

CAPÍTULO 5

Gestión de residuos y gestión ambiental

Objetivos del capítulo

En este capítulo se aborda la gestión adecuada de los residuos como aspecto fundamental para la protección del medioambiente y la salud pública. En este capítulo, nos adentramos en la correcta gestión de los residuos, explorando su clasificación, origen, tratamiento y gestión ambiental. Los residuos representan un desafío creciente para las comunidades y los Gobiernos de todo el mundo. Desde los residuos industriales hasta los residuos domésticos, un manejo efectivo es esencial para prevenir la contaminación del aire, el agua y el suelo, así como para minimizar los impactos negativos en los ecosistemas naturales.

Comenzaremos analizando las diversas definiciones y clasificaciones de los residuos, destacando la importancia de comprender la naturaleza y las características de los distintos tipos de residuos para su correcta gestión. Además, examinaremos cómo las actividades productoras de residuos, tanto a nivel industrial como doméstico, pueden generar una amplia gama de desechos que requieren enfoques específicos de tratamiento y disposición. Es crucial comprender que no todos los residuos son iguales y que su correcta clasificación y jerarquización es fundamental para su manejo seguro, efectivo y sostenible.

Por último, trataremos de abordar la gestión ambiental, que abarca el conjunto de estrategias y acciones destinadas a organizar las actividades humanas de manera que reduzcan al máximo su impacto en el medioambiente para promover un desarrollo sostenible que armonice los intereses económicos y materiales con la preservación del entorno natural.

Nota. Según el Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida, se permite el uso de la letra «L» en mayúscula o «l» en minúscula como símbolos del litro, a fin de evitar la confusión entre la cifra 1 (uno) y la letra l (ele). En este manual usaremos siempre la letra «L» en mayúscula como símbolo del litro. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-927>

1. Los residuos

Según la Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), los *residuos* son los materiales que se generan en las fases de producción, transformación y consumo, y que no tienen un valor comercial o monetario en ese contexto donde se producen.

Según la actual Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, *residuo* es «cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar». En otras palabras, es todo aquello que se descarta o se desecha como resultado de actividades humanas, o, dicho de manera más sencilla, sería un sinónimo de *basura*.

Por otro lado, la misma ley define la *gestión de residuos* como «la recogida, el transporte, la valorización y la eliminación de los residuos, incluida la clasificación y otras operaciones previas, así como la vigilancia de estas operaciones y el mantenimiento posterior al cierre de los vertederos. Se incluyen también las actuaciones realizadas en calidad de negociante o agente».

Según datos de la propia Unión Europea, en los países que componen la Comunidad Europea se generan más de 2200 millones de toneladas de residuos cada año. De esta cantidad, más de una cuarta parte (27 %) corresponde a residuos municipales, es decir, los desechos comunes recolectados y tratados por las autoridades locales, principalmente provenientes de los hogares. Los datos que se muestran en la tabla 1 revelan una amplia variación en la cantidad de residuos y en sus métodos de gestión entre los países de la Unión Europea; sin embargo, se observa una tendencia al aumento del reciclaje, mientras que la cantidad de vertidos está en disminución. La Unión Europea ha fijado un objetivo del 60 % de reutilización y reciclaje de residuos municipales para 2030 y un depósito en vertedero de residuos domésticos municipales inferior al 10 %. Países como Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Eslovenia, Finlandia, Luxemburgo, Países Bajos y Suecia ya han cumplido este objetivo, pues en ellos la incineración juega un papel muy importante y tienen menos de un 10 % de eliminación en vertederos de residuos. España aún está lejos del objetivo, ya que el porcentaje de reciclado es del 36,70 % y la tasa de depósito en vertedero es del 43 %.

Tabla 1. Residuos en los Estados miembros de la Unión Europea

País	Generación (kg/hab × año 2021)	Reciclaje y compostaje en 2021 (%)	Tasa de depósito en vertedero en 2020 (%)
Alemania	646	71,1 %	9 %
Austria	834 (1)	62,3 % (1)	9 %
Bélgica	759	53,3 %	3 %
Bulgaria	408 (1)	65,5 % (1)	73 % (3)
Chipre	644 (1)	15,3 %	52 %

País	Generación (kg/hab x año 2021)	Reciclaje y compostaje en 2021 (%)	Tasa de depósito en vertedero en 2020 (%)
Croacia	446	31,4 %	34 %
Dinamarca	786	34,3 %	1 %
Eslovaquia	496	48,9 %	31 %
Eslovenia	511	60,0 %	6 %
España	472	36,7 %	43 %
Estonia	395	30,3 %	8 % (4)
Finlandia	609	37,1 %	7 %
Francia	561	45,1 %	22 %
Grecia	524 (2)	21,0 % (2)	60 % (3)
Hungría	416	34,9 %	35 %
Irlanda	633	40,8 % (1)	18 % (3)
Italia	487 (1)	51,4 % (1)	15 %
Letonia	461	44,1 %	25 %
Lituania	480	44,3 %	17 % (3)
Luxemburgo	793	55,3 %	9 %
Malta	611	13,6 %	73 %
Países Bajos	515	57,8 %	2 %
Polonia	362	40,3 %	11 %
Portugal	514	30,5 %	46 %
República Checa	570	43,3 %	27 %
Rumanía	302	11,3 %	51 %
Suecia	418	39,5 %	8 % (3)
UE-27	530	49,6 %	18 %

(1) Los datos se refieren a 2020.

(2) Los datos se refieren a 2019.

(3) Los datos se refieren a 2018.

(4) Los datos se refieren a 2016.

En verde, los objetivos ya alcanzados

La Unión europea pretende disminuir la cantidad de residuos generados mediante un modelo de *economía circular* (véase figura 1), el cual representa un enfoque en la producción y en el consumo que promueve compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes en múltiples ocasiones para generar un valor añadido. Este enfoque pretende extender el ciclo de vida de los productos fabricados.

Figura 1. El modelo de economía circular



Fuente: servicio de investigación del Parlamento Europeo.

En la práctica, la economía circular busca minimizar los residuos. Cuando un producto llega al final de su vida útil, se busca mantener sus materiales dentro de la economía mediante el reciclaje, permitiendo su utilización productiva repetida, lo que resulta en la generación de valor adicional. Este modelo contrasta con el tradicional *enfoque económico lineal*, que se basa, principalmente, en el concepto de *usar y tirar*, y que depende de grandes cantidades de materiales y energía baratos y fácilmente accesibles. La obsolescencia programada, que el Parlamento Europeo busca abordar, también forma parte de este modelo lineal.

El tratamiento de los residuos en cada país depende en gran medida de la legislación vigente en la zona en la que se recoge y gestiona el residuo. En el anexo 1 de este capítulo se incluyen los enlaces a la legislación actual, tanto a nivel europeo como nacional o autonómico.

Un residuo puede dejar de ser considerado como tal. En la ley se hace especial mención al *fin de la condición de residuos*, que serían aquellos que hayan sido sometidos a una operación de valorización, incluido el reciclado. Es necesario que las sustancias, preparados u objetos resultantes cumplan todas estas condiciones:

- Que deban ser usados para finalidades específicas.
- Que exista un mercado o una demanda.
- Que cumplan los requisitos técnicos para las finalidades específicas, la legislación existente y las normas aplicables a los productos.
- Que el uso no genere impactos adversos globales para el medioambiente o la salud humana.

2. Definiciones de «residuos». Clasificación

La categorización de los residuos generados como resultado de diversas actividades se puede realizar en función de diferentes criterios, como la procedencia o las características específicas.

La Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, incluye una posible clasificación teniendo en cuenta su procedencia:

- Residuos domésticos. Son los generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas, aunque también se incluyen residuos similares en composición y cantidad a los mencionados anteriormente, generados en servicios e industrias, siempre que no se originen como resultado de la propia actividad del servicio o industria.

En esta categoría se incluyen fundamentalmente los residuos generados en los hogares, como aceites de cocina usados, aparatos eléctricos y electrónicos, textiles, pilas, acumuladores, muebles, enseres domésticos, colchones, así como los residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparaciones domésticas. También se considerarán residuos domésticos los procedentes de la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, animales domésticos muertos y vehículos abandonados.

- Residuos municipales. Pertenece a este tipo los residuos mezclados y los recogidos por separado de origen doméstico, incluidos papel y cartón, vidrio, metales, plásticos, residuos orgánicos, madera, textiles, envases, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, residuos de pilas y acumuladores, residuos domésticos peligrosos y residuos voluminosos, como colchones y muebles. También se incluyen los que sean similares en composición y naturaleza a los residuos domésticos, aunque procedan de otras fuentes.

Este tipo de residuos no incluyen los residuos procedentes de la producción, la agricultura, la silvicultura, la pesca, las fosas sépticas y los sistemas de alcantarillado, incluidos los lodos de depuradora, los vehículos al final de su vida útil, ni los residuos de construcción y demolición.

- Residuos industriales. Son restos que surgen de los procesos de producción, fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza o mantenimiento, generados por la actividad industrial como resultado de su actividad principal.

- Residuos comerciales. Son generados por la actividad propia del comercio, al por mayor y al por menor, de los servicios de restauración y bares, de las oficinas y de los mercados, así como del resto del sector servicios.
- Residuos agrarios y silvícolas. Son producidos por las actividades agrícolas, ganaderas y forestales.
- Residuos de construcción y demolición. Son generados por las actividades de construcción y demolición

Los residuos se pueden diferenciar por flujos:

- Aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).
- Pilas y acumuladores.
- Vehículos al final de su vida útil.
- Neumáticos fuera de uso (NFU).
- Aceites industriales usados. Residuos sanitarios.
- Envases.
- Biorresiduos.
- Etcétera.

La Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, incluye una posible clasificación teniendo en cuenta sus características:

- Residuos inertes. Son residuos no peligrosos que no sufren transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. Estos residuos no son solubles, combustibles ni biodegradables. No reaccionan con otros materiales con los que entran en contacto, ni física, ni químicamente, ni de ninguna otra forma. Además, no tienen ningún impacto negativo sobre el medioambiente o la salud humana. Los residuos inertes deben tener un nivel insignificante de contaminantes, y el potencial de lixiviación de estos contaminantes, así como la ecotoxicidad del lixiviado, también deben ser insignificantes. Tanto los residuos inertes como sus lixiviados no deben suponer un riesgo para la calidad de las aguas superficiales y/o subterráneas.
- Residuos peligrosos. Son aquellos que presentan una o varias de las características peligrosas enumeradas en el anexo I de la Ley 7/2022 y aquellos que pueda aprobar el Gobierno de conformidad con lo establecido en la normativa de la Unión Europea o en los convenios internacionales de los que España sea parte. También se incluyen los recipientes y envases que contengan restos de sustancias o preparados peligrosos o que estén contaminados por ellos, a no ser que se demuestre que no presentan ninguna de las características de peligrosidad.

Existen distintas normativas internacionales para la identificación de las sustancias peligrosas. Intentaremos resumir de forma ordenada las más importantes.

El sistema que clasifica todas estas sustancias es el denominado Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA) o Global Harmonized System (GHS), que es un estándar internacionalmente acordado y gestionado por las Naciones Unidas, diseñado para sustituir los diversos esquemas de clasificación y etiquetado de materiales peligrosos que se utilizaban anteriormente en todo el mundo. Todas las características se encuentran actualizadas en el anexo VI del Reglamento CLP (*classification, labelling and packaging of chemicals*).

Normalmente las características peligrosas de las sustancias se dividen en tres categorías principales:

- Peligros físicos. La designación es con una H, seguida de un número 2 y de dos cifras más (H2xx).
- Peligros para la salud. La designación es con una H, seguida de un número 3 y de dos cifras más (H3xx).
- Peligros para el medioambiente. La designación es con una H, seguida de un número 4 y de dos cifras más (H4xx).

Las características de peligrosidad¹ se identifican con las letras HP (*hazardous properties*) y se describen en el anexo I de la Ley 7/2022. Son las que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Características de peligrosidad de los residuos peligrosos

Código/Característica	Descripción del residuo
HP 1. Explosivo	Residuos que, por reacción química, pueden desprender gases a una temperatura, presión y velocidad tales que pueden ocasionar daños en su entorno.
HP 2. Comburente	Residuos que, generalmente liberando oxígeno, pueden provocar o facilitar la combustión de otras sustancias.
HP 3. Inflamable	Residuos, líquidos, sólidos o gases que pueden inflamarse o provocar fuego fácilmente a bajas temperaturas, por fricción, en contacto con el aire, etc.
HP 4. Irritante	Residuos que, cuando se aplican, pueden provocar irritaciones cutáneas o lesiones oculares.

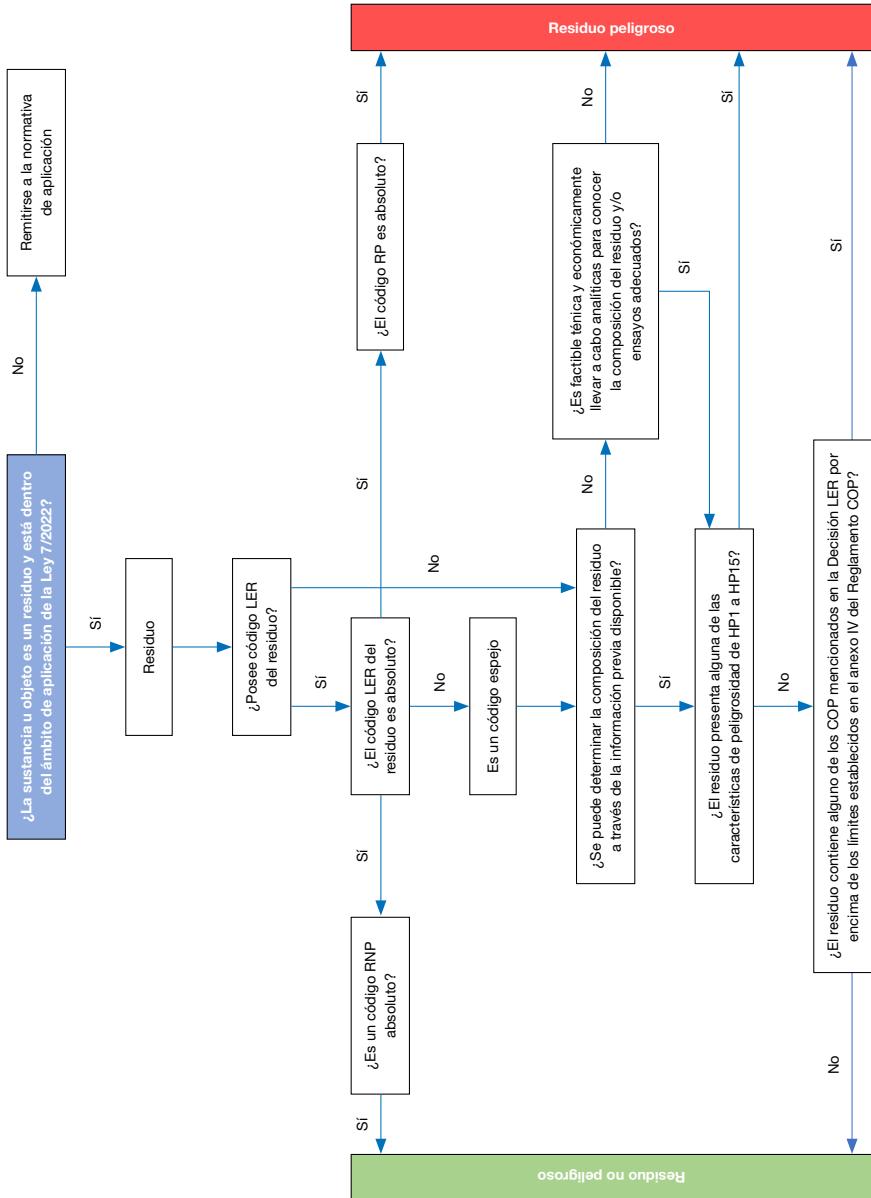
¹ Las *características peligrosas, características de peligro o códigos de indicación de peligro*, que normalmente se usan para el etiquetado de sustancias, no se deben confundir con las *características de peligrosidad*, que son para residuos. Las primeras se designan con una letra H, seguida de tres números, y las segundas se designan con las letras HP, seguidas de un número del 1 al 15.

Código/Característica	Descripción del residuo
HP 5. Toxicidad específica en determinados órganos (<i>specific target organ toxicity [STOT]</i>)/Toxicidad por aspiración	Residuos que pueden provocar una toxicidad específica en determinados órganos, bien por una exposición única, bien por exposiciones repetidas, o que pueden provocar efectos tóxicos agudos por aspiración.
HP 6. Toxicidad aguda	Residuos que pueden provocar efectos tóxicos agudos tras la administración por vía oral o cutánea, o como consecuencia de una exposición por inhalación.
HP 7. Carcinógeno	Residuos que inducen cáncer o aumentan su incidencia.
HP 8. Corrosivo	Residuos que, cuando se aplican, pueden provocar corrosión cutánea.
HP 9. Infeccioso	Residuos que contienen microorganismos viables, o sus toxinas, de los que se sabe o existen razones fundadas para creer que causan enfermedades en el ser humano o en otros organismos vivos.
HP 10. Tóxico para la reproducción	Residuos que tienen efectos adversos sobre la función sexual y la fertilidad de hombres y mujeres adultos, así como sobre el desarrollo de los descendientes.
HP 11. Mutagénico	Residuos que pueden provocar una mutación, es decir, un cambio permanente en la cantidad o en la estructura del material genético de una célula.
HP 12. Liberación de un gas de toxicidad aguda	Residuos que emiten gases de toxicidad aguda (Acute Tox. 1, 2 o 3) en contacto con agua o con un ácido.
HP 13. Sensibilizante	Residuos que contienen una o varias sustancias que se sabe tienen efectos sensibilizantes para la piel o los órganos respiratorios.
HP 14. Ecotóxico	Residuos que presentan o pueden presentar riesgos inmediatos o diferentes para uno o más compartimentos del medioambiente.
HP 15	Residuos que pueden presentar una de las características de peligrosidad mencionadas, que el residuo original no presentaba directamente, o caracterizar un residuo como peligroso basándose en otros criterios aplicables, tales como la evaluación del lixiviado.

Nota. Peligros físicos: HP 1, HP 2, HP 3 y HP 15. Peligros para la salud: HP 4, HP 5, HP 6, HP 7, HP 8, HP 9, HP 10, HP 11, HP 12 y HP 13. Peligros para el medioambiente: HP 14.

Para determinar estas características de peligrosidad es necesario realizar ensayos y conocer la composición de los residuos.

Figura 2. Esquema del procedimiento secuencial para la clasificación de un residuo



Fuente: elaboración propia.

Para asegurar una gestión efectiva de los residuos, el productor o poseedor inicial tiene la responsabilidad de clasificarlos como peligrosos o no peligrosos, identificándolos correctamente con el código de la Lista Europea de Residuos (LER) que se establece en la Decisión de la Comisión de 18 de diciembre de 2014 por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.

Se puede realizar una clasificación de los residuos conociendo la procedencia. A continuación, se expone la metodología que hay que seguir para la clasificación de un residuo, y que podemos ver de forma resumida en la figura 2, donde se muestra un esquema del procedimiento que hay que seguir para clasificar un residuo como peligroso o no peligroso. Estos pasos son los siguientes:

- Hay que determinar si la sustancia u objeto en cuestión es un residuo de acuerdo con la definición de la Ley 7/2022. No pueden ser considerados como residuos los subproductos y los que finalicen la condición de residuo. No deben tenerse en cuenta para su clasificación aquellos que queden excluidos por esta ley, como las emisiones de gases a la atmósfera, los residuos radiactivos, los cadáveres de animales o las aguas residuales.
- Asignar el código LER que le corresponde al residuo. La Decisión 2014/955/UE establece una lista armonizada de residuos dentro de la Unión Europea, conocida como LER. Esta lista se organiza en 20 capítulos, que se relacionan con la fuente generadora del residuo o su tipo. Cada capítulo se subdivide en subcapítulos que abordan los procesos de generación, los materiales resultantes o el tipo de residuo. Cada tipo de residuo se identifica con un código de seis cifras, conocido como código LER.

Los residuos marcados con un asterisco (*) en la LER se consideran peligrosos, mientras que los demás se clasifican como no peligrosos. En casos donde se utilice un código espejo, es decir, que a un mismo residuo se le puedan asignar dos o más códigos relacionados, donde uno es peligroso y el otro no, se debería determinar si los residuos contienen sustancias peligrosas para asignarles el código correspondiente de residuo peligroso o no peligroso. Cuando exista la imposibilidad práctica de determinar la presencia de sustancias peligrosas o de evaluar las características de peligrosidad del citado residuo, este deberá clasificarse como residuo peligroso en aplicación del principio de precaución.

Para determinar el código LER adecuado para un residuo, se deben seguir los pasos que se muestran a continuación:

Determinación del código LER de un residuo

1. Localizar la fuente generadora del residuo en los capítulos 1 al 12 o 17 al 20 y buscar en el subcapítulo correspondiente el código de seis cifras más adecuado. En este paso inicial, se omitirán los códigos finalizados en 99 de cada capítulo. Es importante tener en cuenta que:
 - a) Las actividades productoras de residuos de una misma empresa pueden estar en distintos capítulos de la lista.

- b) Los residuos de envases recogidos por separado se clasifican con códigos que comienzan por 15 01, no por 20 01.
2. Si no se encuentra un código adecuado en los capítulos anteriores, se buscará en los capítulos 13, 14 y 15.
 3. Si el residuo no se encuentra en ninguno de esos capítulos, se buscará en el capítulo 16.
 4. Si después de lo anterior, no se localiza el residuo en el capítulo 16, se le asignará el código terminado en 99 del capítulo correspondiente a la actividad generadora del residuo identificada en el primer punto. Sin embargo, asignar un código terminado en 99 debe ser la última opción, reservada para casos excepcionales.

Una vez identificado el residuo en la LER, pueden darse tres situaciones:

1. Si el residuo tiene asignado un código LER de residuo no peligroso absoluto (sin asterisco), como por ejemplo «20 01 08. Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes», se clasifica como no peligroso y no requiere evaluación adicional.
2. Si el residuo tiene asignado un código LER de residuo peligroso absoluto (marcado con asterisco), como, por ejemplo, «05 01 12*. Hidrocarburos que contienen ácidos», se clasifica como peligroso y se necesita una evaluación adicional para determinar sus características de peligrosidad y etiquetarlo correctamente.
3. Si un residuo tiene asignado un código espejo, se puede asignar un código de residuo peligroso o no peligroso según su composición. Por ejemplo, «08 03 12*. Residuos de tintas que contienen sustancias peligrosas» y «08 03 13. Residuos de tintas distintos de los especificados en el código 08 03 12». En este caso, es necesario determinar la composición del residuo o realizar ensayos para identificar sus características de peligrosidad, con el objetivo de asignarle el código de residuo peligroso (con asterisco) o el de no peligroso (sin asterisco).

Fuente: Decisión de la Comisión de 18 de diciembre de 2014 por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.

Además, existen una serie de pictogramas que se asocian a algunos de los códigos de peligrosidad. El SGA es el utilizado para identificar la peligrosidad de estos residuos de forma rápida y visual. Fue adoptado en 2002. En la tabla 3 se muestran los pictogramas, junto al código, las características, la clase y la categoría de peligro asociado a cada uno de ellos.

Tabla 3. Pictogramas de residuos peligrosos

Pictograma	Código Característica Clase y categoría de peligro	Pictograma	Código Característica Clase y categoría de peligro
	GHS01 HP 1. Explosivo		GHS03 HP 2. Comburente

Pictograma	Código Característica Clase y categoría de peligro	Pictograma	Código Característica Clase y categoría de peligro
	GHS02 HP 3. Inflamable El pictograma será el establecido en la normativa autonómica para residuos sanitarios infecciosos		HP 9. Infeccioso
	GHS05 HP 4. Irritante Corrosión cutánea (categorías 1A, 1B y 1C). Daño ocular grave. HP 8. Corrosivo		GHS08 HP 5. Toxicidad específica STOT-SE 1 y 2. STOT-RE 1 y 2. Toxicidad por aspiración 1. HP 7. Carcinógeno HP 10. Tóxico para la reproducción HP11. Mutágeno
	GHS07 HP 4. Irritante Irritación de la piel (categorías 2 y 3)/Irritación ocular (categoría 2). HP 6. Toxicidad aguda Toxicidad aguda 4, oral, dérmica e inhalación. HP 5. Toxicidad específica STOT SE 3. HP 13. Sensibilizante Sensibilización de la piel (categoría 1).		GHS06 HP 6. Toxicidad aguda Toxicidad aguda 1,2 y 3, oral, dérmica e inhalación.
	GHS09 HP 14. Ecotóxico	Sin pictograma	HP 12. Liberación de un gas de toxicidad aguda

Pictograma	Código Característica Clase y categoría de peligro	Pictograma	Código Característica Clase y categoría de peligro
►			
Sin pictograma	HP 15 Residuos que pueden presentar una de las características de peligrosidad antes mencionada que el residuo original no presentaba directamente.		GHS04 El símbolo de la bombona de gas se utiliza para gases comprimidos y licuados y no está ligado a ninguna propiedad de peligrosidad

Notas:

- STOT-SE (*specific target organ toxicity-single exposure* [toxicidad específica en determinados órganos-exposición única]).
- STOT-RE (*specific target organ toxicity-repeated exposure* [toxicidad específica en determinados órganos-exposiciones repetidas]).

3. Política de residuos

El estilo de vida actual de los países industrializados conlleva la generación diaria de una cantidad considerable de residuos, lo que constituye un desafío significativo para el medioambiente. Esta situación ha generado una creciente necesidad por optimizar el manejo de los desechos, con el objetivo de fomentar el reciclaje y la reutilización de materiales, y así reducir al mínimo la producción de residuos contaminantes.

3.1. Jerarquía de residuos

La jerarquía de residuos es un concepto crucial en el ámbito del reciclaje y de la gestión de residuos. Esta jerarquía establece una serie de prioridades que guían las acciones y los tratamientos más adecuados para los residuos que generamos, priorizando aquellos que contribuyen más eficazmente a la protección del medioambiente y al fomento de la economía circular.

La jerarquía de residuos tiene su origen en iniciativas como la política de las 3R (reducir, reutilizar y reciclar), promovida por Japón en el año 2000, y la Directiva Marco de Residuos de la Unión Europea de 1975. En la actualidad, la legislación española y europea incorporan esta jerarquía como un instrumento fundamental para la gestión sostenible de los residuos y la transición hacia una economía circular. Se presenta visualmente en forma de pirámide invertida, como se muestra en la figura 3. En este caso, la pirámide de residuos ofrece un itinerario ordenado de mayor a menor preferencia, donde las opciones más favorables se encuentran en la parte superior y las menos deseables en la parte inferior.

Figura 3. Pirámide de residuos



Fuente: elaboración propia.

En el artículo 8 de la Ley 7/2022 se establecen una serie de prioridades organizadas según las acciones que pueden tener el mayor impacto en la protección del medioambiente y en el fomento de la economía circular. El citado artículo dice así:

«1. Las autoridades competentes, en el desarrollo de las políticas y de la legislación en materia de prevención y gestión de residuos, aplicarán, para conseguir el mejor resultado medioambiental global, la jerarquía de residuos por el siguiente orden de prioridad:

- Prevención.
- Preparación para la reutilización.
- Reciclado.
- Otro tipo de valorización, incluida la valorización energética.
- Eliminación».

En primer lugar, la jerarquía de residuos establece la importancia de la *prevención o minimización* como la opción más deseable. Esta etapa se basa en la idea de que el mejor residuo es el que no se produce en absoluto. Se trata de adoptar medidas durante todas las etapas del ciclo de vida de un producto, desde su concepción y diseño hasta su distribución y consumo, con el fin de evitar la generación de residuos innecesarios y sus impactos ambientales asociados.

La siguiente etapa es la *reutilización*, que implica la comprobación, la limpieza o la reparación de productos o componentes para que puedan ser utilizados nuevamente, ya sea en su función original o en otra diferente, sin necesidad de realizar grandes transformaciones.

El *reciclado* es otro componente importante de la jerarquía de residuos. Esta etapa implica la transformación de los residuos en nuevos materiales, productos o sustancias que puedan ser reintroducidos en el mercado, contribuyendo así a cerrar el ciclo de vida de los materiales y reducir la dependencia de materias primas vírgenes.

La *recuperación* es otra forma de valorización de los residuos, que incluye operaciones como la valorización energética o la transformación de residuos en materiales que puedan ser utilizados como combustibles o en operaciones de relleno.

Finalmente, la *eliminación* se reserva como el último recurso e incluye una serie de técnicas y tratamientos para la disposición final de los residuos que no pueden ser gestionados de manera más sostenible.

Para facilitar las labores de reutilización, reciclado u otras operaciones de valorización, se hace especial mención en la recogida separada de residuos, para lo cual se establece que las entidades locales tienen la responsabilidad de establecer la recogida separada de las siguientes fracciones de residuos de su competencia:

- Papel, metales, plástico y vidrio.
- Biorresiduos de origen doméstico, con fechas límite diferentes según el tamaño de la población. También se considera la separación y el reciclaje en origen mediante compostaje doméstico o comunitario.
- Residuos textiles.
- Aceites de cocina usados.
- Residuos domésticos peligrosos con el fin de evitar la contaminación de otros flujos de residuos locales.
- Residuos voluminosos, como muebles y enseres.
- Otras fracciones de residuos que deben ser recogidas separadamente según la normativa establecida.

3.2. Envasado y etiquetado de residuos

En lo que respecta al manejo de los residuos en el lugar de producción, según el artículo 21 de la Ley 7/2022, es importante que el productor inicial u otro poseedor de residuos cumpla con ciertas obligaciones, que resumimos a continuación:

- Debe contar con un área designada y debidamente identificada para el almacenamiento adecuado de los residuos, garantizando condiciones óptimas de higiene y seguridad durante su permanencia en el lugar. En el caso de residuos peligrosos, es

crucial protegerlos de la intemperie y disponer de sistemas para prevenir vertidos y derrames. La duración máxima de almacenamiento para residuos no peligrosos destinados a valorización es de dos años, mientras que para la eliminación es de un año. En el caso de residuos peligrosos, esta duración se reduce a seis meses en ambos casos.

- Es imperativo evitar la mezcla de residuos no peligrosos si ello dificulta su posterior valorización, según lo establecido en el artículo 8 sobre la jerarquía de residuos.
- Se prohíbe tanto la mezcla como la dilución de residuos peligrosos con otras categorías de residuos peligrosos o con cualquier otro tipo de residuos, sustancias o materiales.

Los recipientes o envases que contengan residuos peligrosos deberán estar etiquetados de forma clara y visible, legible e indeleble, al menos en la lengua española oficial del Estado.

Figura 4. Ejemplo de etiquetado de residuos

<p>Código LER: 150110*</p> <p>NOMBRE RESIDUO</p> <p>Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas</p> <hr/> <p>EMPRESA UDIMA</p> <p>DIRECCIÓN UDIMA. Carretera de La Coruña, km 38,5 Vía de servicio, n.º 15</p> <p>NIMA: 0123456789</p> <p>E-MAIL: correoelectrónico@gmail.com</p> <p>TELÉFONO: 918 56 16 99</p> <hr/> <p>FECHA ENVASADO: 11/03/2024</p>	 HPA Irritante-Irritación cutánea y lesiones oculares  HPA14 Ecotóxico
---	--

Fuente: Clerinsingenieros (<https://www.clerinsingenieros.com/generador-etiquetas-codigo-ler>).

En la etiqueta (véase figura 4), deberá aparecer:

- El código y la descripción del residuo conforme a lo establecido en el artículo 6, así como el código y la descripción de las características de peligrosidad de acuerdo con el anexo I de la Ley 7/2022.
- Nombre, asignación de número de identificación medioambiental (NIMA), dirección (postal y electrónica) y teléfono del productor o poseedor de los residuos.
- Fecha en la que se inicia el depósito de residuos.
- La naturaleza de los peligros que presentan los residuos, que se indicará mediante los pictogramas descritos en el Reglamento (CE) núm. 1272/2008 del Parlamento y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008.

Cuando se asigne a un residuo envasado más de un pictograma, se tendrán en cuenta los criterios establecidos en el artículo 26 del Reglamento (CE) núm. 1272/2008 del Parlamento y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008. En la etiqueta se harán constar todos los pictogramas de peligro que se le asignen al residuo, una vez aplicados los criterios mencionados en el apartado anterior.

3.3. Tratamientos de residuos

Los sistemas de tratamiento de residuos abarcan una serie de operaciones diseñadas para modificar las características físicas, químicas o biológicas de los residuos con varios objetivos fundamentales. En primer lugar, estos sistemas buscan reducir o neutralizar las sustancias peligrosas presentes en los residuos, contribuyendo así a mitigar los impactos negativos en el medioambiente y en la salud humana.

Además, los sistemas de tratamiento están orientados a la recuperación de materiales o sustancias valorizables presentes en los residuos con el fin de promover la economía circular y minimizar la dependencia de materias primas vírgenes. Esta recuperación puede incluir la extracción de metales, plásticos u otros materiales que pueden ser reintroducidos en la cadena de producción para darles una segunda vida útil.

Otro objetivo importante de los sistemas de tratamiento es facilitar el uso de los residuos como fuente de energía. Esto puede implicar la transformación de residuos orgánicos en biogás mediante procesos de digestión anaeróbica o la incineración controlada de residuos para la producción de calor o electricidad.

3.3.1. Tratamientos mecánicos

Las fases más comunes del proceso de tratamiento de estos residuos incluyen:

- Trituración y fragmentación de los residuos de madera y separación de materiales ferreos.

- Separación sin triturar de los demás residuos y clasificación según su composición en contenedores designados para tal fin (aparatos electrónicos con gases nocivos, equipos electrónicos y electrodomésticos de línea blanca, a excepción de neveras, así como artículos de línea marrón y colchones –estos últimos pueden ser triturados–).
- Almacenamiento y posterior envío a las instalaciones correspondientes de tratamiento o reciclaje.

3.3.2. Tratamientos químicos

El objetivo principal de los tratamientos químicos es eliminar o reducir los niveles de toxicidad de los residuos industriales para alcanzar niveles aceptables para el medioambiente mediante la adición de reactivos controlados. Este proceso debe adaptarse a las características químicas de los distintos residuos, como, por ejemplo, su naturaleza ácido-base, de oxidación-reducción o de precipitación. Una de las principales aplicaciones del tratamiento químico es la recuperación de metales de los residuos, lo que permite su reciclaje y contribuye a la preservación del medioambiente al evitar su eliminación indiscriminada.

Los métodos de tratamiento químico pueden clasificarse en cinco grandes grupos:

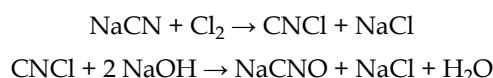
- Reacciones de neutralización. Tienen como objetivo ajustar el pH de las soluciones, que pueden ser ácidas o alcalinas, a valores aceptables (normalmente, entre 6 y 9). Para neutralizar los residuos ácidos se utilizan reactivos como la cal (CaO), el hidróxido de sodio (NaOH) o el carbonato de sodio (Na_2CO_3), mientras que para los alcalinos se emplean ácidos como el ácido sulfúrico (H_2SO_4), el ácido clorhídrico (HCl) o el dióxido de carbono (CO_2). Durante este proceso deben tomarse precauciones debido a la posible liberación de calor y gases peligrosos, como el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el ácido cianhídrico (HCN) y el amoniaco (NH_3).

Los metales en soluciones ácidas pueden formar hidróxidos insolubles. Sin embargo, el producto resultante suele ser un lodo fluido que necesita un acondicionamiento adicional mediante la separación sólido-líquido por sedimentación-filtración antes de su eliminación final.

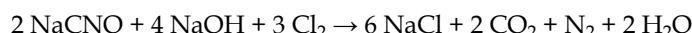
- Reacciones de oxidación-reducción. Implican la transferencia de electrones entre sustancias, donde una se oxida y la otra se reduce. Se utilizan principalmente para destruir contaminantes orgánicos o inorgánicos en soluciones acuosas, como los cianuros residuales de los procesos de electrodeposición.

El proceso puede requerir la adición de oxidantes, como oxígeno, ozono o cloro. Por ejemplo, la oxidación de cianuros utilizando cloro y soda cáustica produce dióxido de carbono, cloruro de sodio, nitrógeno y agua como productos finales, que son inocuos para el medioambiente. En las siguientes reacciones se detalla el proceso completo:

Etapa 1

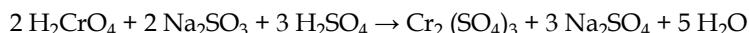
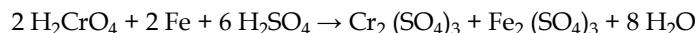


Etapa 2



Otro método común para oxidar los residuos industriales es el uso de la oxidación por aire húmedo a alta presión y a alta temperatura. Este método consiste en hacer burbujejar aire a través de una fase líquida que contiene materia orgánica disuelta o en suspensión.

Las reacciones de reducción implican la transferencia de electrones del agente reductor a la sustancia que se está reduciendo. Este procedimiento menos común utiliza reactivos como el dióxido de azufre (SO_2) o el sulfito de sodio (Na_2SO_3). Generalmente, se utiliza para reducir el cromo hexavalente altamente tóxico a cromo trivalente. En el ejemplo dado, los principales agentes reductores son el hierro y el sulfito sódico:



- Reacciones de precipitación. Implican un proceso en el que un contaminante disuelto se transforma en un sólido insoluble, lo que facilita su eliminación mediante sedimentación, filtración o ambas. Se utilizan para eliminar elementos metálicos disueltos precipitándolos de diversas formas, buscando siempre disminuir su producto de solubilidad mediante el ajuste del pH. Un procedimiento habitual para separar metales es precipitarlos como hidróxidos insolubles. Los reactivos más utilizados son el óxido de calcio (CaO) y el hidróxido de sodio (NaOH), principalmente porque son baratos y fáciles de manejar, y proporcionan un precipitado fácil de decantar y separar, aunque requieren largos tiempos de precipitación debido a su alta solubilidad. La presencia de agentes complejantes como el amoniaco o el cianuro puede inhibir la precipitación. En el caso de metales extremadamente tóxicos, como el cadmio y el mercurio, cuyas concentraciones no pueden reducirse a niveles deseables mediante la formación de hidróxidos, se utiliza sulfuro de sodio para precipitar los sulfuros correspondientes. Sin embargo, tiene el inconveniente de la posible formación de sulfuro de hidrógeno y de la formación de lodos muy tóxicos.
- Estabilización-solidificación. Se utiliza para preparar los residuos para su eliminación en vertederos seguros, mejorando su manipulación y reduciendo la movilidad de los contaminantes. Este proceso se emplea para reducir la toxicidad de los residuos y minimizar su impacto ambiental, principalmente evitando la liberación de contaminantes peligrosos al suelo, agua y aire. El proceso de estabilización implica la modificación de las propiedades químicas de los contaminantes presentes en los residuos para hacerlos menos solubles, menos móviles y menos reactivos. Esto se logra mediante la adición de agentes estabilizantes, como cal, cemento, yeso u otros materiales químicos, que interactúan con los contaminantes para encapsularlos.

larlos o transformarlos en formas menos peligrosas. Por otro lado, la solidificación implica la conversión de los residuos en una forma sólida, lo que facilita su manejo, transporte y disposición final. Durante este proceso, los agentes solidificantes se mezclan con los residuos para crear una matriz sólida que encapsula los contaminantes y evita su liberación al medioambiente.

En la práctica, los reactivos que más se utilizan en estos procesos son la cal, para conseguir el pH adecuado; la sepiolita, como absorbente; y cementos, yesos, silicatos, cenizas, escorias y arenas, como ligantes.

- Coagulación-flocculación. Se utiliza para separar los sólidos no sedimentables, como los coloides. Este tratamiento genera un lodo que debe ser separado y tratado antes de ser depositado en un vertedero, aunque no sea considerado un residuo peligroso. Este procedimiento se ha explicado en el capítulo 3, donde el proceso se trató en profundidad.

3.3.3. Tratamientos térmicos

Estos tratamientos se clasifican en función de la cantidad de oxígeno empleada en el proceso:

- Incineración. Destaca como una de las técnicas más utilizadas para el tratamiento de residuos industriales, principalmente debido a su capacidad para reducir significativamente el volumen de los residuos. Además, ofrece la ventaja adicional de la generación de energía durante el proceso, lo que puede hacer rentable el mantenimiento y la operación de la instalación. La incineración se puede describir como un proceso de oxidación controlada a altas temperaturas que requiere un exceso de oxígeno. Durante este proceso se liberan diversos subproductos, como gases, partículas, humos, cenizas y escorias, los cuales deben ser gestionados de manera adecuada debido a su potencial de alta contaminación ambiental. Las temperaturas de combustión están entre los 900 °C y 1200 °C. En el apartado 4.3 veremos en detalle el funcionamiento de las incineradoras utilizadas para el tratamiento térmico de este tipo de residuos.
- Gasificación. Implica una oxidación parcial de la materia en presencia de una cantidad de oxígeno inferior a la requerida estequiométricamente. Se emplea aire, oxígeno o vapor como fuentes de oxígeno y, a veces, también como portadores para la eliminación de los productos de reacción. La temperatura de operación típicamente supera los 750 °C.
- Pirólisis. Involucra la descomposición térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno, lo que significa que los materiales se descomponen mediante el calor sin que ocurran reacciones de combustión. El único oxígeno presente es el contenido en el residuo que se está tratando. Las temperaturas de trabajo para la pirólisis son generalmente más bajas que las de la gasificación, oscilando entre 300 °C y 800 °C.

3.3.4. Tratamientos biológicos

3.3.4.1. Compostaje

El compostaje es un proceso biológico aeróbico y termófilo que se lleva a cabo en condiciones controladas para descomponer residuos orgánicos en fase sólida, transformándolos en un producto estable conocido como compost, que se puede utilizar como abono para el suelo. Aunque a veces se ha descrito como un método para estabilizar los residuos, es más preciso hablar de descomposición, ya que no siempre se garantiza una estabilización completa.

Durante el compostaje, los microorganismos son los principales actores en la descomposición de los residuos orgánicos, aprovechando estos materiales como fuente de alimento. El proceso se divide en dos fases principales:

A) Fase de fermentación

Este proceso se divide en varias fases:

- Fase mesófila o de temperatura moderada. Suele durar unos días y es donde los compuestos orgánicos más fácilmente biodegradables se descomponen.
- Fase termófila. Se caracteriza por una mayor actividad microbiológica y la degradación de compuestos más complejos, como proteínas, grasas y carbohidratos (celulosa y hemicelulosa). Esta fase puede durar desde unos días hasta varios meses y alcanza temperaturas de alrededor de 60 °C, lo que garantiza la destrucción de parásitos, patógenos vegetales y animales, así como de semillas y malezas. Si se alcanzan los 70 °C, se detiene la actividad microbiana. Sin embargo, la aireación del compost reinicia el proceso, dando lugar a cambios en la temperatura y a la reactivación microbiana. Este ciclo continúa hasta que la temperatura deja de aumentar debido al agotamiento de los nutrientes.
- Fase mesófila final. En esta fase, menos activa, la temperatura y el grado de descomposición disminuyen y la materia orgánica es colonizada por microorganismos mesófilos.

B) Fase de maduración

En esta fase, la temperatura del compost se estabiliza y ya no hay cambios significativos, debido a la limitación de nutrientes. Se desarrollan tanto microorganismos mesófilos como termófilos, pero con una actividad microbiana reducida.

Durante todo el proceso, diferentes grupos de microorganismos se suceden, cada uno adaptado a condiciones específicas de temperatura, humedad y nutrientes. Proporcionar un entorno adecuado para estos microorganismos es crucial para obtener un compost de calidad. Para ello, es importante controlar parámetros como la temperatura, la humedad, el pH, el oxígeno y el equilibrio de nutrientes.

Los microorganismos, incluyendo bacterias, tienen la capacidad de producir proteínas específicas que se unen a los metales, lo que permite su eliminación con un alto grado de selectividad. Esto significa que las tecnologías utilizadas en el tratamiento secundario de aguas residuales pueden ser aplicadas de manera limitada en el tratamiento de residuos peligrosos. Mientras que el tratamiento químico es más efectivo para destruir la mayoría de los residuos metálicos, el tratamiento biológico es especialmente útil para eliminar concentraciones bajas de metales que aún pueden ser tóxicas.

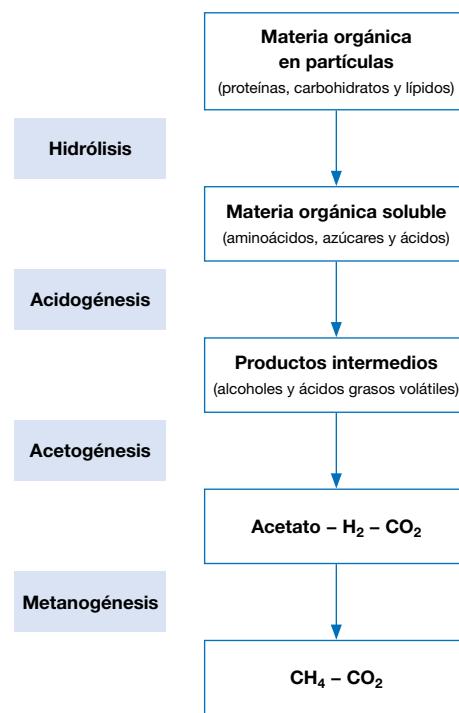
3.3.4.2. Biometanización

Básicamente consiste en la obtención de metano por medio de un proceso biológico. En ausencia de oxígeno, se puede emplear un proceso complejo que implica múltiples etapas y una población diversa de microorganismos para convertir la fracción más fácilmente degradable de la materia orgánica en biogás.

Esta mezcla de gases se compone principalmente de metano y dióxido de carbono, con cantidades menores de otros gases, como vapor de agua, monóxido de carbono, nitrógeno, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno. Como se puede observar en la figura 5, el proceso de digestión anaerobia es bastante complejo, pero se puede resumir en cuatro etapas:

- Hidrólisis. Comienza con la descomposición de moléculas orgánicas complejas en compuestos más simples por parte de bacterias hidrolíticas. Esta etapa inicial prepara el terreno para los pasos posteriores.
- Acidogénesis. Implica la conversión de estos compuestos más simples en ácidos grasos volátiles por bacterias acidogénicas.
- Acetogénesis. A continuación, estos ácidos son metabolizados por bacterias acetogénicas, que producen hidrógeno y dióxido de carbono como subproductos.
- Metanogénesis. Las arqueas metanogénicas consumen estos gases y producen metano como principal producto final.

Figura 5. Etapas del proceso de biometanización



Fuente: elaboración propia.

La eficacia del proceso de digestión anaerobia depende de varios factores, como la composición de la materia orgánica que se digiere, la temperatura y el pH del sistema y los tipos de microorganismos presentes. El biogás producido mediante este proceso es una fuente de energía renovable que puede utilizarse para calefacción, generación de electricidad y combustibles para el transporte. Además, el material residual que queda tras la digestión, conocido como *digestato*, puede utilizarse como fertilizante. En general, la digestión anaerobia es una tecnología prometedora para la gestión sostenible de residuos y la producción de energía.

4. Plantas para tratamientos de residuos

4.1. Plantas de compostaje

Una *planta de compostaje* es una instalación diseñada para transformar materiales orgánicos, como residuos de alimentos, restos de jardinería, lodos de depuradora y otros desechos biodegradables, en compost para su uso como fertilizante orgánico rico en nutrientes para el suelo. El proceso de compostaje es el siguiente:

- Recepción de los residuos. En primer lugar, los residuos orgánicos son recolectados y transportados a la planta de compostaje. Estos residuos pueden provenir de diferentes fuentes, como hogares, empresas de alimentos, agricultura y jardinería.
- Separación y preparación. En la planta, los residuos son sometidos a una fase de separación y preparación. Esto puede incluir la eliminación de materiales no biodegradables, como plásticos y metales, así como la trituración de los residuos para facilitar su descomposición.
- Formación de pilas o lechos de compostaje. Los residuos orgánicos preparados se colocan en pilas o lechos de compostaje. Estos montones se disponen en áreas ventiladas y protegidas, preparadas para la siguiente etapa de descomposición aeróbica de los materiales.
- Proceso de descomposición en la fase de fermentación. Durante este proceso, se proporcionan condiciones óptimas para la descomposición de los residuos. Esto incluye mantener la temperatura, la humedad y la aireación adecuadas dentro de las pilas de compostaje. La descomposición aeróbica es llevada a cabo por microorganismos, como bacterias y hongos, que descomponen la materia orgánica en nutrientes estables.
- Mezcla y volteo. Para garantizar una descomposición uniforme y eficiente, las pilas de compostaje se mezclan y voltean regularmente. Esto ayuda a airear el compost, promoviendo la actividad microbiana y evitando la formación de olores desagradables.
- Maduración y curado. Una vez que los residuos orgánicos se han descompuesto adecuadamente, el compost resultante se somete a un proceso de maduración y curado. Durante esta etapa, se permite que el compost alcance una estabilidad

microbiológica y química óptima, lo que garantiza la eliminación de patógenos y la reducción de olores.

- Cribado y clasificación. El compost maduro se somete a un proceso de cribado para eliminar cualquier material no deseado, como restos de madera o piedras. También puede clasificarse según su calidad y tamaño de partícula.
- Almacenamiento y distribución. Finalmente, el compost terminado se almacena en condiciones adecuadas hasta su venta o uso. Puede ser utilizado para recuperación de suelos en agricultura, paisajismo, jardinería urbana y restauración de suelos degradados.

En la figura 6 se muestra una imagen de una planta de compostaje en la que se puede apreciar la formación de pilas para el compostaje.

4.2. Vertederos

Desde el punto de vista legal, la eliminación en vertedero es la última opción dentro de la jerarquía de gestión de residuos, tal y como se ha comentado en el apartado 4.1. La idea de armonizar las normas sobre instalaciones de eliminación de residuos surge de la Directiva 1999/31/CE, de 26 de abril, relativa al vertido de residuos, que posteriormente es modificada por la Directiva (UE) 2018/850 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018. Esta directiva ha sido transpuesta al ordenamiento jurídico español por el Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

Un *vertedero* es una instalación de gestión de residuos autorizada para eliminar residuos de forma segura. Debe cumplir ciertas condiciones de diseño y seguridad, así como disponer de diversos elementos de vigilancia y control para prevenir o minimizar los riesgos para el medioambiente y la salud humana.

Los vertederos se clasifican en las siguientes categorías:

- Vertederos para residuos inertes. Están diseñados específicamente para la disposición de residuos inertes, es decir, aquellos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. Estos residuos no son solubles, combustibles ni biodegradables, y tampoco reaccionan física o químicamente con otras sustancias. Es crucial que la lixiviabilidad total, el contenido de contaminantes y la ecotoxicidad del lixiviado sean insignificantes. Comúnmente son los residuos que provienen de obras de construcción, reparación o demolición.

Figura 6. Planta de compostaje



Fuente: <https://eidersl.com/>.

- Vertedero para residuos no peligrosos. Entre estos se encuentran los residuos de competencia municipal. Se prevén tres subcategorías de vertederos de residuos no peligrosos:
 - Vertederos para residuos inorgánicos (con un contenido bajo en componentes orgánicos biodegradables).
 - Vertederos para residuos orgánicos.
 - Vertederos para residuos mixtos no peligrosos (con un contenido sustancial de materiales orgánicos biodegradables y de materiales inorgánicos).
- Vertedero para residuos peligrosos. En ellos, se depositan aquellos residuos catalogados como peligrosos según lo establecido en la lista actual de residuos y que cumplen con los criterios de admisión para ser depositados en estos vertederos. Sin embargo, si el residuo no cumple con los criterios de admisión, podría someterse a un tratamiento adicional y luego volver a ser evaluado mediante pruebas correspondientes para determinar si cumple con los requisitos necesarios.

Por ejemplo, en la tabla 4 se presentan los límites de lixiviación para su admisibilidad de varios parámetros en los diferentes tipos de vertederos mencionados. Estos valores se basan en un ensayo con una proporción líquido/sólido de 10 L/kg y se expresan en mg/kg.

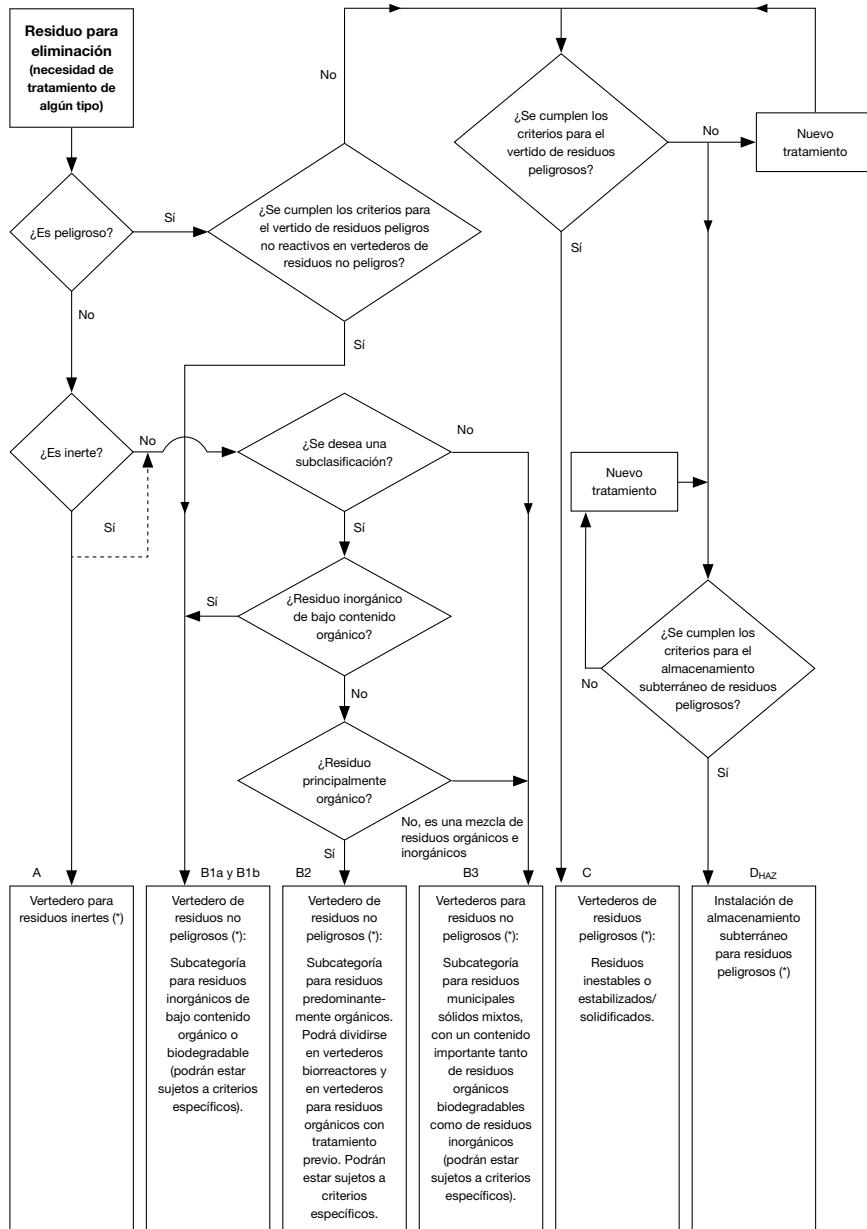
Tabla 4. Límites de lixiviación para la admisibilidad en vertederos

Proporción (l/s = 10 L/kg)	Vertedero de residuos inertes (mg/kg)	Vertedero de residuos no peligrosos (mg/kg)	Vertedero de residuos peligrosos (mg/kg)
As	0,5	2	25
Ba	20	100	300
Cd	0,04	1	5
Hg	0,01	0,2	2
Pb	0,5	10	50
Sulfatos	1000	20000	50000
Cloruros	800	15000	25000

Nota. l/s = 10 L/kg (relación entre la cantidad de líquido y la de sólido, es decir, para realizar el ensayo de caracterización del residuo se usan 10 L de líquido para cada kg de residuo sólido).

La figura 7 presenta todas las opciones de vertido de residuos contempladas por la directiva sobre vertidos. Además, en la parte inferior se incluyen algunos ejemplos de subcategorías de las principales clases de vertederos.

Figura 7. Diagrama de las opciones de vertido



(*) En principio, el almacenamiento subterráneo es también posible para los residuos inertes y no peligrosos.

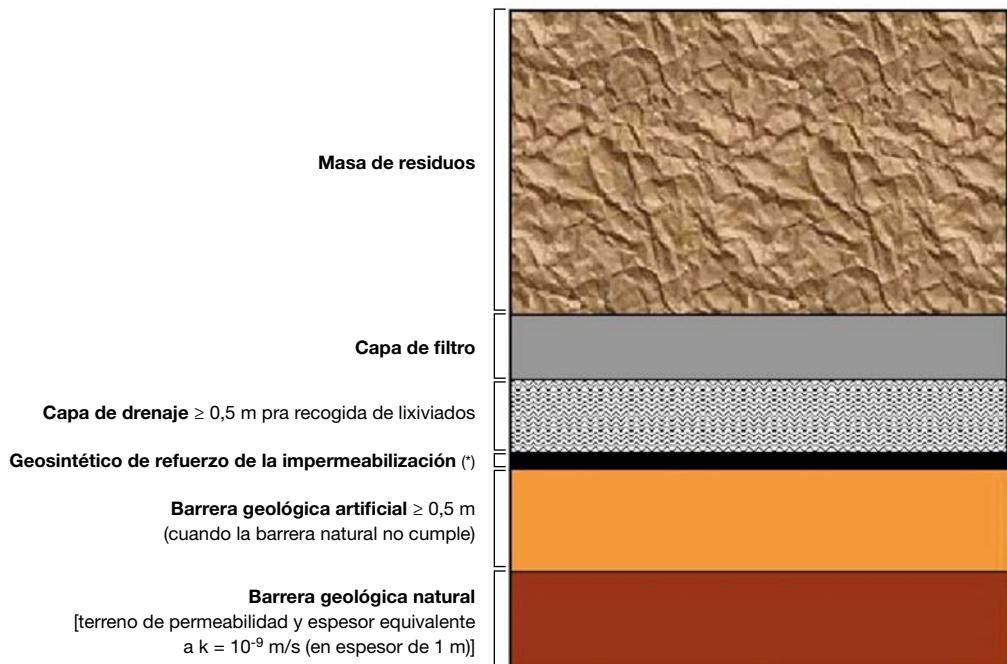
Fuente: Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

Los vertederos se diseñan y ubican de forma que se minimicen los impactos negativos sobre la salud humana y el medioambiente. Su objetivo es reducir la contaminación del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales, así como la emisión de gases de efecto invernadero.

La impermeabilización lateral y del fondo de los vertederos de residuos es de suma importancia para evitar la contaminación del suelo y del agua. Para evitar que el agua de lluvia entre en el vertedero y se ponga en contacto con los residuos, se instalan canalones o zanjas de drenaje perimetrales, así como estanques de retención de aguas pluviales. Esto reduce la producción de lixiviados, que se recogen y almacenan en una zona designada para su correcta eliminación.

En la figura 8 se muestra la solución de referencia establecida por el Real Decreto 1481/2001 para la impermeabilización de la base y los laterales de un vertedero de residuos no peligrosos (en el caso de vertederos de residuos peligrosos, el perfil sigue siendo el mismo, exigiéndose únicamente un espesor de 5 m para la capa impermeable natural de la base).

Figura 8. Solución de referencia para vertederos de residuos no peligrosos



(*) Se dispondrá un geotextil protector encima del geosintético de refuerzo.

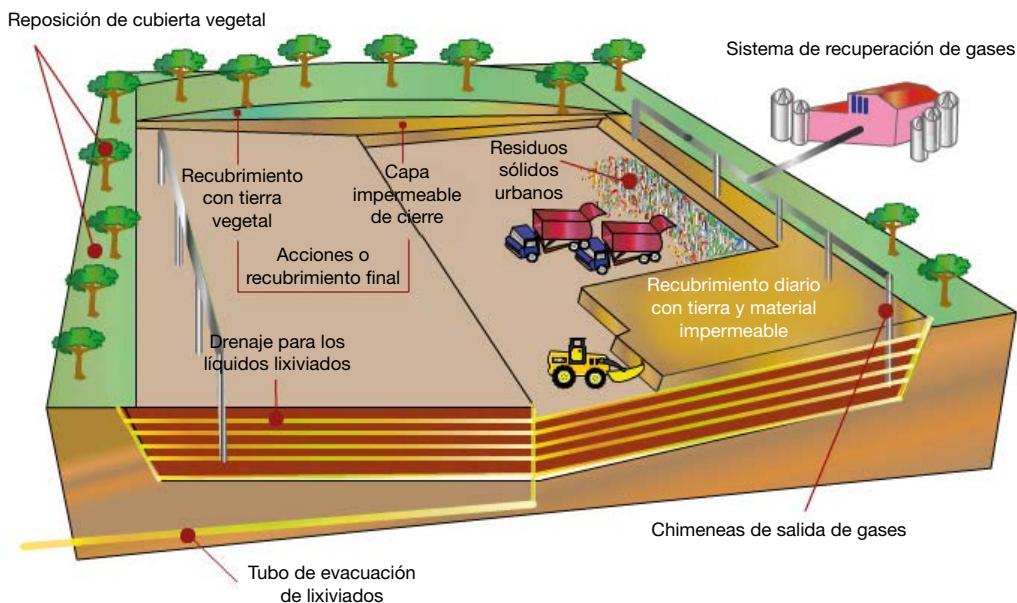
Fuente: elaboración propia.

Además, los vertederos que reciben residuos biodegradables disponen de sistemas para capturar y utilizar los gases producidos. Esto ayuda a reducir el impacto negativo de los vertederos en el medioambiente.

Aunque los residuos deben someterse a un tratamiento antes de ser depositados en los vertederos, siguen teniendo el potencial de contaminar las zonas circundantes. Por lo tanto, es imperativo mantener estrictas medidas de control para evitar la contaminación del suelo, el agua y el aire. De este modo, podemos garantizar que los vertederos sean seguros tanto para las personas como para el planeta.

Se deben buscar emplazamientos adecuados y preparados para tal fin, en terrenos impermeables. Además, se somete a una impermeabilización previa de su fondo y paredes, lo que garantiza que los *lixiviados* (líquidos formados por la disolución de los componentes de los residuos con el agua infiltrada y que contienen una alta concentración de contaminantes) se drenen, recojan y traten de forma controlada en plantas de tratamiento de aguas residuales, evitando que se filtre en el suelo y contaminen los acuíferos. Sobre el vertedero se depositan los residuos mediante deposición ordenada, colocándolos en estratos que, a continuación, se cubren con una capa de material de recubrimiento, normalmente arcillas, para poder depositar una nueva capa de residuos. En la figura 9 se muestra una representación de un vertedero.

Figura 9. Esquema de un vertedero



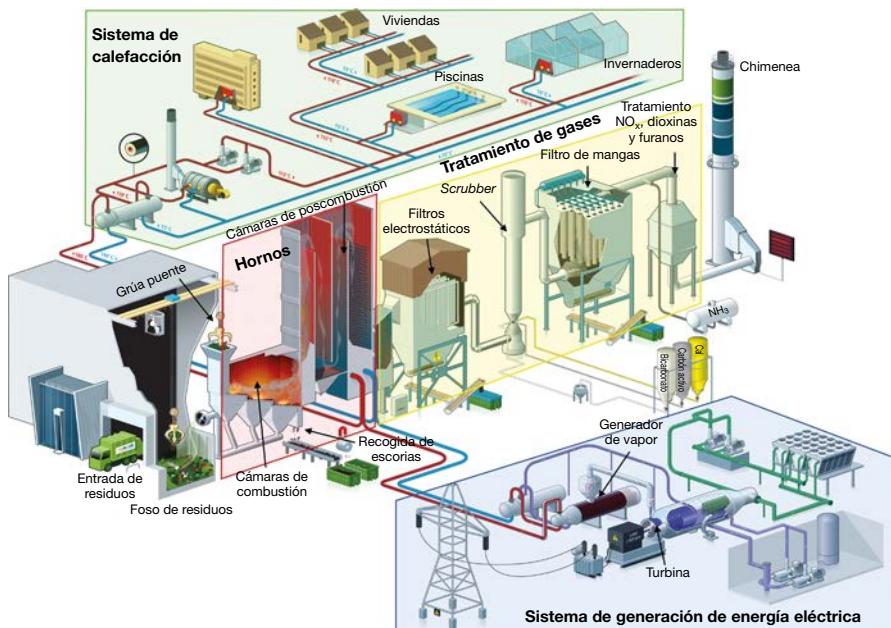
Fuente: Junta de Andalucía (https://edea.juntadeandalucia.es/bancoreCURSOS/file/2f06d007-4868-4a09-86b1-4f49b2c5ea8b/1esan_2018060712_9121849.zip/32_almacenamiento_de_residuos_vertederos_y_depositos.html).

4.3. Incineradoras

El objetivo de la incineración de residuos, como el de la mayoría de los tratamientos de residuos, es gestionar eficazmente los residuos reduciendo su volumen y peligrosidad. La *incineración* es el proceso de quemar los residuos a altas temperaturas, lo que provoca la destrucción de las sustancias nocivas al tiempo que reduce su volumen. Este proceso es especialmente eficaz para los residuos que no pueden reciclarse ni reutilizarse, como los residuos médicos, los productos químicos peligrosos y otros materiales tóxicos. Además, la incineración es una solución de gestión de residuos ecológica y sostenible que ayuda a reducir la cantidad de residuos en los vertederos. También es una alternativa rentable a los métodos tradicionales, como el almacenamiento en vertederos.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que el proceso de incineración debe supervisarse y controlarse cuidadosamente para evitar cualquier impacto medioambiental negativo. Las emisiones producidas durante el proceso deben gestionarse adecuadamente para garantizar que no perjudican al medioambiente ni a la salud pública. En general, la incineración de residuos es una herramienta importante en la reducción de vertidos de residuos que pretenden las legislaciones actuales.

Figura 10. Esquema de funcionamiento de una incineradora



Fuente: elaboración propia.

En la figura 10 se muestra el esquema de una incineradora en el que las etapas de almacenaje y manejo de residuos entrantes se encuentran a la izquierda. El sistema de hornos se muestra recuadrado en rojo, mientras que la zona de limpieza de gases de combustión aparece recuadrada en amarillo. La etapa de generación de energía eléctrica está recuadrada en azul y la zona verde sería generación térmica, normalmente para calefacción (es opcional).

4.3.1. Área de recepción y servicio

Esta área incluye una báscula para pesar camiones y un laboratorio dedicado al control de todos los productos entrantes, así como de los parámetros de los diversos procesos y los efluentes generados.

4.3.2. Zona de almacenamiento

Es la zona donde se ubican los contenedores y se almacenan los residuos según sus características.

4.3.3. Instalación de pretratamiento

Por norma general, los residuos necesitan una etapa previa al llegar a la planta de incineración. En esta zona, los residuos se reciben en un área de recepción cerrada, donde se someten a una serie de operaciones para la homogenización, mezcla y neutralización antes de introducirlos en el horno de combustión. En esta zona se hace succión desde la cámara de combustión para evitar la salida al exterior de polvo y olores, y que estos vayan hacia la cámara de combustión desde el área de recepción para eliminar su propagación fuera de las instalaciones. En el pasado, estas operaciones requerían una considerable cantidad de mano de obra, pero, en la actualidad, se han automatizado para evitar la exposición directa del personal a los residuos.

4.3.4. Hornos

Este espacio corresponde al área donde se lleva a cabo la incineración en sí misma. Se trata de una cámara recubierta con material aislante donde se introducen los residuos y se mezclan con el aire requerido para su combustión. Los residuos ya mezclados ingresan a la cámara de combustión a través de una rejilla móvil temporizada, que los gira repetidamente con la finalidad de mantenerlos expuestos al oxígeno para que se pueda producir la combustión. Mediante el control de la cantidad de oxígeno que entra y los humos extraídos se consigue una combustión casi completa.

En función del estado de agregación de los residuos, podremos utilizar distintos tipos de hornos:

- Horno rotatorio. Este dispositivo es el más empleado para el tratamiento de residuos, dada su capacidad para procesar sólidos, líquidos, lodos y envases. Consiste en un horno cilíndrico revestido con material refractario, de longitud limitada a unos 20 m, y con una inclinación de aproximadamente 5 grados para favorecer el contacto del material con el aire de combustión debido a su rotación alrededor de un eje. Para asegurar la completa eliminación de residuos, el horno se conecta a una cámara de poscombustión. Estos hornos pueden alcanzar temperaturas de hasta 1300 °C y son comúnmente utilizados en sectores como la industria del cemento y la cal.
- Horno de inyección líquida. Principalmente diseñados para la incineración de líquidos, aunque también pueden ser utilizados para gases, estos hornos consisten en un cilindro refractario que puede ser dispuesto horizontal o verticalmente. Los residuos pulverizados se inyectan a través de quemadores, atomizándose y quemándose en suspensión. La eficiencia de este sistema depende del grado de atomización alcanzado en el quemador. Las temperaturas en estos hornos pueden llegar hasta 1700 °C. Este método es ampliamente utilizado para residuos líquidos debido a su costo moderado.
- Horno de lecho fluidizado. Tradicionalmente utilizado para el tratamiento de lodos de plantas de aguas residuales urbanas y residuos de la industria química y farmacéutica. Este tipo de horno, dispuesto verticalmente, puede alcanzar alturas de hasta 10 m. Incorpora un lecho de arena, alúmina o carbonato cálcico, a través del cual los residuos son forzados mediante la inyección de aire, logrando un eficiente mezclado con el exceso de aire y temperaturas de hasta 900 °C. Aunque ofrece una mayor eficiencia térmica que los hornos rotatorios, puede presentar desafíos relacionados con la selección del material del lecho, ya que este debe ser compatible con los residuos tratados, evitando la formación de compuestos de bajo punto de fusión que podrían causar aglomeración y afectar al funcionamiento del reactor.
- Horno pirolítico. Conocidos también como *hornos de aire controlado* o *de hogar fijo*, se utilizan para cantidades pequeñas de residuos. Este sistema opera en dos etapas: los residuos se bombean a una cámara donde se queman con el 50 % del aire necesario, generando metano, monóxido de carbono y otros hidrocarburos, los cuales son posteriormente destruidos en una segunda cámara con exceso de aire, a veces requiriendo la adición de combustible. Las temperaturas alcanzadas pueden llegar hasta los 1600 °C y el proceso en dos etapas permite reducir las emisiones de gases.

4.3.5. Limpieza de gases

En el proceso de incineración de residuos, se generan diversos gases, principalmente CO₂, pero también se emiten partículas que contienen metales pesados y dioxinas, entre otros contaminantes. Para evitar la liberación de estos contaminantes a la atmósfera, es necesario realizar una limpieza de los humos resultantes. Esta limpieza puede llevarse a cabo mediante procesos en vía seca o húmeda:

- Limpieza por vía seca. Se utilizan dispositivos como filtros electrostáticos, filtros de mangas y ciclones. Estos sistemas están diseñados para atraer las partículas suspendidas en los humos y precipitarlas en forma de cenizas. La principal ventaja de este método es que no genera aguas residuales adicionales que requieran tratamiento, aunque puede resultar en un mayor volumen de residuos sólidos:
 - Filtros electrostáticos. Funcionan con dos placas colectoras dispuestas en paralelo al flujo del gas de combustión, junto con cables o electrodos cargados suspendidos verticalmente en dicho flujo. Estos electrodos cargados atraen las partículas presentes en el gas de combustión, atrapando las partículas cargadas en las placas colectoras.
 - Filtro de mangas. Se compone de una serie de bolsas diseñadas para capturar partículas. El gas de combustión ingresa en la base del filtro y pasa a través de estas bolsas de manera individual. Las partículas son retenidas en el exterior de las bolsas, mientras que el gas limpio continúa su flujo y es liberado por la parte superior de la unidad.
 - Ciclones. Se incrementa la velocidad angular del gas que hay que depurar, lo que produce una fuerza centrífuga considerablemente mayor que la fuerza gravitacional en las partículas suspendidas. Estas partículas se sedimentan en dirección radial y se separan del flujo de gas, que es extraído del ciclón en una dirección vertical ascendente, a través de una espiral concéntrica.
- Limpieza por vía húmeda. Este tipo de dispositivos sirven para reducir la cantidad de componentes ácidos que hay en los gases, como HCl, HF y SO₂. Se emplean dispositivos conocidos como *scrubbers*, que hacen pasar los humos a través de una cortina de agua, a veces con aditivos alcalinos, para lavar y neutralizar los gases ácidos.

Es importante mantener estos procesos de limpieza de efluentes en óptimas condiciones operativas, lo cual conlleva un costo significativo. La emisión de gases por parte de las plantas incineradoras ha sido objeto de controversia y rechazo social; sin embargo, esto se debe, principalmente, a tecnologías de incineración obsoletas. Los métodos modernos, como la incineración multicámara y de alta temperatura, han demostrado reducir las emisiones a niveles inferiores a los límites establecidos por la legislación.

Los residuos no quemados resultantes de la incineración, conocidos como *cenizas de fondo*, son sometidos a procesos de separación mediante imanes y separadores de corrientes parásitas para eliminar metales ferreos (acero y hierro) y otros metales como cobre, latón, níquel y aluminio, con el fin de facilitar su reciclaje. Las cenizas restantes pueden ser utilizadas como áridos en la construcción de carreteras y terraplenes ferroviarios. La cantidad de cenizas que se generan es, aproximadamente, del 10 %, respecto al volumen inicial, y del 30 %, respecto al peso inicial de los desechos. También pueden depositarse en vertederos controlados, previa valorización y tratamiento fisicoquímico, si fuese necesario, de acuerdo con lo establecido en la legislación sobre residuos.

5. Gestión ambiental

La *gestión medioambiental* se refiere al conjunto de medidas encaminadas a la gestión integral del sistema medioambiental. Implica el desarrollo de una estrategia para organizar las actividades humanas que tienen un impacto sobre el medioambiente con el objetivo último de lograr una calidad de vida adecuada al tiempo que se previenen o mitigan los problemas medioambientales potenciales o existentes. En otras palabras, la gestión medioambiental incluye el concepto de *desarrollo sostenible*.

Como ya hemos visto anteriormente, el desarrollo sostenible consiste en encontrar un equilibrio entre el crecimiento económico, el crecimiento de la población, el uso racional de los recursos y la protección y conservación del medioambiente. La gestión medioambiental es la clave para lograr este equilibrio. Incluye no solo las acciones que debe emprender la parte operativa, sino también las directrices, políticas y orientaciones formuladas por los órganos de gobierno que, en última instancia, median en el proceso de aplicación.

En los últimos años ha aumentado la concienciación sobre la necesidad de la gestión medioambiental. Esto se debe a la creciente preocupación por el impacto de las actividades humanas en el medioambiente. El cambio climático, la contaminación, la deforestación y otros problemas medioambientales se han convertido en cuestiones acuciantes que requieren una atención urgente. La gestión medioambiental proporciona un marco para abordar estas cuestiones, promoviendo un uso responsable y sostenible de los recursos.

Una gestión medioambiental eficaz requiere la implicación de todas las partes interesadas, incluidos los organismos gubernamentales, las empresas, las comunidades y los particulares. La colaboración y la cooperación son esenciales para lograr los resultados deseados. La gestión medioambiental implica no solo la prevención y mitigación de los problemas medioambientales, sino también la promoción del desarrollo sostenible. Esto significa que la gestión medioambiental debe integrarse en todos los aspectos de la toma de decisiones, incluidas las consideraciones económicas, sociales y medioambientales.

6. Impacto ambiental

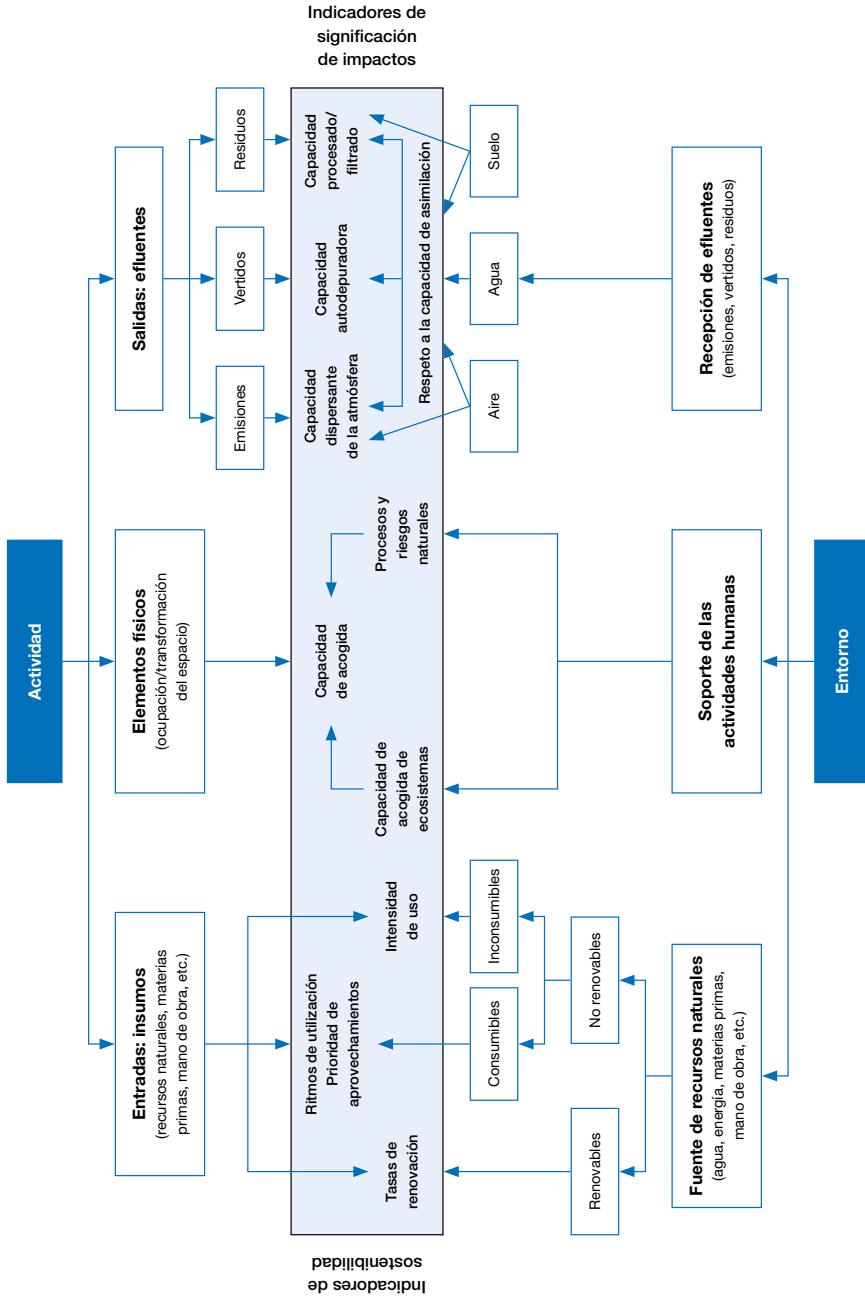
Podríamos definir el *impacto ambiental* como la alteración que se produce sobre la salud, el bienestar del hombre y el medio si se lleva a cabo dicho proyecto respecto a la situación que se produciría si no se ejecutara.

En la gestión medioambiental existen dos factores clave que intervienen; uno es el activo y otro es el pasivo.

El *elemento activo* es el conjunto de *actividades* que son responsables de causar problemas medioambientales, mientras que el *elemento pasivo* es el *entorno* que recibe los efectos de estas actividades. Comprender las características de ambos elementos es esencial a la hora de integrar las actividades en el entorno en el que se encuentran.

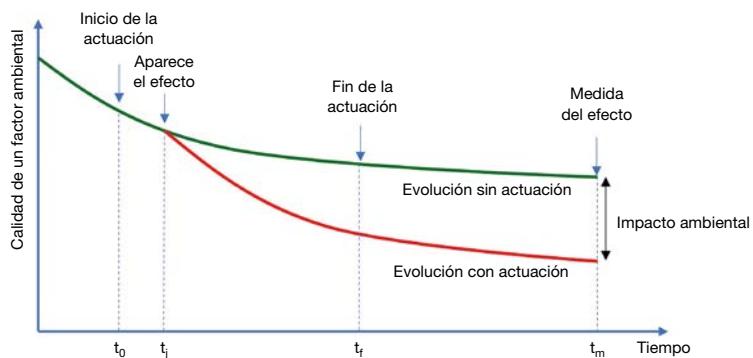
Fuente: Gómez Orea (2002).

Figura 11. Esquema de las relaciones «actividad» y «entorno»



La relación entre la actividad y el entorno se puede esquematizar en la figura 11, teniendo en cuenta, para cada una de las actividades, las entradas que toma (agua, energía, recursos naturales, mano de obra, etc.), los elementos que la forman, ya que ocupan un espacio y transforman el entorno (edificios, instalaciones, equipos, etc.) y los efluentes que emite (emisiones, vertidos, energía y residuos). El entorno puede verse afectado en las fuentes de recursos naturales, en el soporte de las actividades humanas, así como en la recepción de efluentes. La forma de evaluar un impacto se realiza midiendo la diferencia de la evolución del factor alterado con y sin la acción causante. En la figura 12 se esquematiza el impacto ambiental para un determinado factor ambiental genérico.

Figura 12. Medida del impacto ambiental

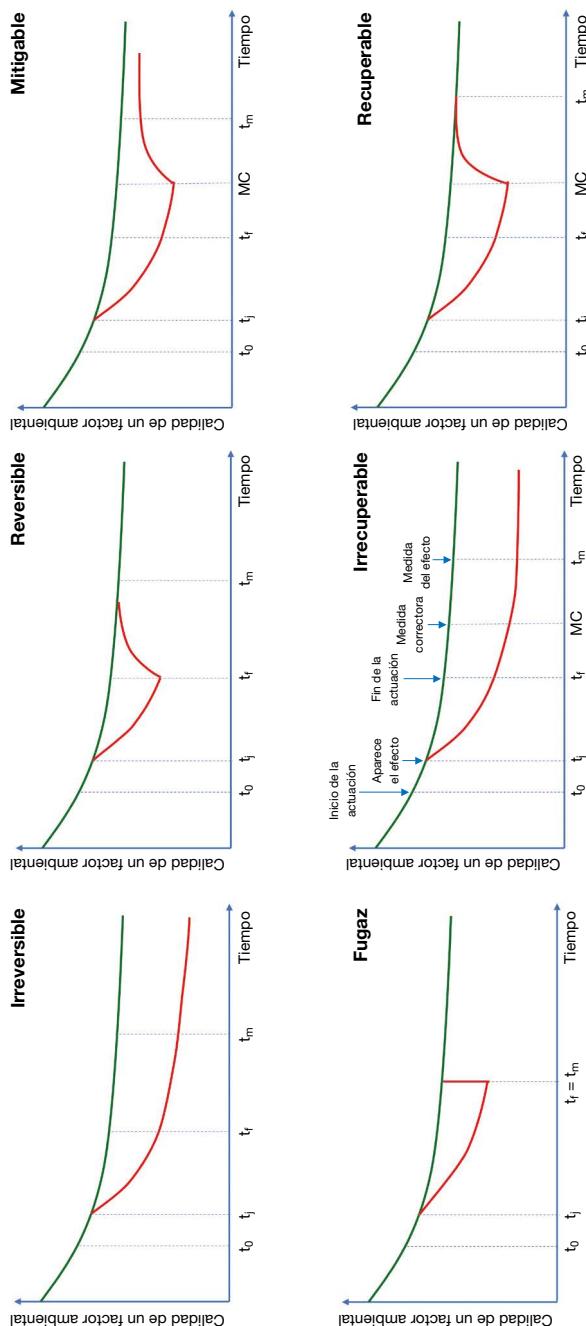


Fuente: elaboración propia.

Los impactos pueden clasificarse según distintos factores. En la figura 13, se muestra la clasificación según su capacidad de recuperación de forma natural:

- Reversible. Se refiere a un impacto cuyo efecto puede ser naturalmente absorbido por el entorno, de modo que, al finalizar la actividad, el entorno recupera por sí mismo su calidad ambiental previa. Si esta recuperación es inmediata tras el cese de la acción, se denomina *impacto reversible fugaz*.
- Irreversible. Se trata de un impacto cuyo efecto no puede ser asimilado de forma natural por el entorno; es decir, al finalizar la acción, no es posible retornar a la situación previa por medios naturales. En este caso, se requiere recurrir a medidas correctoras. Según su capacidad de recuperación mediante estas medidas, un impacto puede ser:
 - Recuperable. Su efecto puede ser completamente eliminado.
 - Mitigable. Su efecto puede ser significativamente reducido o paliado.
 - Irrecuperable. Su efecto no puede ser ni eliminado ni reducido.

Figura 13. Evolución de la calidad ambiental en función de la capacidad de recuperación de forma natural



Nota. t_0 representa el momento de inicio de la acción, t_f es el momento en que aparece el efecto, t_f es el momento del fin de la actuación, t_m es el momento en que se mide el impacto y MC es el momento en que se introduce la medida correctora. La línea verde representa la evolución sin actuación y la línea roja, con actuación.

Fuente: Gómez Orea (2002).

También puede clasificarse en función de su persistencia y se refiere a un impacto cuyo efecto perdura o no en el tiempo:

- Fugaz. Si la duración es menor de 1 año.
- Temporal. Si la duración está entre 1 y 3 años.
- Pertinaz. Si la duración está entre los 4 y 10 años.
- Permanente. Hace referencia a un impacto cuyo efecto perdura en el tiempo de manera continua. En términos prácticos, se considera como permanente aquel impacto ambiental que tiene una duración superior a 10 años.

En caso de que haya varios factores ambientales procedentes de distintas acciones en los que estos puedan ser aditivos, es posible clasificarlos en función de la interrelación entre ellos:

- Simple. Cuando una acción afecta únicamente a un solo aspecto ambiental, sin posibilidad de que los impactos se sumen.
- Acumulativo. Se caracteriza por un aumento progresivo de su efecto debido a la acción conjunta de acciones similares, tanto en el tiempo como en la magnitud del efecto.
- Sinérgico. Se produce cuando el efecto combinado de múltiples acciones resulta en una alteración mayor que la suma de los efectos individuales de las acciones. Un ejemplo sería la combinación de la contaminación del aire por NO_x y el aumento de la temperatura, que podrían multiplicar los problemas respiratorios en personas que vivan o trabajen en el entorno. En caso de que los efectos combinados fueran menores que la suma de los efectos individuales, se denominaría *debilitamiento*.

7. Evaluación ambiental

La *evaluación ambiental* es un procedimiento administrativo esencial que se rige por la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental (LEA), que analiza los posibles impactos significativos sobre el medioambiente resultantes de planes, programas y proyectos susceptibles de generar efectos adversos; es decir, se trata de predecir los posibles efectos que podría suponer cualquier plan (por ejemplo, el plan urbanístico de una población), programa (por ejemplo, el programa de gestión de residuos sólidos urbanos de una población) o proyecto (por ejemplo, la construcción de una explotación porcina en las proximidades de una población).

Por tanto, este análisis abarca tanto la *evaluación ambiental estratégica*, centrada en planes y programas, como la *evaluación de impacto ambiental*, centrada en proyectos, que es la que trataremos más a fondo en este manual.

En ambos casos, la normativa nacional relevante, actualmente en vigor, es la LEA, que tiene como finalidad primordial evaluar las repercusiones directas e indirectas de un plan, programa o proyecto sobre los siguientes aspectos:

- Salud humana, fauna y flora. El proceso de evaluación medioambiental tiene en cuenta los impactos potenciales que un plan, programa o proyecto puede tener sobre la salud y el bienestar de los seres humanos, así como sobre la flora y la fauna de la zona. Esto incluye el potencial de destrucción del hábitat, el desplazamiento de la fauna y la contaminación de los recursos hídricos.
- Calidad del suelo, del agua, del aire, del clima y del paisaje. El proceso de evaluación medioambiental considera los posibles impactos sobre la calidad del suelo, del agua, del aire, del clima y del paisaje debido a la aplicación de un plan, programa o proyecto. Esto incluye el potencial de erosión del suelo, la contaminación del agua, la contaminación del aire y los cambios en el paisaje.
- Recursos materiales y patrimonio cultural. El proceso de evaluación medioambiental también considera los impactos potenciales sobre los recursos materiales y el patrimonio cultural. Esto incluye el potencial de destrucción o alteración de lugares culturales, monumentos y artefactos, así como el agotamiento de recursos naturales, como minerales, madera y otros materiales.
- Interacciones entre los elementos mencionados anteriormente. Por último, el proceso de evaluación medioambiental tiene en cuenta las interacciones entre los distintos elementos señalados con anterioridad. Esto incluye el potencial de impactos acumulativos resultantes de la aplicación de múltiples planes, programas o proyectos en un área determinada, así como el potencial de impactos indirectos resultantes de la aplicación de un plan, programa o proyecto en un área diferente.

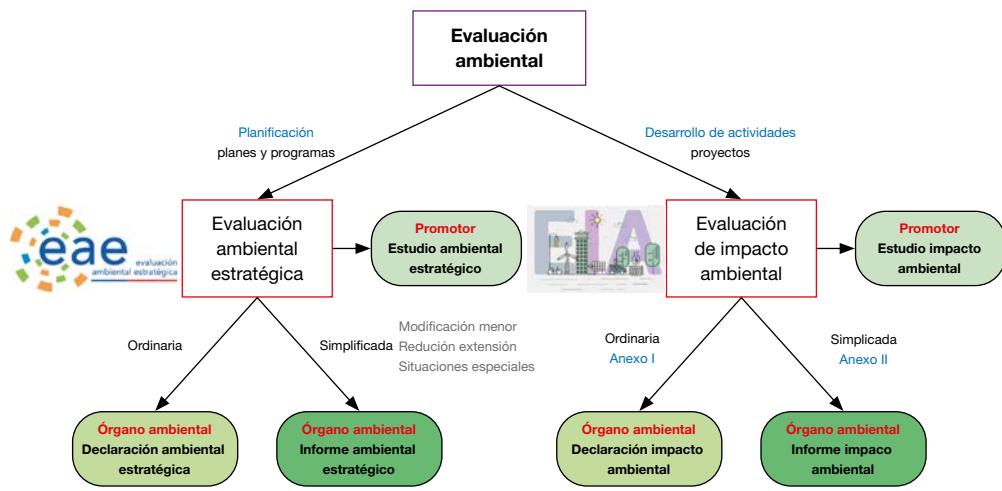
El texto de la ley contiene siete principios legales que definen los objetivos que deben guiar las evaluaciones ambientales:

- Quien contamina, paga.
- Simplificación de procedimientos de evaluación ambiental.
- Búsqueda de cooperación entre Administración central y comunidades autónomas.
- Acción preventiva.
- Corrección y compensación en caso de impacto sobre el medioambiente.
- Protección del medioambiente.
- Mejora de los entornos medioambientales.

En la figura 14 se muestran los cuatro posibles procesos de evaluación ambiental: la *evaluación ambiental estratégica* (planes y programas), que tiene como objetivo evaluar los efectos potenciales sobre el medioambiente, pudiendo seguirse un proceso simplificado, en el caso de tratarse de una modificación menor, de extensión reducida o en situaciones especiales, finalizando con la *declaración ambiental estratégica* o el *informe ambiental estratégico*; y la *evaluación de impacto ambiental* (proyectos), que también tiene el propósito de evaluar los efectos potenciales sobre el medioambiente y debe seguir la vía ordinaria, en el caso de aquellos proyectos

que están incluidos en el anexo I de la LEA, o la vía simplificada, en el caso de aquellos proyectos incluidos en el anexo II de la LEA, finalizando con la *declaración de impacto ambiental* o el *informe de impacto ambiental* respectivamente.

Figura 14. Esquema de procesos de evaluación ambiental



Fuente: elaboración propia.

7.1. Evaluación de impacto ambiental

La esencia de la evaluación de impacto ambiental de proyectos radica en proporcionar a las autoridades competentes la información necesaria para tomar decisiones informadas sobre proyectos específicos, comprendiendo plenamente sus posibles impactos significativos en el medioambiente. Esta herramienta legislativa ofrece a los poderes públicos la capacidad de hacer compatible el desarrollo económico con la protección ambiental, cumpliendo así con su responsabilidad de salvaguardar el entorno natural.

Se define como *proyecto a efectos de evaluación ambiental* cualquier acción que comprenda:

- Realización o explotación de una obra, construcción o instalación.
- Desmantelamiento o demolición.
- Cualquier intervención en el medioambiente o paisaje, incluyendo aquellas dirigidas a la explotación o aprovechamiento de recursos naturales, suelo, subsuelo o aguas marinas.

Por tanto, los *proyectos sujetos a evaluación de impacto ambiental* son aquellas acciones físicas capaces de alterar la realidad existente, ya sea a través de la construcción, la instalación, el desmantelamiento, la demolición o cualquier intervención en el medioambiente o paisaje. En estas evaluaciones de proyectos están implicados distintos agentes que es importante definir:

- Promotor. Cualquier persona que quiera llevar a cabo un proyecto cubierto por la LEA, independientemente de la autoridad responsable de autorizarlo.
- Órgano sustantivo. Es el órgano administrativo público responsable de autorizar un proyecto o de supervisar los proyectos sujetos a declaración responsable o comunicación previa. Si un proyecto implica diferentes actuaciones en áreas bajo la responsabilidad de varias autoridades, el órgano sustantivo es el responsable de la actividad principal del proyecto.
- Órgano ambiental. Es el órgano administrativo público que elabora, en su caso, el documento de alcance, realiza el análisis técnico de los expedientes de evaluación ambiental y emite las declaraciones e informes de impacto ambiental.

Además, el organismo sustantivo debe someter el proyecto y el estudio de impacto ambiental a información pública y consultas de otros agentes para que estén informados y puedan presentar alegaciones. Fundamentalmente son:

- Administraciones públicas afectadas. Son las entidades gubernamentales que poseen competencias específicas en áreas como población, salud, biodiversidad, geodiversidad, fauna y flora, suelo, subsuelo, agua, aire, ruido, factores climáticos, paisaje, bienes, patrimonio cultural, ordenación del territorio y urbanismo.
- Personas interesadas (según el art. 4 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del procedimiento administrativo común de las Administraciones públicas), así como personas jurídicas sin ánimo de lucro que puedan resultar afectadas (de conformidad con la Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medioambiente).

Estos proyectos pueden seguir dos vías administrativas (ordinaria y simplificada) que, normalmente, varían en función de la magnitud del proyecto.

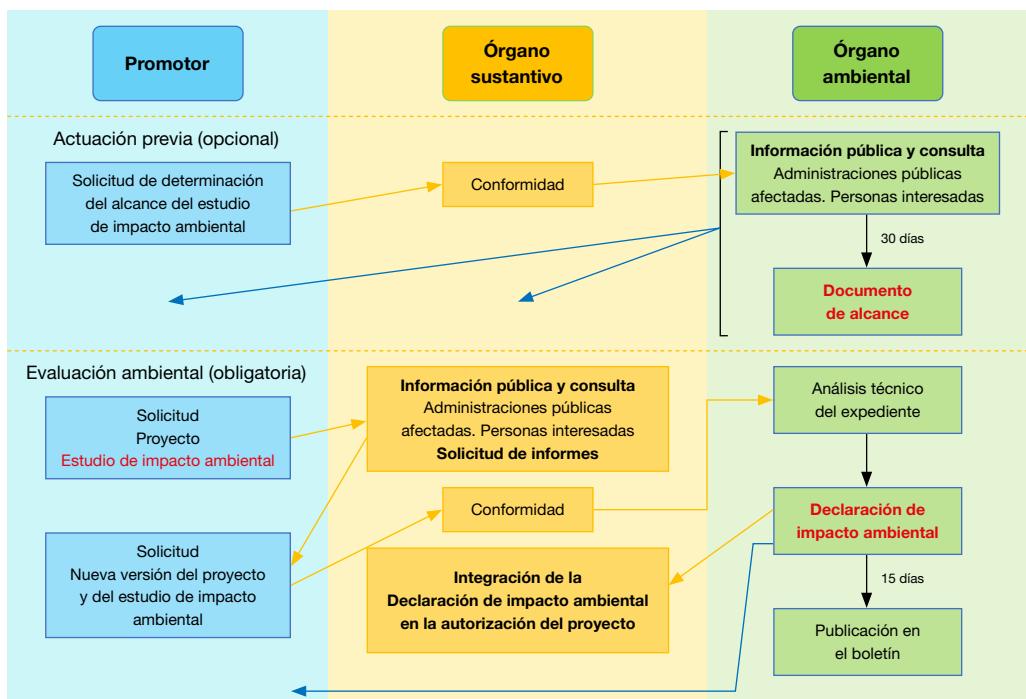
7.1.1. Evaluación de impacto ambiental ordinaria

El procedimiento de la evaluación de impacto ambiental ordinaria para la formulación de la declaración de impacto ambiental se rige por los artículos 33 al 44 de la LEA, donde se encuentra toda la información necesaria para cada uno de los trámites, así como los requisitos y los tiempos establecidos. Los trámites que se deben seguir, esquematizados en la figura 15, son los siguientes:

- Como fase previa, el promotor puede solicitar al órgano ambiental la elaboración de un documento de alcance del estudio de impacto ambiental (es opcional).

- El promotor inicia los trámites con el envío de la solicitud y el proyecto, y procede a la elaboración del estudio de impacto ambiental.
- El órgano sustantivo consulta a las Administraciones públicas afectadas y a las personas interesadas sobre los posibles efectos significativos del proyecto, que incluirán el análisis de los probables efectos adversos significativos sobre el medioambiente derivados de la vulnerabilidad del proyecto ante riesgos de accidentes graves o de catástrofes que incidan en el proyecto.
- El órgano ambiental realiza el análisis técnico del expediente.
- El órgano ambiental formula la declaración de impacto ambiental, que es el documento final.
- El órgano sustantivo integra el contenido de la declaración de impacto ambiental en la autorización del proyecto.

Figura 15. Esquema de los procesos de la evaluación de impacto ambiental ordinaria



Fuente: elaboración propia.

La elaboración del estudio de impacto ambiental se debe organizar en 10 bloques fundamentales de información que son los siguientes:

- Objeto y descripción del proyecto. Incluye detalles como el diseño, la ubicación, las estimaciones de residuos generados, la descripción de materiales y el uso del suelo.
- Alternativas estudiadas. Describe las diferentes opciones consideradas, incluida la alternativa de no ejecutar el proyecto (alternativa cero), junto con su justificación ambiental.
- Inventario ambiental. Evalúa las condiciones ambientales previas al proyecto, incluyendo ocupación del suelo, recursos naturales y datos sobre población, flora y fauna, entre otros.
- Identificación y valoración de impactos. Analiza los posibles impactos ambientales, distinguiendo entre efectos positivos y negativos, temporales y permanentes, entre otros, para evaluar su magnitud.
- Establecimiento de medidas preventivas, correctoras y compensatorias. Se trata de describir las medidas para prevenir, reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales que sean significativos.
- Programas de vigilancia y seguimiento ambiental. Se establece un plan de vigilancia para garantizar el cumplimiento de las medidas propuestas, tanto durante la ejecución como en la explotación del proyecto.
- Vulnerabilidad del proyecto. Se trata de exponer los impactos ambientales negativos e importantes respecto a la posibilidad de sufrir accidentes graves y/o catástrofes relevantes relacionadas con el proyecto.
- Impacto en la Red Natura 2000. Se focaliza en los efectos directos o indirectos del proyecto en espacios protegidos, evaluando su impacto en hábitats y especies.
- Resumen no técnico. Debe incluir un resumen conciso del estudio y sus conclusiones. No podrá exceder de 25 páginas y deberá estar redactado en términos de fácil comprensión.
- Referencias bibliográficas consultadas, incluyendo la normativa aplicada.

Según el artículo 16 de la LEA, este documento deberá ser realizado por personas que posean la capacidad técnica suficiente, de conformidad con las normas sobre cualificaciones profesionales y de educación superior, tendrán la calidad necesaria para cumplir las exigencias de dicha ley y serán responsables de su contenido y de la fiabilidad de la información. Por tanto, hay que indicar autores, profesión regulada, firmas y fecha. La validez del documento será de un año.

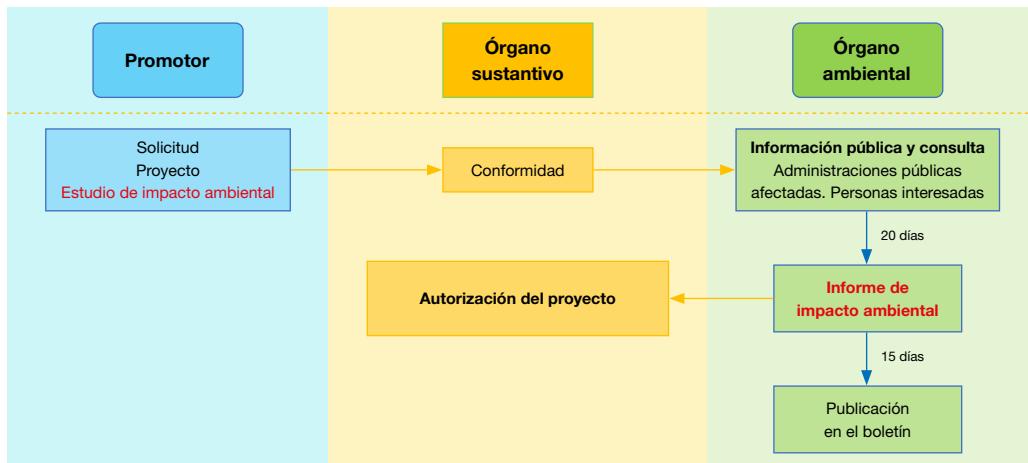
7.1.2. Evaluación de impacto ambiental simplificada

El procedimiento para la evaluación de impacto ambiental simplificada se rige por los artículos 45 a 48 de la LEA, donde se encuentra toda la información necesaria para cada uno de los trámites, así como los requisitos y los tiempos establecidos.

Los trámites que se deben seguir, esquematizados en la figura 16, son los siguientes:

- El procedimiento se inicia cuando el promotor presenta la solicitud de iniciación, acompañada del documento ambiental.
- El órgano sustantivo comprueba la documentación. Es una versión simplificada del análisis técnico del expediente previsto para la evaluación de impacto ambiental ordinaria.
- El órgano ambiental inicia las consultas a las Administraciones públicas afectadas y a las personas interesadas.
- El órgano ambiental formula el informe de impacto ambiental.
- El órgano sustantivo procede a la autorización del proyecto y el órgano ambiental publica el boletín.

Figura 16. Esquema de los procesos de la evaluación ambiental simplificada



Fuente: elaboración propia.

Anexo 1

Legislación vigente relativa a la gestión de residuos

En este anexo se incluyen los enlaces a la legislación vigente en el momento de publicación de este capítulo.

Normativa europea

1. Directiva (UE) 2019/904 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente (Ref. DOUE-L-2019-81016).
2. 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 (Ref. DOUE-L-2018-80998).
3. 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 (Ref. DOUE-L-2008-82319).

Normativa estatal

General

4. Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.
5. Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación (parcial).
6. Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.
7. Orden TED/834/2023, de 18 de julio, por la que se establecen los requisitos mínimos de tratamiento previo al depósito de residuos municipales en vertedero.
8. Orden TED/789/2023, de 7 de julio, por la que se establece el método de cálculo del coste de emisión de gases de efecto invernadero en vertedero.
9. Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterio y estándares para la declaración de suelos contaminados.
10. Real Decreto 553/2020, de 2 de junio, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado.

11. Resolución de 16 de noviembre de 2015, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 6 de noviembre de 2015, por el que se aprueba el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022.

Envases

12. Real Decreto 1055/2022, de 27 de diciembre, de envases y residuos de envases.

Residuos y sustancias peligrosas

13. Real Decreto 258/1989, de 10 de marzo, por el que se establece la normativa general sobre vertidos de sustancias peligrosas desde tierra al mar.
14. Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas.
15. Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos.
16. Real Decreto 208/2022, de 22 de marzo, sobre las garantías financieras en materia de residuos.
17. Real Decreto 312/2023, de 25 de abril, por el que se regulan las exenciones al cumplimiento de determinada normativa para sustancias, mezclas o artículos que las contengan, por razones de defensa.

Pilas y acumuladores

18. Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos.
19. Real Decreto 993/2022, de 29 de noviembre, por el que se adoptan medidas de control para la importación de aparatos eléctricos y electrónicos, pilas y acumuladores procedentes de terceros países.

Aparatos eléctricos y electrónicos

20. Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
21. Real Decreto 219/2013, de 22 de marzo, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (desactualizada).

Construcción y demolición

22. Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.

Vehículos y neumáticos

23. Real Decreto 265/2021, de 13 de abril, sobre los vehículos al final de su vida útil y por el que se modifica el Reglamento general de vehículos, aprobado por el Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre.
24. Orden INT/2535/2015, de 11 de noviembre, sobre cumplimiento de las obligaciones de registro documental e información por los centros autorizados para el tratamiento de vehículos al final de su vida útil.
25. Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso.

Sector agrario

26. Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario.
27. Orden AAA/1072/2013, de 7 de junio, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario.
28. Real Decreto 280/1994, de 18 de febrero, por el que se establece los límites máximos de residuos de plaguicidas y su control en determinados productos de origen vegetal.
29. Real Decreto 306/2020, de 11 de febrero, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las granjas porcinas intensivas, y se modifica la normativa básica de ordenación de las explotaciones de ganado porcino extensivo.
30. Real Decreto 1086/2020, de 9 de diciembre, por el que se regulan y flexibilizan determinadas condiciones de aplicación de las disposiciones de la Unión Europea en materia de higiene de la producción y comercialización de los productos alimenticios y se regulan actividades excluidas de su ámbito de aplicación (parcial).
31. Real Decreto-Ley 4/2001, de 16 de febrero, sobre el régimen de intervención administrativa aplicable a la valorización energética de harinas de origen animal procedentes de la transformación de despojos y cadáveres de animales.
32. Real Decreto 988/2022, de 29 de noviembre, por el que se regula el Registro general de las mejores técnicas disponibles en explotaciones y el soporte para el cálculo, seguimiento y notificación de las emisiones en ganadería, y se modifican diversas normas en materia agraria.

Otras normas de residuos

33. Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.
34. Real Decreto 108/1991, de 1 de febrero, sobre la prevención y reducción de la contaminación del medio ambiente producida por el amianto.
35. Real Decreto 128/2022, de 15 de febrero, sobre instalaciones portuarias receptoras de desechos de buques.
36. Real Decreto 243/2009, de 27 de febrero, por el que se regula la vigilancia y control de traslados de residuos radioactivos y combustible nuclear gastado entre Estados miembros o procedentes o con destino al exterior de la comunidad.
37. Real Decreto 102/2014, de 21 de febrero, para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos.
38. Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
39. Real Decreto 1378/1999, de 27 de agosto, por el que se establecen medidas para la eliminación y gestión de los policlorobifenilos, policloroterenilos y aparatos que los contengan.
40. Real Decreto 679/2006, de 2 de junio, por el que se regula la gestión de los aceites industriales usados.
41. Orden TED/646/2023, de 9 de junio, por la que se establecen los criterios para determinar cuándo los residuos termoplásticos sometidos a tratamientos mecánicos y destinados a la fabricación de productos plásticos dejan de ser residuo con arreglo a la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

Normativa autonómica

Andalucía

42. Ley 7/2007 de 9 de julio, de gestión integrada de la calidad ambiental (desactualizada).
43. Ley 3/2023, de 30 de marzo, de economía circular de Andalucía (parcial).

Illes Balears

44. Ley 13/2012, de 20 de noviembre, de medidas urgentes para la activación económica en materia de industria y energía, nuevas tecnologías, residuos, aguas, otras actividades y medidas tributarias.
45. Ley 8/2019, de 19 de febrero, de residuos y suelos contaminados de las Illes Balears.

Canarias

46. Ley 1/1999, de 29 de enero, de residuos de Canarias.

Cantabria

47. Ley 8/1993, de 18 de noviembre, del pan de gestión de residuos sólidos urbanos de Cantabria.

Cataluña

48. Decreto legislativo 1/2009, de 21 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley reguladora de los residuos.
49. Ley 8/2008, de 10 de julio, de financiación de las infraestructuras de gestión de los residuos y de los cánones sobre disposición del desperdicio de los residuos.

Castilla y León

50. Ley 9/2002, de 10 de julio, para la declaración de proyectos regionales de infraestructuras de residuos de singular interés para la comunidad.

Galicia

51. Ley 6/2021, de 17 de febrero, de residuos y suelos contaminados de Galicia.

Comunidad de Madrid

52. Ley 5/2003, de 20 de marzo, de residuos de la Comunidad de Madrid.

Comunidad Foral de Navarra

53. Ley foral 14/2018, de 18 de junio, de residuos y su fiscalidad.
54. Ley foral 7/2013, de 25 de febrero, sobre utilización de residuos alimenticios.

País Vasco

55. Ley 10/2021, de 9 de diciembre, de administración ambiental de Euskadi (desactualizada).

La Rioja

56. Ley 10/2017, de 27 de octubre, por la que se consolidan las disposiciones legales de la Comunidad Autónoma de La Rioja en materia de impuestos propios y tributos cedidos (parcial).

Comunitat Valenciana

57. Ley 5/2022, de 29 de noviembre, de residuos y suelos contaminados para el fomento de la economía circular en la Comunitat Valenciana.

Ejercicios voluntarios

1. Busque en la Ley 7/2022 la definición de *subproducto* e indique con sus propias palabras cuáles serían las condiciones para ser considerado como tal. ¿Puede un subproducto ser clasificado también como residuo?
2. En los residuos peligrosos existen algunas definiciones que pueden llevar a confusión, ya que aparentemente son muy similares. Busque y defina con sus palabras los siguientes conceptos:
 - Clasificación armonizada.
 - Características de peligrosidad.
 - Clase de peligro.
 - Categoría del peligro.
 - Indicación del peligro.

Elija una sustancia y asígnele el valor o valores correspondientes para cada uno de los conceptos. Cree la etiqueta para el residuo.

3. Explique en qué consiste el principio de jerarquía en la gestión de los residuos.
4. Busque en la LER los códigos siguientes e indique a qué residuos corresponden y si se trata de residuos peligrosos o no peligrosos:
 - 16 01 06.
 - 10 13 12.
 - 02 01 08.
 - 15 01 07.
 - 06 01 02.
 - 19 02 08.

5. Asigne el código LER a los siguientes residuos:
 - Residuos de arena y arcillas obtenidos de una mina.
 - Lodos y residuos de perforaciones que contienen hidrocarburos.
 - Hidrocarburos que contienen ácidos procedentes de la industria del refino de petróleo.
 - Residuos de destilación halogenados, procedentes de una empresa farmacéutica.
 - Residuos que contienen plata y que provienen de una industria fotográfica.
 - Ladrillos de la construcción.

6. Describa los principales procesos de conversión energética utilizados en la valorización de los residuos.
7. Fijándose en la figura 13 de este capítulo, realice las gráficas de un determinado factor ambiental frente al tiempo que fuese de tipo:
 - Beneficioso.
 - Perjudicial.
 - Temporal.
 - Permanente.
8. En la realización de un estudio de impacto ambiental se han clasificado dos factores ambientales como:
 - Factor A (perjudicial, permanente, irreversible e irrecuperable).
 - Factor B (perjudicial, permanente, irreversible y mitigable).Fijándose en la figura 13 del capítulo, realice las gráficas de cada uno de los factores ambientales frente al tiempo:
 - Simples.
 - Acumulativos.
 - Sinérgicos.
9. Repita el ejercicio anterior teniendo en cuenta los factores ambientales que actúan de forma simultánea, considerando que son:
 - Simples.
 - Acumulativos.
 - Sinérgicos.

Referencias bibliográficas

2014/955/UE. Decisión de la Comisión, de 18 de diciembre de 2014, por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (texto pertinente a efectos del EEE). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32014D0955>

Cabildo, M.^a P., Claramunt R. M., Cornago M. P., Escolástico C., Esteban S., Farrán M. A., García M. A., López C., Pérez, J., Pérez, M., Santa María, D. y Sanz D., (2012). *Reciclado y tratamiento de residuos*. Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Directiva 2011/92/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de diciembre de 2011, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente. <http://data.europa.eu/eli/dir/2011/92/oj>

European Chemical Agency. (s. f.). *El cuadro de entradas armonizadas se encuentra disponible en el anexo VI del Reglamento CLP.* <https://echa.europa.eu/es/information-on-chemicals/annex-vi-to-clp>

European Parliamentary Research Service. (s. f.). *Circular Economy.* <https://www.europarl.europa.eu/thinktank/infographics/circulareconomy/public/index.html>

Eurostat Statistics Explained. *Estadísticas sobre residuos.* (2020). https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Estad%C3%ADsticas_sobre_residuos

Faria Albanese, J. A. y Ruiz, M.ª P. (Eds.). (2015). *Solid Waste as a Renewable Resource: Methodologies.* Apple Academic Press.

Gómez Orea, D. (2002). *Evaluación de impacto ambiental.* Ediciones Mundi-Prensa.

Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental (BOE núm. 296, de 11 de diciembre de 2013). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-12913&p=20230614&tn=2>

Ley 2/2020, de 7 de febrero, de evaluación ambiental de Castilla-La Mancha (DOUE núm. 30, de 13 de febrero de 2020 y BOE núm. 106, de 16 de abril de 2020). <https://www.boe.es/eli/es-cm/l/2020/02/07/2/con>

Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular (BOE núm. 85, de 9 de abril de 2022). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-5809>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *Buscador de proyectos: información pública.* <https://sede.miteco.gob.es/portal/site/seMITECO/navServicioContenido>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *Enlaces de entidades relacionadas con la gestión de residuos.* https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/enlaces_entidades_relacionadas_gestion_residuos.html

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *Prevención y gestión de residuos.* <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos.html>

Parlamento Europeo. (2024). *El trabajo de la UE para la gestión sostenible de residuos.* https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2018/4/story/20180328STO00751/20180328STO00751_es.pdf

Rand, T., Haukohl, J. y Marxen, U. (2000). *Municipal Solid Waste Incineration: Requirements for a Successful Project.* World Bank.

Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero (BOE núm. 187, de 8 de julio de 2020). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-7438>

Real Decreto 445/2023, de 13 de junio, por el que se modifican los anexos I, II y III de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental (BOE núm. 141, de 14 de junio de 2023). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2023-14047>

Reglamento (CE) núm. 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) núm. 1907/2006 (DOUE núm. 353, de 31 de diciembre de 2008). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2008-82637>

Reglamento (UE) núm. 1357/2014 de la Comisión, de 18 de diciembre de 2014, por el que se sustituye el anexo III de la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas directivas. <https://www.boe.es/doue/2014/365/L00089-00096.pdf>

Solans Lampurlanés, X., Alonso Espadalé, R. M.^a y Gadea Carrera, E. (2001). *NTP 597: Plantas de compostaje para el tratamiento de residuos: riesgos higiénicos*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

Tapia Carrasco, C., Iribarren Campaña, I., Fernández Arauzo, E. y Sanz Gaspar, A. (2021). *Guía técnica para la clasificación de los residuos*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/sgecocir/documentacion/Guía%20Técnica%20clasi-ficación%20RP%20nov_21.pdf

Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos* [Trad. J. I. Tejero Mon-zóne]. McGraw-Hill/Interamericana de España.

Temas Parlamento Europeo. (2023). *Economía circular: definición, importancia y beneficios*. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>

Vaquero Díaz, I. (2004). *Manual de diseño y construcción de vertederos de residuos sólidos urbanos*. Universidad Politécnica de Madrid.

