varias décadas. Por ello, el ratio de kg CO₂e / t RU vertida aumentará. Sin embargo, no es posible evaluar este aumento de forma numérica objetiva, por lo que hemos considerado este ratio constante a futuro.

Por otro lado, el desplazamiento del mix eléctrico se traduce en una reducción del factor de emisión de la generación eléctrica y por tanto en una reducción de las emisiones evitadas por el aprovechamiento energético del biogás en vertederos. La siguiente tabla resume las estimaciones realizadas para 2025 y 2030, en ambos escenarios, tendencial y objetivo.

| Emisiones por tonelada de residuos (kg CO ₂ e / t RU) | | | | | |
|--|--------------|----------------------|--------------|--------------------|--------------|
| Alcance | Caso base | Escenario tendencial | | Escenario objetivo | |
| | 2019 | 2025 | 2030 | 2025 | 2030 |
| Alcance 1 (Emisiones directas) | 781,0 | 781,0 | 781,0 | 781,0 | 781,0 |
| Alcance 2 (Emisiones indirectas) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Huella de carbono | 781,0 | 781,0 | 781,0 | 781,0 | 781,0 |
| Emisiones evitadas | 9,2 | 7,0 | 6,8 | 4,1 | 2,8 |
| Balance neto | 771,8 | 774,0 | 774,2 | 776,9 | 778,2 |

Tabla 4-18. Emisiones de GEI (kg CO₂e / t RU) del depósito en vertedero de RU calculadas en distintos escenarios.

Se observa que la progresiva reducción de las emisiones evitadas supone un aumento ligero en el balance neto de vertederos, debido a la escasa contribución de las emisiones evitadas al conjunto, en cualquiera de los escenarios.

Comparativa de escenarios: valorización energética y depósito en vertedero

| Emisiones por tonelada de residuos (kg CO ₂ e / t RU) | | | | | |
|--|-------------|----------------------|-------------|--------------------|-------------|
| Alcance | Caso base | Escenario tendencial | | Escenario objetivo | |
| | 2019 | 2025 | 2030 | 2025 | 2030 |
| Valorización energética | 224,0 | 300,8 | 302,8 | 323,8 | 334,2 |
| Vertedero | 771,8 | 774,0 | 774,2 | 776,9 | 778,2 |
| Diferencia balance neto: vertedero - valorización energética | 547,8 | 473,2 | 471,4 | 453,1 | 444,0 |
| Diferencia balance neto (%) | 245% | 157% | 156% | 140% | 133% |

Tabla 4-19. Comparativa de los escenarios tendencial y objetivo.

El escenario de evolución del mix eléctrico hacia un incremento de la proporción de energías renovables supondrá una reducción de las emisiones evitadas mediante valorización energética y, por tanto, un incremento de su balance neto. Esto mismo ocurre con las emisiones asociadas al vertedero; sin embargo, debido a que las emisiones evitadas en los vertederos son mucho menores, estos acusan menos la disminución del factor de emisión del sector eléctrico, y el aumento del balance neto en los futuros escenarios sería más moderado.

Si se comparan las diferencias de balance neto (vertedero - valorización energética) entre el caso base y los diferentes escenarios, se observan unas reducciones sustanciales en detrimento de la valorización. Sin embargo, incluso en el escenario objetivo del PNIEC, el balance neto del depósito en vertedero es más del doble que el balance neto de la valorización energética.

Esta variación no sólo es debida al ya mencionado desigual descenso de emisiones evitadas entre ambos tratamientos sino también a la homogenización geográfica del factor de emisión que realiza el PNIEC, considerando un único factor promedio para toda España.

Del análisis anterior se desprende que:

- Las emisiones del depósito en vertedero en 2030 y, de acuerdo con el escenario objetivo del PNIEC, siguen resultando un 115% superiores a las de la valorización energética de RU.
- El balance neto del depósito en vertedero en 2030 y de acuerdo con el escenario objetivo del PNIEC, sigue resultando un 133% superior al de la valorización energética de RU.

Con este ejercicio, hemos analizado a futuro uno de los parámetros más relevantes que influye en el balance neto de ambos tipos de tratamiento de RU. Sin embargo, cabe subrayar que existen otros parámetros que influirán en el escenario futuro y que son muy complejos de valorar, como más importante la variación futura en la composición de los residuos (especialmente en cuanto a contenido de carbono biogénico) que se depositan en vertedero o que son valorizados energéticamente en España y Andorra y su afección en las emisiones de GEI generadas.

ANEXO I. DOCUMENTACIÓN REVISADA

- ✓ Hoja de cálculo de Excel con los resultados de las mediciones de carbono biogénico llevadas a cabo en SOGAMA, TIRME, TERSA, UTETEM Y SIRUSA.
- ✓ Informe medida de emisión de carbono biogénico en la planta de TIRMADRID, realizado por SGS TECNOS, S.A.U. el 10 de febrero de 2021.
- ✓ Directiva del Consejo 75/442/CEE, de 15 de julio de 1975, relativa a los residuos.
- ✓ Directiva del Consejo 91/156/CEE, de 18 de marzo de 1991, por la que se modifica la Directiva 75/442/CEE relativa a los residuos.
- ✓ Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos.
- ✓ Directiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, relativa a los residuos.
- ✓ Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.
- ✓ Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- ✓ Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos.
- ✓ Directiva (UE) 2018/850 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos.
- ✓ Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020, aprobado en noviembre de 2012.
- ✓ Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022, aprobado en Consejo de Ministros el 6 de noviembre de 2015.
- ✓ IDAE, 2011. Situación y potencial de valorización energética directa de residuos. Estudio Técnico PER 2011-2020.
- ✓ CEWEP, 2019. Spoiler alert: Circular Economy still needs residual waste treatment in 2035.
- ✓ [Un marco estratégico en materia de clima y energía para el periodo 2020-2030](#). Comunicación de la Comisión. COM (2014) 15 final.
- ✓ [Plan Nacional Integrado de Energía y Clima \(2021-2030\) \(PNIEC\)](#). Propuesta del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, enero 2020.
- ✓ [El Pacto Verde Europeo](#). Comunicación de la Comisión. COM (2019) 640 final.
- ✓ Astrup, T., Møller, J. y Fruergaard, T., 2009. Incineration and co-combustion of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions.

- ✓ Christensen, T, Damgaard, A. y Astrup, T., 2015. Waste to energy: the carbon perspective.
- ✓ Johansson, J. y Lönnebo, K., 2016. Bottom ash from waste-to-energy, a carbon dioxide sink?
- ✓ Federal Environment Agency (Germany), 2015. The climate change mitigation potential of the waste sector. Illustration of the potential for mitigation of greenhouse gas emissions from the waste sector in OECD countries and selected emerging economies; utilisation of the findings in waste technology transfer.
- ✓ MITECO, 2019. Cuarto informe bienal de España sobre la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- ✓ Comisión Europea, 2017. The role of waste-to-energy in the circular economy.
- ✓ PNUMA, 2019. Waste-to-energy. Considerations for informed decision-making.
- ✓ Golato, M. 2011. El consumo de combustible y energía en el transporte.
- ✓ Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020. Informe de Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Comunicación a la Comisión Europea en cumplimiento del Reglamento (UE) N° 525/2013.
- ✓ Banco Mundial, 2018. What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050.
- ✓ MITECO, 2017. Memoria anual de generación y gestión de residuos residuos de competencia municipal.

