



Guía práctica

para la prevención y gestión
de contaminantes en el reciclaje
de residuos orgánicos



ISWA
International Solid Waste Association

De residuos organico limpios ...

Todo lo que necesitas para clasificar, recoger y digitalizar la gestión de residuos organicos.



Contenedores para
la separacion en origen



Mejora



Inyección

Sistemas
de monitoreo RFID

... hasta
biometano

Soluciones integradas y personalizadas a lo largo de la cadena del biometano, incluido la mejora del biogas, la inyección directa a la red y la licuefacción de metano y CO₂.



Green Comes in Many Shades

Hitachi Zosen
INOVA

Green gases too: biogas, biomethane, hydrogen, SNG, and bioLNG. And we have the technologies to produce them. Check our references.



Discover more.

Este documento fue traducido del inglés al español con la ayuda y el apoyo de la Asociación para el Estudio de los Residuos Sólidos - ARS, Miembro Nacional de ISWA en Argentina. Responsable de la traducción: M.S. Garavelli.

Los autores del documento expresan su más sentido agradecimiento a ARS-Argentina.

Marzo 2024, Jane Gilbert y Marco Ricci-Jürgensen

Autores



Jane Gilbert

Carbon Clarity (UK),
Presidente del Grupo
de Trabajo de **ISWA**
sobre Tratamiento
Biológico de Residuos



Marco Ricci-Jürgensen

CIC - Italian Composting
and Biogas Association (IT),
Vicepresidente del Grupo
de Trabajo de **ISWA** sobre
Tratamiento Biológico de
Residuos

Agradecimientos

Los autores reconocen la valiosa contribución de los miembros del Grupo de Trabajo **ISWA** sobre el Tratamiento Biológico de Residuos, en particular:

- **Alberto Confalonieri**, CIC – Italian Compost and Biogas Association, Italy
- **Percy Foster**, Foster Environmental, Irlanda
- **Mathias Hartel**, Fachverband Biogas e.V., Alemania
- **Lukas Heer**, Hitachi Zosen Inova AG, Suiza
- **Haniyeh Jalalipour**, Universität Rostock, Alemania
- **Jennifer McDonnell**, Departamento de Saneamiento de Nueva York, EE.UU.
- **Cristián Mulcahy**, Compost Systems, España

Contenido

Definiciones	6	5 Extracción o Eliminación de Contaminantes	40
Abreviaturas	7	5.1 Contaminantes Físicos	40
Resumen Ejecutivo	8	5.2 Contaminantes Químicos	44
1 Introducción	12	5.3 Contaminantes Biológicos	46
2 Contaminantes	14	5.4 Ejemplos Prácticos	49
2.1 Definición de los Contaminantes	14	6 Conclusiones	50
2.2 Tipos de Contaminantes	16	7 Referencias	52
2.3 Contaminantes Físicos	17	Apéndice - Casos Prácticos	54
2.4 Contaminantes Químicos	20	Pretratamiento de Residuos de Alimentos en una Planta de Compostaje	54
2.5 Contaminantes Biológicos	21	Pretratamiento de Biorresiduos en una Planta de Digestión Anaeróbica Seca y Compostaje	56
2.6 Impactos	22	Pretratamiento de Residuos Biológicos en una Planta de Digestión Anaeróbica Húmeda	58
3 La gestión de los Contaminantes	25	Pretratamiento de Residuos Biológicos en una Planta de Digestión Anaeróbica Húmeda	60
3.1 Jerarquía de la Contaminación	25		
3.2 Costos de Eliminación	27		
3.3 Salud y Seguridad	27		
4 PREVENIR LA CONTAMINACIÓN	28		
4.1 Sistemas de Recolección	28		
4.2 Iniciativas de Sensibilización Pública	33		
4.3 Prohibiciones y Restricciones de Productos	36		
4.4 Tasas Diferenciales	38		



Definiciones

Residuos orgánicos

Este documento define los residuos orgánicos como residuos de alimentos (y otros residuos orgánicos de cocina) procedentes de hogares, restaurantes, empresas de catering y locales de venta al por menor, residuos biodegradables de jardines y parques (hojas, hierba, maleza), residuos de alimentos y residuos comparables procedentes de plantas de procesado de alimentos. La definición no incluye residuos forestales o agrícolas, estiércol, lodos de depuradora u otros residuos biodegradables como textiles naturales, papel o madera procesada; también excluye aquellos subproductos de la producción alimentaria que nunca se convierten en residuos.

Hemos optado deliberadamente por no utilizar la palabra bioresiduos, ya que esta definición se utiliza principalmente en el contexto europeo.

Se supone que los residuos orgánicos son clasificados por los generadores (hogares, actividades comerciales, etc.), recolectados por separado por los transportistas de residuos y destinados al reciclado orgánico mediante compostaje, digestión anaeróbica o ambas técnicas de tratamiento combinadas.

Reciclaje mediante tratamiento biológico

El documento considera los siguientes tipos de tratamiento biológico de residuos orgánicos recolectados por separado:

Compostaje – la degradación biológica aeróbica de residuos orgánicos sólidos bajo condiciones controladas con producción de “compost”; y

Digestión anaeróbica – la degradación anaeróbica de residuos orgánicos bajo condiciones controladas con la producción de “biogás” y “digestato”.

También puede haber instalaciones de reciclaje que apliquen tanto la digestión anaeróbica de residuos orgánicos seguida de la posterior estabilización aeróbica del digestato en una planta de compostaje; definimos este enfoque como digestión anaeróbica y compostaje combinados.

Este documento no considera el tratamiento mecánico biológico (TMB) entre las opciones de tratamiento biológico para reciclar residuos orgánicos. El TMB es un tipo de proceso que se aplica a los residuos sólidos urbanos (RSU) mezclados, aplicando una etapa inicial de clasificación para separar la fracción orgánica de los materiales inorgánicos más voluminosos, como plásticos, metales y vidrio. La fracción orgánica separada (mecánicamente), que permanece contaminada con una serie de impedimentos físicos (por ejemplo, plásticos) y productos químicos inorgánicos y orgánicos (por ejemplo, metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes, respectivamente) se somete entonces a una forma de tratamiento biológico -como el compostaje o la digestión anaeróbica- para estabilizarla. A continuación, la fracción orgánica estabilizada puede depositarse en rellenos sanitarios para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero o incinerarse en una planta de conversión de residuos en energía.

Contaminante

Elemento, sustancia o material biológico indeseable presente en los residuos orgánicos y/o en su producto reciclado que puede afectar negativamente al proceso de reciclado y/o al producto o productos finales reciclados

Peligro

Algo que tiene el potencial de causar daño. En el contexto de este documento, es un contaminante (físico, químico o biológico).

Riesgo

Probabilidad de que alguien o algo resulte dañado por un peligro y cuan grave es el daño.

Abreviaturas

DA	Digestión anaeróbica	mm	milímetro
dm	materia seca (dry matter)	TMB	Tratamiento Mecánico Biológico
REP	Responsabilidad Extendida del Productor	RSM	Residuos Sólidos Municipales
UE	Unión Europea	SPFA	Sustancias Perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas
EUR	Euro	COP	Contaminante Orgánico Persistente
mf	Materia fresca	PSU	Plástico de un Solo Uso
APPCC	Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico	t	toneladas o toneladas métricas; las toneladas estadounidenses se han convertido en toneladas métricas
HoReCa	Hoteles, Restaurantes y Caterings	USD	Dólar estadounidense
ISWA	Asociación Internacional de Residuos Sólidos	RAEE	Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos
m	Millón		

Los decimales se separan con puntos (puntos suspensivos)“.” y los millares con un apóstrofo “ ‘ “.

Cuando se ha hecho referencia a determinados países, se ha utilizado su código de país de dos letras definido por la norma ISO 3166-1.





Resumen Ejecutivo

Esta guía tiene como objetivo proporcionar información general y estudios de casos sobre los diferentes tipos de contaminantes que pueden ingresar a los flujos de residuos orgánicos destinados al reciclaje, sus impactos potenciales y las formas en que se pueden prevenir o eliminar. Su objetivo es ser de utilidad para los responsables políticos, los planificadores de manejo de residuos, las empresas de reciclaje de residuos orgánicos, como plantas de compost o biogás, y los proveedores de equipos.

Definición y tipos de contaminantes

El documento comienza proporcionando una definición práctica del término “contaminante” con el fin de aclarar su significado y evitar confusiones, ya que los profesionales de residuos y reciclaje a veces utilizan diferentes sustantivos (que tienen significados sutilmente diferentes).

Contaminante

Elemento, sustancia o material biológico indeseable en los residuos orgánicos y/o su producto reciclado que tiene el potencial de afectar negativamente al proceso de reciclado y/o al producto o productos finales reciclados (es decir, compost o digestato anaeróbico).

En general, existen tres tipos diferentes de contaminantes:

- **Físicos:** generalmente se trata de elementos grandes y visibles, como plásticos, objetos metálicos, vidrio y piedras.
- **Químicos:** son productos químicos orgánicos e inorgánicos derivados de fuentes naturales y artificiales. Los ejemplos incluyen pesticidas, contaminantes orgánicos persistentes y metales pesados.
- **Biológicos:** ocurren naturalmente y a menudo son partes intrínsecas de algunos desechos orgánicos. Incluyen, por ejemplo, patógenos bacterianos y fúngicos, semillas de malas hierbas, propágulos de plantas y toxinas.

FÍSICO



QUÍMICO



BIOLÓGICO



Impactos de los contaminantes

En general, los contaminantes presentes en los residuos orgánicos recolectados por separado tienen el potencial de causar daños, entre ellos:

- **Equipos de reciclaje** - donde puedan dañar o impedir la maquinaria,
- **Las personas y el medio ambiente** - donde pueden perjudicar a los operadores de reciclaje, a los usuarios finales o a los ecosistemas donde se utilizan los productos,
- **Rentabilidad** - debido a daños en el equipo, costos de remoción y eliminación,
- **Calidad del producto** - debido a la aversión del consumidor y restricciones regulatorias.

Los impactos negativos de los contaminantes en el reciclaje de residuos orgánicos



Gestión de contaminantes y costos

Esta guía presenta por primera vez una jerarquía preferida a seguir por los profesionales, en la que la prevención es la opción preferida y la no eliminación la menos preferida. La jerarquía se ha desarrollado con el objetivo de maximizar la calidad del proceso de reciclaje y reducir las pérdidas por contaminación.



Jerarquía de gestión de la contaminación



Los ejemplos citados en la Guía sugieren que cada tonelada de contaminación retirada de los residuos orgánicos y eliminada cuesta al operador entre 180-230 euros (200-260 dólares). Se trata de una carga que se debe en gran medida al uso generalizado de productos de plástico por parte de la sociedad.

Prevención de contaminantes

Los tres factores principales que influyen en el comportamiento de los generadores de residuos (por ejemplo, los hogares) y, por tanto, en los niveles de contaminación, se relacionan con la forma en que se recolectan los residuos orgánicos, de la siguiente manera:

- **El tipo de sistema de recogida**, como un sistema de recogida puerta a puerta o un sistema de recogida por entrega,
- **El tipo de herramientas proporcionadas a los generadores de residuos**, como contenedores exclusivos y bolsas compostables, y
- **La frecuencia y calidad de la información y la sensibilización**, con el fin de educar y facilitar el cambio de comportamiento.

Eliminación de contaminantes

Los contaminantes físicos generalmente se eliminan de los residuos orgánicos aprovechando de las diferencias en las propiedades físicas. Los ejemplos incluyen el cribado, la separación centrífuga y la simple selección manual de grandes contaminantes visibles.

Algunos contaminantes químicos orgánicos pueden destruirse durante el tratamiento mediante procesos biodegradativos. Sin embargo, algunos

pueden descomponerse sólo parcialmente o persistir durante todo el proceso. Ciertas sustancias químicas recalcitrantes que persisten durante largos períodos de tiempo en el medio ambiente y son resistentes al compostaje y la digestión anaeróbica son motivo de especial preocupación.

Los químicos inorgánicos no pueden destruirse, aunque los compuestos que forman pueden cambiar. La unión de metales a partículas sólidas y las diferencias de solubilidad pueden afectar la forma en que se comportan y se diluyen durante el proceso de reciclaje.

La mayoría de los materiales biológicos se descomponen durante los procesos de compostaje y digestión anaeróbica (teniendo una etapa de pasteurización), por lo que el seguimiento del proceso y las fases mínimas de temperatura-tiempo son pasos de gestión importantes en todas las instalaciones.

Ejemplos prácticos

En el apéndice se proporcionan ejemplos prácticos de configuraciones tecnológicas en plantas operativas de compostaje y digestión anaeróbica, junto con datos clave que resumen las eficiencias de eliminación.

Conclusiones

Si bien muchos procesos de eliminación de contaminantes son en gran medida eficaces, nunca lo son en un 100%.; debido en parte a las propiedades “pegajosas” del agua, comunes en los residuos orgánicos. El agua ayuda a que los materiales orgánicos se adhieran a los contaminantes físicos, siendo las películas plásticas particularmente problemáticas. La eliminación de los contaminantes plásticos al inicio del proceso de reciclaje puede provocar una pérdida significativa de residuos orgánicos (llamado “efecto de arrastre”), así como la fragmentación del plástico, lo que da lugar a trozos más pequeños que posteriormente se vuelven más difíciles de eliminar. Por otro lado, dejar plástico en el proceso puede causar dificultades operativas, preocupaciones por parte de los reguladores y desintegración del plástico debido a la exposición a altas temperaturas, lo que lleva a una mayor fragmentación. Por tanto, los operadores deben encontrar un equilibrio imperfecto.

Por lo tanto, el Grupo de Trabajo de ISWA sobre Tratamiento Biológico de Residuos pide más investigación y desarrollo para mejorar los métodos y eficacia de eliminación de contaminantes no deseados de los residuos orgánicos, el compost y el digestato anaeróbico. Dado que la base de las técnicas de eliminación de contaminantes se ha desarrollado para otros fines, como los sectores de minerales y minería, existe una necesidad urgente de mejorar los equipos y desarrollar nuevas técnicas centradas específicamente en el sector del reciclaje de residuos orgánicos, teniendo en cuenta los altos niveles de humedad de los residuos.

Por lo tanto, las mejoras y la innovación son esenciales, no sólo para mejorar la eficacia operativa, sino también para evitar que los contaminantes se acumulen en el suelo. El aumento mundial previsto en el reciclaje de residuos orgánicos necesario para reducir las emisiones fugitivas de metano, junto con el uso de compost y digestato para mejorar los suelos cultivables y reciclar los nutrientes de las plantas, pone de relieve la urgencia de la tarea que tenemos entre manos.

Llamada a la acción de ISWA

La misión de ISWA de promover la transición a una economía circular depende de un reciclaje de calidad. La economía circular de los residuos orgánicos comienza con los suelos responsables de producir los bienes agrícolas que sustentan nuestras ciudades y culmina con estos mismos suelos convertidos en los receptores finales de compost o digestato de alta calidad. Dado que la contaminación amenaza con perjudicar los procesos de reciclaje y reducir la calidad de los productos, es esencial prevenirla y eliminarla eficazmente. Por ello, ISWA hace un llamado en este sentido:

- Los fabricantes que venden equipos a la industria de reciclaje de residuos orgánicos inviertan en investigación y desarrollo para mejorar las técnicas de eliminación de contaminantes, minimizando al mismo tiempo la pérdida concomitante de materia orgánica (el “efecto arrastre”).
- Los responsables de las plantas de compostaje y digestión anaeróbica deben maximizar la calidad de sus productos finales.
- Las empresas municipales de recolección de residuos sólidos y los transportistas de residuos deben inspeccionar rutinariamente las cargas y comunicar los problemas de contaminación a los productores de residuos individuales.
- Los responsables locales y los responsables municipales inviertan en campañas de información periódicas destinadas a sensibilizar a los ciudadanos sobre la importancia de maximizar la calidad de los residuos orgánicos para su reciclado.

Rotterdam, Octubre 2023





1 Introducción

Cada año se generan en todo el mundo aproximadamente mil millones de toneladas de residuos orgánicos municipales, de los cuales sólo una pequeña parte se recicla actualmente en compost o digestión anaeróbica

(Ricci-Jürgensen, Gilbert and Ramola, 2020).

El reciclaje de residuos orgánicos mediante métodos de tratamiento biológico, como el compostaje industrial y la digestión anaeróbica, ayuda a aliviar las presiones sobre la gestión del suelo, fomentar prácticas agrícolas sostenibles, generar energía renovable y reducir las emisiones fugitivas de gas metano de basurales a cielo abierto (BCA) y rellenos sanitarios. En conjunto, estos factores están ayudando a impulsar la expansión de estrategias eficaces de reciclaje de residuos orgánicos en todos los continentes.

Sin embargo, en medio de este entusiasmo, la contaminación pone en peligro la integridad y eficacia tanto de los procesos de tratamiento como del uso de los productos finales (es decir, el compost o el digestato). Los residuos orgánicos, el compost y la digestión anaeróbica contaminados representan una importante carga ambiental y económica, ya que suponen una amenaza para la salud y la productividad del suelo, la calidad del agua y la salud humana en todos los continentes. Los efectos de grandes contaminantes visibles, como metales y vidrio, han afectado al sector del compostaje durante décadas; de ahí que se hayan puesto en marcha estrategias para limitar y controlar los daños que puedan causar.

Los contaminantes, por supuesto, reflejan principalmente el consumo de bienes de la sociedad, que ha experimentado un crecimiento monumental en los últimos cincuenta años. Las recolecciones selectivas de residuos de alimentos se contaminan inevitablemente con materiales que reflejan el tipo y la diversidad de envases de alimentos disponibles hoy en día en las estanterías de los supermercados.

Dado que la gran mayoría de ellos son plásticos flexibles o semirrígidos, plantean nuevos retos a los recolectores y recicladores de flujos de residuos orgánicos, ya que su adherencia a los residuos de alimentos de alto contenido en humedad hace que su separación efectiva resulte especialmente problemática. La digestión anaeróbica, un sector que ha experimentado una importante expansión en las dos últimas décadas, se ha visto especialmente afectada por la contaminación plástica debido a que los equipos de los procesos son más complejos y costosos, y pueden enredarse o bloquearse con películas de plástico.

En el sector de la gestión de residuos, las técnicas de eliminación física de la contaminación se han desarrollado principalmente a partir de métodos más sencillos y probados utilizados en los sectores

de la minería y los minerales. Basados en la diferenciación tamaño/densidad o en las propiedades magnéticas, funcionan bien para los reciclables secos, como las latas de bebidas y las botellas de plástico. Sin embargo, los residuos orgánicos difieren de éstos en un aspecto muy importante: su alto contenido en humedad. El agua, debido a su alta tensión superficial, hace que los elementos se peguen entre sí, dificultando la separación efectiva de los contaminantes de los residuos orgánicos húmedos. Este es un problema notable con las películas de plástico (por ejemplo, las bolsas de la compra) y los residuos de alimentos, en los que la elevada superficie de la película se adhiere a grandes cantidades de residuos de alimentos, lo que provoca pérdidas de sustancias orgánicas en el proceso y dificulta la eliminación de contaminantes.

El objetivo de este informe es arrojar luz sobre las diversas fuentes, tipos y consecuencias de la contaminación, con el fin de sensibilizar y promover estrategias de prevención y mitigación. Se divide en las siguientes secciones:

<p>Capítulo 2: Contaminantes</p> <ul style="list-style-type: none"> Definición y clasificación Una visión general de los tipos, fuentes e impactos que los contaminantes pueden tener 	<p>Capítulo 3: La Gestión de los contaminantes</p> <ul style="list-style-type: none"> La jerarquía de la contaminación Costes de retirada, salud y seguridad 	<p>Capítulo 4: Prevención de los contaminantes</p> <ul style="list-style-type: none"> Sistemas de recolección y sensibilización pública Prohibición de productos y tarifas diferenciales
<p>Capítulo 5: Eliminación de contaminantes</p> <ul style="list-style-type: none"> Física, química y biológica 	<p>Capítulo 6: Conclusiones</p> <ul style="list-style-type: none"> ISWA's recommendations 	<p>Apéndice: Gestión práctica de los contaminantes</p> <ul style="list-style-type: none"> Ejemplos de plantas de compostaje, digestión anaeróbica húmeda y seca

Aunque algunos de los capítulos contienen descripciones técnicas, el objetivo general de este informe es ayudar a los profesionales de los residuos a planificar y gestionar programas eficaces de reciclaje de residuos orgánicos, minimizando la contaminación y maximizando el valor del compost y de la digestión anaeróbica.



2 Contaminantes

2.1 Definición de los contaminantes

A nivel mundial, no existe una definición unificada de “contaminante” o “contaminación” en los residuos orgánicos y sus productos reciclados. Además, se utilizan distintos términos, como “impurezas” o “impedimentos”, algunos de los cuales se refieren únicamente a contaminantes físicos, como los plásticos, mientras que otros se refieren a sustancias químicas y patógenos.





Quando existe una base jurídica, la mayoría de los contaminantes se mencionan en los instrumentos legislativos que regulan los resultados/productos de un proceso de reciclado, como las normas de calidad del compost y de la digestión anaeróbica. Las entradas de residuos en un proceso de reciclado suelen referenciarse a través de “especificaciones de entrada”, algunas de las cuales forman parte de las normas industriales, mientras que otras son exigidas por los reguladores ambientales. Estas especificaciones suelen estar incluidas en los contratos entre los recicladores y los proveedores de residuos (recuperadores).

En principio, los contaminantes presentes en los residuos orgánicos no se biodegradan durante el compostaje o la digestión anaeróbica o, cuando lo hacen, lo hacen a un ritmo mucho más lento que el residuo orgánico. Por lo tanto, los contaminantes acaban en el producto final, afectando negativamente a su calidad y limitando las formas en que puede utilizarse. Los contaminantes físicos también pueden interferir con los equipos, especialmente los que realizan actividades mecánicas, y pueden perjudicar el reciclado y provocar el desgaste de los equipos.

En el recuadro 1 se sugiere una definición práctica de contaminante.

Recuadro 1: Definición de contaminación

Elemento, sustancia o material biológico indeseable en los residuos orgánicos y/o su producto reciclado que tiene el potencial de afectar negativamente al proceso de reciclado y/o al producto o productos finales reciclados (es decir, compost o digestión anaeróbica).

Los contaminantes pueden introducirse en los flujos de residuos orgánicos en diferentes puntos durante su trayecto desde la generación hasta el producto final, pasando por el reciclado (Figura 1)

Figura 1: Formas en que los contaminantes pueden entrar en los residuos orgánicos

Intrínseca = dentro de los residuos	
Bacterias/toxinas vegetales	Algunos ETP
Acompañan a los residuos como parte de su origen	
Envases de plástico (residuos de alimentos)	Macetas, piedras (residuos de jardín)
Extrínseca = introducida por fuentes externas	
Bolsas de plástico (para la recolección)	Artículos domésticos
Nota: ETP = Elemento Tóxico Potencial	



2.2 Tipos de contaminantes

Los contaminantes pueden clasificarse a grandes rasgos en tres categorías principales en función de sus propiedades: físicas, químicas y biológicas .

Esta categorización funcional nos permite considerar su fuente y determinar las medidas necesarias para eliminar o reducir su concentración. Es importante señalar que a menudo se produce un solapamiento entre estas categorías. Por ejemplo, el plástico, aunque técnicamente es un compuesto

químico orgánico (o un grupo de compuestos, dependiendo de su formulación), suele clasificarse como contaminante físico porque su eliminación del compost se basa en consideraciones de tamaño y densidad.

Figura 2: Los tres principales tipos de contaminantes



Es importante observar que muchas veces hay una superposición entre las tres categorías: Física, Química y Biológica

2.3 Contaminantes físicos

Los contaminantes físicos son generalmente elementos grandes y visibles como plásticos, elementos metálicos, vidrio y piedras.

La composición relativa de los distintos contaminantes puede variar significativamente dependiendo de una serie de factores como el tipo de sistema de recolección, las herramientas utilizadas para la recolección selectiva y la concientización de los generadores de residuos comprometidos con la separación y clasificación de los residuos orgánicos. Con respecto a la

recolección selectiva de residuos de alimentos, la Asociación Italiana de Compostaje y Biogás (CIC) descubrió que la película de plástico representaba entre el 60% y el 75% en masa de todos los elementos detectados (CIC, 2019). En la Figura 3 se muestran ejemplos de diferentes niveles de contaminación.

Figura 3: Ejemplos de residuos orgánicos con distintos niveles de contaminación

2% DE CONTAMINACIÓN



10% DE CONTAMINACIÓN



Fuente: Agència de Residus de Catalunya, ES



El Asociación Italiano de Compostaje y de Biogás (CIC) encontró que las películas plásticas representaban entre 60% y 75% en masa de todos los contaminantes detectados (CIC, 2019)



Tabla 1: Principales tipos de contaminantes físicos

Categoría	Características
Plásticos flexibles y semiflexibles	Envases livianos, plásticos maleables, películas de plástico (films), bolsas, espuma de poliestireno.
Compuestos	Compuestos de distintos materiales (por ejemplo, cartones de bebidas, envases multicapa)
Plásticos duros	Plásticos indeformables o difícilmente deformables (quebradizos) (por ejemplo, tarros de yogur, recipientes de fruta, macetas, botellas de plástico, barriles)
Metales	Latas, botes, papel de aluminio, tapas corona, cubiertos, tapas de aluminio (por ejemplo, de yogur)
Papel y cartón	Papel, cartón, envases de cartón (por ejemplo, periódicos, envases y bolsas de papel, envases de cartón para manipulación)
Vidrio	Vidrio descartable, botellas, porcelana
Grueso	Materiales gruesos que interfieren (por ejemplo, tarimas o palets, canastas, raíces, ganchos para carne)
Hilado	Materiales perturbadores largos, posiblemente extensibles o incluso nudosos que pueden enrollarse alrededor de piezas móviles o giratorias (redes, cintas, plásticos desenrollados, cuerdas, pieles de animales)
Arena	Componentes minerales finos, arena para gatos.
Arenilla/ granos	Piedras, grava, fragmentos de vidrio, huesos, cáscaras de huevo, pequeñas piezas metálicas, conchas
Mezcla	Envases mezclados de las categorías anteriores (por ejemplo, vidrio y tapa de madera y metal), artículos de temporada (por ejemplo, calendarios de Navidad)
Mal clasificados	Objetos mal colocados, incluida ropa, objetos de decoración, productos de lavado y cosméticos, RAEE

En general, dentro del perímetro de un municipio o una ciudad, los residuos orgánicos pueden proceder de distintos generadores de residuos, como hogares y escuelas (fuentes municipales), minoristas y productores comerciales como mercados, supermercados y el denominado sector de la hotelería, los restaurantes y el catering (HoReCa) (Figura 4). Además, también producen residuos orgánicos los grandes generadores, como las instalaciones industriales que preparan o transforman alimentos y productos alimenticios, y, por último, el sector agrícola.

Tabla 2: Ejemplos de diferentes fuentes de residuos orgánicos

Tipo de generador de residuo	Municipal - Domiciliarios		Jardines públicos municipales jardines y espacios verdes	Mercados Municipales
Tipo de residuo orgánico generado	Residuos de alimentos Residuos de jardín	Residuos verdes y de poda	Residuos verdes y de poda	Vegetales Frutas Flores Productos horneados Carne
Envasado	Si y No	No	No	Si y No
Tipo de generador de residuo	Comercial Venta al por menor	HoReCa	Industrial	Agrícola
Tipo de residuo orgánico generado	Residuos de alimentos	Residuos de alimentos	Residuos de alimentos Lodos orgánicos	Verduras Fruta Residuos de cosecha Estiércoles
Envasado	Si	No	Si y No	No

Independientemente del tipo de productor de residuos, existen dos fuentes principales de contaminación física:

- Artículos mal colocados (“tirados”) que acaban en los residuos orgánicos, ya sea por error, por malas prácticas de segregación o como resultado de acontecimientos imprevistos; y
- Los envases que acompañan a los residuos de alimentos.

Figura 4: Ejemplo de diferentes tipos de materias primas de residuos orgánicos



Generalmente los residuos orgánicos recolectados en los hogares y en las actividades comerciales muestran la mayor variabilidad en el tipo y número de contaminantes por una serie de factores tales como el tipo de sistema de recolección establecido por un municipio, las herramientas disponibles para los hogares y las actividades comerciales para ayudarles a clasificar sus residuos orgánicos (especialmente los residuos de alimentos) y las iniciativas de sensibilización pública existentes.

A nivel mundial, un reto importante para el sector de reciclaje es causado por los alimentos envasados, entregados para su reciclaje debido a que los productos han caducado, a fallos en la cadena de frío o a un cambio en el tipo de productos ofrecidos a los clientes.



2.4 Contaminantes químicos

Los contaminantes químicos incluyen sustancias químicas orgánicas e inorgánicas derivadas de fuentes naturales y artificiales.

Algunos ejemplos son los plaguicidas y los contaminantes orgánicos persistentes, así como los metales pesados que aparecen de forma natural pero que pueden concentrarse en productos fabricados por el hombre, como las pilas y los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

Tabla 3: Principales tipos de contaminantes químicos

Categoría	Fuente (s)	Corrientes de residuos orgánicos afectadas
Plaguicidas (incluidos herbicidas e insecticidas)	Creados por el hombre y aplicados en determinadas circunstancias	Residuos verdes de jardinería y paisajismo Residuos agrícolas
Contaminantes orgánicos persistentes	Productos artificiales, por ejemplo, RAEE Plaguicidas	Residuos de alimentos Residuos verdes Residuos agrícolas
Dioxinas y furanos	Subproducto de la combustión a baja temperatura	
Metales pesados	Suelo si el lecho rocoso subyacente contiene niveles elevados Productos de cuidado personal (por ejemplo, zinc) Alimentos para el ganado (cobre) Productos artificiales (por ejemplo, pilas) Madera tratada	Residuos verdes Estiércoles y lodos
Productos farmacéuticos	Atención veterinaria y medicamentos	Estiércoles y lodos
Microplásticos: pueden adsorber moléculas orgánicas hidrófobas como pesticidas y contaminantes orgánicos persistentes COPs.	Desintegración de artículos de plástico flexible/semirrígido, o desgaste de artículos de plástico rígido.	Residuos verdes de jardinería y paisajismo Residuos agrícolas Residuos de alimentos

Nota para la tabla: como este informe no incluye los lodos de depuradora/biosólidos, los contaminantes químicos que pueden estar presentes en estos residuos no se incluyen en la tabla.

2.5 Contaminantes biológicos

Se producen de forma natural y a menudo son partes intrínsecas de algunos residuos orgánicos.

Los contaminantes biológicos incluyen, por ejemplo, patógenos bacterianos y fúngicos, semillas y propagadores de malezas, toxinas vegetales y material genético que puede conferir resistencia a algunos productos farmacéuticos antimicrobianos (Tabla 4).

Tabla 4: Principales tipos de contaminantes biológicos

Categoría	Fuente (s)	Corrientes de residuos orgánicos afectadas
Patógenos (virus, bacterias y hongos)	El tipo y la infectividad de un patógeno dependen de su fuente: Los patógenos vegetales (por ejemplo, hongos y virus) procederían de residuos vegetales Los patógenos bacterianos (por ejemplo, <i>Salmonella spp.</i> y <i>Escherichia coli</i>) prevalecen en las heces animales	Residuos de alimentos Residuos verdes Residuos agrícolas Estiércoles y lodos Residuos de mataderos/subproductos animales*
Parásitos	Material animal	Estiércoles y purines Residuos de matadero*
Toxinas vegetales (por ejemplo, toxoides, glucósidos cianogénicos)	Algunas plantas, como el tejo o el laurel cerezo.	Residuos verdes
Maleza (semillas y propágulos)	Material vegetal que incluye maleza	Residuos verdes Residuos agrícolas Estiércoles y lodos
Especies invasoras (por ejemplo, semillas, bulbos, cormos, tubérculos)	Plantas no autóctonas (por ejemplo, Knotweed japonés en el Reino Unido)	Residuos verdes de jardines domésticos, residuos de jardinería o eliminación de residuos de conservación
Insectos y plagas	Huevos depositados en residuos orgánicos	Residuos de alimentos Residuos verdes Residuos agrícolas Estiércoles y lodos Residuos de mataderos/subproductos animales*
Material genético que confiere resistencia antimicrobiana u organismos modificados genéticamente	Cultivos transgénicos Animales y seres humanos tratados con antibióticos	Residuos de alimentos Residuos verdes Residuos agrícolas Estiércoles y lodos Residuos de mataderos/subproductos animales* Lodos de aguas residuales

* En algunos países o regiones existen restricciones que limitan el compostaje/digestión anaeróbica de determinados subproductos animales por motivos de bioseguridad



2.6 Impactos

Los contaminantes pueden tener efectos muy diversos a corto, medio y largo plazo, y algunos son lo suficientemente importantes como para cerrar las operaciones de reciclado o dar lugar a acciones judiciales por parte de las autoridades reguladoras.

Los impactos causados por contaminantes incluyen los siguientes aspectos que se refuerzan entre sí:

Deterioro del proceso

Los contaminantes físicos son especialmente problemáticos en los sistemas de reciclado que dependen del movimiento mecánico de los residuos, como los impulsores y las bombas de las plantas de digestión anaeróbica húmeda, y las trituradoras y cribas. Las bolsas de plástico son conocidas por enrollarse alrededor de los equipos e impedir la mezcla, mientras que las piedras y los objetos grandes pueden causar un desgaste excesivo y dañar los equipos.

Seguridad

Algunos objetos pueden suponer un riesgo para la seguridad de los operarios que trabajan en plantas de compostaje y DA. Por ejemplo, las pelotas de golf y los trozos de metal pueden salir despedidos a gran velocidad y a grandes distancias de las trituradoras, mientras que las municiones y las bombonas de gas comprimido han provocado explosiones que han dañado gravemente las infraestructuras.

Los fragmentos de vidrio no sólo devalúan un producto, sino que pueden herir a personas y animales, mientras que los fragmentos de plástico en el compost y el digestato pueden acumularse en el suelo y desintegrarse en microplásticos más pequeños (véase el recuadro 2).

Rentabilidad

La eliminación de contaminantes, la sustitución o reparación de equipos dañados o desgastados y la disposición final de los contaminantes eliminados resultan costosas. Esto no sólo tiene un impacto directo en los beneficios de la empresa, sino que también reduce la eficiencia del proceso, aumenta los tiempos de procesamiento y afecta a las tasas de reciclaje.

Calidad del producto

En lugar de ser un producto que pueda comercializarse y venderse, el compost y el digestato contaminados tienen muy poco valor, por no decir ninguno. En muchos países existen niveles límite reglamentarios para los contaminantes, lo que restringe su aplicación a zonas de baja calidad, como la cubierta diaria de los rellenos sanitarios; prácticas que a menudo suponen un costo en lugar de generar ingresos. En muchos países se han establecido planes y normas de garantía de calidad, que fijan niveles límite para contaminantes como los ETP, los plásticos y los indicadores de patógenos humanos. En la tabla 5 se muestran ejemplos de normas.



Figura 5: Los impactos negativos de los contaminantes en el reciclaje de residuos orgánicos

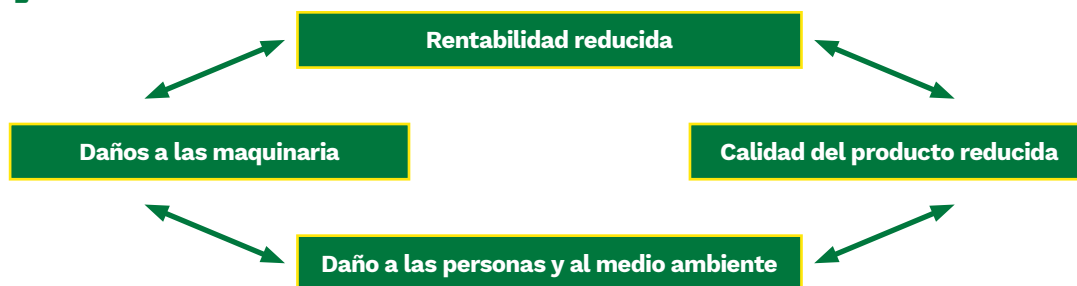


Tabla 5: Ejemplos de normas de calidad del compost con límites de contaminantes físicos, químicos y biológicos para distintas regiones del mundo

	Unión Europea (UE)	Australia	US (New York)	Uruguay
Impurezas físicas (plástico, vidrio, metal) g/kg (dm)	d>2mm, límite =0.5%	d>2mm, límite =0.5%	d<25,4mm, límite =2%	d>2mm límite =1%
Sólo plásticos g/kg (dm)	d>2mm, límite =0.3%	d>5mm, límite =5%	-	d>2mm límite =1%
Cu mg/kg (dm)	< 300	<150	<1500	≤100
Zn mg/kg (dm)	< 800	<300	<2500	≤200
Ni mg/kg (dm)	< 50	<60	<200	≤20
Otros metales pesados o TEP	valores límite establecidos	valores límite establecidos	valores límite establecidos	valores límite establecidos
Salmonella	Ausente	ausente	a analizar	ausente
Escherichia coli	<1000 UFC/g	<1000 NMP/g	-	-
Coliformes fecales	-	<100 NMP/g	a analizar	<1000 NMP/g
Referencias	(Unión Europea, 2019)	(Normas Australia, 2012)	(Estado de Nueva York, sin fecha)	(DGSA, 2018)

Nota de la tabla: d = diámetro; dm = materia seca; g = gramo; NMP = número más probable; UFC = unidad formadora de colonias



Cada vez preocupa más el impacto negativo que los contaminantes pueden tener en el ambiente. Los medios de comunicación han prestado mucha atención a los plásticos en los ecosistemas marinos, aunque podría decirse que el daño potencial que ejercen en los entornos terrestres es al menos igual de grande. En los últimos años, entre los peligros más preocupantes se encuentran los microplásticos y las sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (SPFA); véanse los recuadros 2 y 3 del texto. Aunque se trata de problemas sociales, su posible presencia en el compost y el digestato debe tomarse en serio.

Recuadro 2: Microplásticos

Se trata de partículas de plástico de tamaño inferior a 5 mm que se forman a partir de una amplia gama de productos plásticos, siendo los neumáticos de automóvil y los textiles sintéticos las dos fuentes más importantes. Una vez en el ambiente, se fragmentan aún más, haciéndose cada vez más pequeñas, hasta convertirse en nanoplasticos (< 1 µm).

Debido a su pequeño tamaño, estos plásticos son motivo de preocupación, ya que hay pruebas de que pueden ser ingeridos por los animales y concentrarse a medida que ascienden por la cadena alimentaria. Se sabe que los seres humanos ingieren microplásticos al comer marisco y sardinas. También hay pruebas de que algunas sustancias químicas y microorganismos patógenos pueden adherirse a los microplásticos, por lo que los efectos que ejercen estos plásticos no son únicamente físicos, ya que se sabe que se producen efectos químicos y biológicos.

Hasta la fecha, la mayor parte de la investigación sobre microplásticos se ha centrado en ríos y océanos, mientras que nuestra comprensión de su comportamiento y de los riesgos que presentan en el suelo es menos conocida. Las investigaciones en curso muestran que los suelos se ven afectados por la contaminación microplástica debido a la deriva aérea y a la actividad agrícola, con una amplia gama de contaminación que va desde unas pocas partículas por kg hasta miles de partículas por kg.

(Brandes, Henseler and Kreins, 2019)

Recuadro 3: SPFA

Son sustancias perfluoroalquílicas y polifluoroalquílicas y se utilizan ampliamente en una serie de productos, como textiles impermeables, espumas extintoras, sartenes antiadherentes y envases para servicios de alimentos. Como grupo de sustancias químicas, son estables y repelen tanto el agua como los lípidos (grasas y aceites). Por esta razón, se utilizan para tratar el papel y los envases de alimentos a base de fibra para evitar que se empapen y pierdan su forma y función.

Aunque su estabilidad hace que funcionen muy bien para el fin al que están destinados, el hecho de que sean resistentes a la degradación también significa que se acumulan en el ambiente, lo que hace que se les denomine “sustancias químicas para siempre”. Además, hay pruebas de que algunos compuestos de SPFA pueden ser nocivos para los seres humanos, lo que ha llevado a un mayor escrutinio por parte de los organismos reguladores.

Los SPFA se asocian desde hace tiempo a los biosólidos (lodos de depuradora) y a los lixiviados de rellenos sanitarios, aunque ahora se están analizando el compost y el digestato, ya que cada vez se desvían más residuos de alimentos a estos procesos para su reciclado.

(Pinkerton, 2020)



3 La gestión de los contaminantes

3.1 Jerarquía de la contaminación

Se atribuye al filósofo holandés Erasmo el origen del dicho “más vale prevenir que curar”.

Este principio es tan relevante para los contaminantes en los flujos de residuos orgánicos como lo es en otras áreas del reciclaje de residuos y puede resumirse como una jerarquía de opciones de gestión (Figura 6).

Figura 6: Jerarquía de gestión de la contaminación



En la cadena de suministro, desde los generadores de residuos hasta las plantas de reciclado, es preferible eliminar los contaminantes lo antes posible por varias razones. En primer lugar, la naturaleza mecánica de los procesos de compostaje y DA implica que, a medida que los materiales se mueven y se mezclan, las fuerzas de cizallamiento ayudan a romper la masa de compostaje. Estas fuerzas también actúan sobre los contaminantes, haciendo que las bolsas de plástico o los tarros de mermelada de cristal, por ejemplo, se reduzcan a muchos fragmentos de menor tamaño. Esto no sólo significa que son más difíciles de eliminar (ya que un artículo grande es más fácil de eliminar que muchos artículos más pequeños), sino que también se dispersan dentro de la matriz orgánica. En segundo lugar, algunos contaminantes pueden comenzar a desintegrarse o biodegradarse parcialmente durante el proceso de reciclaje, transformando potencialmente un contaminante relativamente benigno en uno que presenta un potencial mucho mayor de daño.

Por desgracia, la mayoría de los residuos orgánicos tienen un alto contenido en agua. El agua es un disolvente polar que tiene la capacidad de pegarse a sí mismo (cohesión), pero también de adherirse a otros objetos (adhesión). Esta propiedad del agua significa que los residuos orgánicos también se adhieren a contaminantes físicos, especialmente plásticos ligeros como el film de polietileno. Esto hace que sean más difíciles de eliminar al principio del proceso, cuando hay un alto contenido de humedad, en comparación con el final del proceso, cuando los niveles de humedad son generalmente más bajos. El lavado de los envases de plástico para recuperar los residuos de alimentos adheridos en ellos se lleva a cabo en algunas plantas de DA por esta misma razón.

Por el momento, no existe una respuesta fácil a este problema, pero hay que seguir investigando y desarrollando en vista de la magnitud de los desafíos.



Recuadro 4: APCC

El Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC) es un sistema utilizado por los tratadores de residuos orgánicos para la identificación, evaluación y control de los peligros que son significativos para la producción de compost/digestato, de modo que puedan utilizarse sin sufrir daños. Se trata de un concepto desarrollado originalmente por la NASA en la década de 1960 para garantizar que los alimentos fueran seguros para sus astronautas, y ahora se utiliza ampliamente en las industrias alimentaria y farmacéutica.

Fundamentalmente, el APPCC consiste en la prevención de daños, en lugar de basarse en pruebas exhaustivas de un producto final para detectar la presencia y el nivel de uno o varios peligros. El proceso consta de siete actividades secuenciales:

1. Realizar un análisis de peligros
2. Identificar todos los puntos críticos de control (PCC)
3. Establecer los límites críticos (LC)
4. Establecer un sistema de seguimiento y control de los LC
5. Describir las acciones correctivas en caso de fallos
6. Establecer sistemas para verificar el funcionamiento del sistema APPCC
7. Establecer documentación para todos los procedimientos y registros

Un **peligro** es algo que tiene el potencial de causar daño. En el contexto de este informe, se trata de un contaminante (físico, químico o biológico).

Un **Punto Crítico de Control (PCC)** es el último paso en el que puede aplicarse un control y es esencial para prevenir o eliminar un peligro o reducirlo a un nivel aceptable.

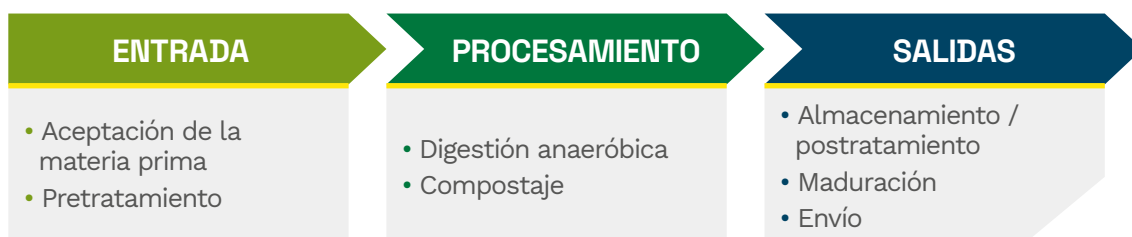
Un **límite crítico (LC)** es el criterio que separa las concentraciones o niveles aceptables de los inaceptables. Cuando se consideran los límites críticos en el compost/digestato, éstos suelen definirse en normas de calidad (Figura 5: Ejemplo de normas de calidad del compost que incluyen

límites para contaminantes físicos, químicos y biológicos para diferentes regiones del mundo).

La planificación APPCC es obligatoria por ley en la Unión Europea (Unión Europea, 2009) siempre que los subproductos animales (incluidos los residuos de alimentos) se traten mediante DA y compostaje con el fin de garantizar que los posibles patógenos microbianos se destruyan o se reduzcan a niveles aceptablemente bajos (higienización). En este caso, la medida de control consiste en procesar los subproductos animales a altas temperaturas durante periodos de tiempo mínimos (perfiles tiempo-temperatura) (European Compost Network, 2017).

En principio, las medidas de control pueden aplicarse en diferentes etapas en las plantas de compostaje y de AD. Sin embargo, en la práctica casi siempre es preferible remover los contaminantes de los residuos orgánicos lo antes posible (es decir, durante la etapa de ingreso), como se muestra en la Figura 5: Jerarquía de gestión de la contaminación. Esto es importante ya que:

- Algunos contaminantes pueden estar localizados en zonas concretas de los residuos entrantes. La manipulación y el procesamiento de los materiales pueden dispersar estos contaminantes por todo el residuo, devaluando potencialmente todo el lote de productos.
- Los plásticos y el vidrio pueden romperse en muchos fragmentos más pequeños, lo que hace mucho más difícil su posterior eliminación. Esto es especialmente problemático cuando estos pequeños fragmentos se dispersan



3.2 Costos de eliminación

Una vez mezclados con los residuos orgánicos, resulta costoso remover los contaminantes. En qué medida, depende mucho del tipo de residuo, del tipo de contaminación (por ejemplo, si es física o química), de los procesos empleados (incluidos los costos de la infraestructura) y del uso previsto para el producto final.

La información sobre los costos de eliminación de contaminantes mezclados con residuos orgánicos es limitada.

Un estudio de una instalación de compostaje en hileras con aireación pasiva y baja tecnología en Malawi sugirió que la mano de obra asociada a la eliminación de plásticos ascendía a poco más del 12% del tiempo de trabajo activo (Yesaya, Mpanang'ombe y Tilley, 2021). Dado que esta instalación compostó verduras recolectadas como residuos mezclados de dos mercados de verduras, la puesta en marcha de un sistema de recolección diferenciada reduciría, por tanto, los costos de mano de obra y aumentaría la rentabilidad.

Un estudio realizado en Italia por la Asociación

Italiana de Compostaje y Biogás concluyó que la extracción y eliminación de todos los contaminantes físicos durante el reciclaje de residuos de alimentos y residuos verdes mediante compostaje y/o digestión anaeróbica en Italia costaría al sector unos 52 millones de euros; esto equivale a unos 227 euros/tonelada por contaminantes y excluye las pérdidas derivadas de la venta de compost de menor calidad y la reducción de la producción de biogás (CIC, 2017).

Otro estudio realizado en el Reino Unido utilizó datos de un operador de una instalación de digestión anaeróbica húmeda, donde se estimó que cada tonelada de contaminantes mixtos retirados (principalmente bolsas de plástico) costaría 156 libras esterlinas/tonelada (157 euros; 207 dólares), incluyendo el transporte y la eliminación (REA, 2020)

3.3 Salud y seguridad

Todos los contaminantes son peligrosos, lo que significa que pueden causar daños, ya sea a las personas, a los animales, a las plantas, a los ecosistemas o a los equipos.

Mientras que los daños al ambiente suelen controlarse a través de la legislación ambiental, los daños a los trabajadores entran dentro de la legislación sobre salud y seguridad. Por lo tanto, es importante evaluar los riesgos de todas las actividades in situ e introducir medidas de control para reducir el riesgo de daños a los operarios. Esto es particularmente importante en la remoción de contaminantes físicos de manera manual y podría, por ejemplo, incluir el uso de equipos de protección individual.

Para más información sobre salud y seguridad en las plantas de compostaje, véase (Rynk et al., 2022).



4 Prevención de los contaminantes

4.1 Sistemas de recolección

Una vez que los contaminantes se encuentran mezclados con los residuos orgánicos, resulta técnicamente difícil separarlos durante el proceso de reciclado biológico; como se ha señalado en el capítulo anterior, la prevención debería ser, en consecuencia, el enfoque general para limitar el ingreso de estas sustancias en el proceso de reciclado, que luego conduce a la producción de compost o digestato.

En la recolección selectiva de residuos orgánicos hay tres factores principales que influyen en el comportamiento de los generadores de residuos y, por lo tanto, en los niveles de contaminación, a saber: el tipo de sistema de recolección, los instrumentos de recolección utilizados y la información proporcionada a los generadores de residuos (Figura 7).

Figura 7: Factores que influyen en los niveles de contaminación

Tipos de sistema de recolección

- Los sistemas de recolección puerta a puerta obtienen mejores resultados que los sistemas donde el generador debe llevar los residuos hasta una isla de contenedores o sistemas de entrega (por ejemplo, contenedores en la vía pública o sistemas de contenedores subterráneos).

Tipos de instrumentos de recolección

- El uso de bolsas de plástico o papel compostables certificadas ofrece mejores resultados que las bolsas de plástico de polietileno convencionales.

Iniciativas de concienciación pública

- Las campañas de comunicación y las iniciativas de sensibilización mejoran la comprensión y el comportamiento de los generadores de residuos a la hora de clasificar correctamente los residuos orgánicos

Tipo de sistema de recolección

El tipo de sistema de recolección afecta el comportamiento de los generadores de residuos y a los tipos de residuos a eliminar. Cuando se establece correctamente, los residuos orgánicos pueden ser controlados antes de la recolección y el generador de residuos puede asumir la responsabilidad de clasificar sus residuos correctamente. Esto está bien documentado en las orientaciones técnicas y en las experiencias prácticas con los sistemas de recolección de residuos de alimentos, que se resumen en el Recuadro 5.

Normalmente, los responsables locales optan por recolectar los residuos orgánicos con sistemas similares a los que se utilizan para otros flujos de RSU; por lo tanto, si optan por utilizar sistemas de recolección, es aconsejable que proporcionen contenedores con cerradura, facilitando a los residentes el acceso a través de un sistema de identificación específico para cada usuario. Esta fue la experiencia de la ciudad de Viana do Castelo, en Portugal¹, que limitó el nivel de contaminación de los residuos de alimentos recolectados a menos del 5% en masa.

Recuadro 5: Ejemplos de la efectividad de los sistemas de recolección selectiva

CATALUÑA, ESPAÑA: El manual sobre recolección selectiva publicado por la Agencia de Residuos de Cataluña (2018) en España mostró que los sistemas de recolección diferenciada de residuos de alimentos resultaron con un 57% menos de contaminación en comparación con los sistemas de entrega.

ITALIA: La Asociación Italiana de Compostaje y Biogás (Ricci y Centemero, 2014) informó que los esquemas de recolección (puerta a puerta) redujeron los contaminantes en un 50% en comparación con los sistemas de entrega, manteniendo así los contaminantes en los residuos alimenticios, por debajo del 4% en promedio.

PARMA, ITALIA: La ciudad cambió en 2014 el sistema de recolección de residuos de cocina de los hogares poniendo fin al sistema de recolección mediante camiones contenedores y adoptando un sistema puerta a puerta con contenedores de 20 litros y contenedores con ruedas; se introdujeron bolsas de plástico compostables para clasificar los residuos de cocina y la empresa de residuos las distribuyó periódicamente a todos los hogares (Ricci-Juergensen y Folli, 2016). Una comparación de los dos esquemas condujo a una reducción significativa de los contaminantes (del 8.3 % al 3.3 %), así como a la duplicación de la cantidad de residuos separados, alcanzando unos 100 kg per cápita al año.

RUMANIA: Los datos de composición de orgánicos recolectados por separado en diferentes ciudades (Salacea, Valea y Beius) mostraron que con la recolección mediante contenedores los contaminantes se situaban entre el 27% y el 35% en peso, mientras que en las ciudades con sistemas de recolección puerta a puerta, el nivel de contaminación se redujo al 4-5% en peso (A Bihor & E Bihor, comunicación personal, 2022).

Debido a su mayor volumen y menor densidad, los sistemas de recolección de residuos de jardín (compuestos por podas, troncos de árboles, restos de césped, etc.) difieren necesariamente de los de residuos de alimentos. Debe evitarse el uso de contenedores abiertos y sin vigilancia para evitar el depósito incontrolado y la eliminación de residuos voluminosos (como cortadoras de césped dañadas). Son preferibles los puntos de entrega supervisados, como los centros de recolección municipales, los puntos de recolección temporales con personal o un programa específico puerta a puerta. Todos ellos ofrecen a los operarios la oportunidad de comprobar la calidad de los residuos antes de su recolección.

¹ Azevedo S., Implantación de un sistema de recolección selectiva PAYT para la Fracción Orgánica de los RSU y promoción del compostaje domiciliario, 2022, comunicación personal.



4.1.2 El tipo de instrumento de recolección

La recolección de residuos de alimentos procedentes de hogares y actividades comerciales suele exigir a los generadores el uso de bolsas compostables certificadas para evitar la lixiviación y mantener limpios los receptáculos de recolección. En algunos países, se exige a los hogares que clasifiquen los residuos de alimentos en bolsas de papel o plástico compostable (véase el recuadro 6), junto con

pequeños contenedores de cocina con ventilación. Este “sistema ventilado” se utiliza habitualmente en algunas partes de Austria, Cataluña (España), Dinamarca, Francia, Italia, Noruega, Suiza y el Reino Unido (ECN, 2019), ya que ayuda a reducir el contenido de humedad de los residuos de alimentos entre un 7 y un 10% antes de su recolección (Caimi, Ricci-Jürgensen y Favoino, 2006).

Recuadro 6: Plásticos compostables

Una bolsa o envase compostable puede etiquetarse como compostable si cumple una norma técnica reconocida, como las normas europeas EN 13432 (para envases), la estadounidense ASTM D6400-21 o la australiana AS4736-2006; estas normas garantizan una desintegración y biodegradabilidad del producto en un tiempo determinado en condiciones óptimas de compostaje profesional y la ausencia de efectos biológicos adversos en el compost producido. Estas normas no se aplican a las instalaciones que se basan únicamente en la gestión anaeróbica para tratar los residuos orgánicos.

La certificación de un producto conforme a una norma publicada sólo puede llevarla a cabo un organismo de certificación acreditado en caso de que un fabricante desee reclamar su homologación. En Europa existen dos organismos principales de certificación de productos compostables (DIN CERTCO y TÜV AUSTRIA), mientras que la Asociación Italiana de Compostaje y Biogás (CIC) y la Renewable Energy Assurance Ltd (REAL) del Reino Unido gestionan sistemas más pequeños. El Instituto de Productos Biodegradables (BPI) opera en EE. UU. y Canadá, la Asociación de Bioplásticos de Australasia (ABA) opera en Australia y Nueva Zelanda, mientras que la Asociación Japonesa de Bioplásticos (JBPA) se centra en Japón, China y Corea.

En el recuadro 7 se detallan ejemplos para la adopción de bolsas compostables combinadas con iniciativas de concienciación pública. Otras autoridades locales, como el Departamento de Saneamiento de la ciudad de Nueva York, fomentan el uso de bolsas de papel y bolsas compostables en lugar de plásticos no biodegradables para clasificar los residuos de alimentos, aunque no existan requisitos vinculantes.

Cuando se trata de residuos de jardinería, el uso de bolsas grandes de papel es preferible a las bolsas de plástico, evitando así que los plásticos lleguen a las instalaciones de reciclaje de residuos orgánicos.

Recuadro 7: Sistemas de recolección con bolsas compostables

SLIGO, IRELAND: El suministro a los hogares de bolsas compostable junto con pequeños contenedores de cocina con ventilación junto con una iniciativa de concientización ciudadana, redujo el nivel de contaminantes del 18 % al 3 % en peso y duplicó la participación de los hogares (Sligo County Council et al., 2019).

KASSEL, ALEMANIA: Se demostró que la distribución de bolsas de plástico compostable a los hogares dio lugar a un descenso de los contaminantes del 56 %, al tiempo que aumentó en un 23 % la proporción de residuos orgánicos recogidos (Gröll et al., 2015).

13 CIUDADES Y MUNICIPIOS, ALEMANIA: Un estudio demostró que en las zonas con la recomendación de utilizar bolsas de plástico compostables, los residuos de cocina dieron lugar a una contaminación de solo el 2.5 % en masa, mientras que la contaminación aumentó al 3.8 % en masa en las ciudades/municipios donde no se permitían las bolsas de plástico compostables (Kern, Siepenkothen y Turk, 2018).

BRATISLAVA, ESLOVAQUIA: Una iniciativa de recolección de residuos domiciliarios de cocina en zonas edificadas de gran altura demostró que una recolección puerta a puerta combinada con la distribución de bolsas de plástico compostables y pequeños contenedores de cocina con ventilación condujo a niveles de contaminación inferiores al 1% en masa (Zenko, comunicación personal, 2022).

Inspecciones de calidad durante la recolección

Implementar inspecciones de calidad durante el servicio de recolección puede servir como una herramienta crucial para prevenir el ingreso de contaminantes físicos a las instalaciones de tratamiento de residuos orgánicos. Esto es especialmente importante en las zonas donde se emplean sistemas de recolección con contenedores, ya que un equipo de recolección bien formado puede inspeccionar visualmente los cubos y contenedores domésticos individuales. Pueden negarse a vaciar los recipientes que no cumplan las normas de calidad especificadas por el operador local. Si se adopta este enfoque, se puede lograr la recolección de residuos de alimentos con niveles de contaminación inferiores al 3% y en situaciones especialmente favorables por debajo del 1%, siempre que haya equipos motivados y las zonas sean predominantemente de hogares unipersonales.

En el caso de los contenedores de mayor tamaño situados en zonas densamente pobladas, pueden utilizarse dispositivos de detección instalados en los vehículos de recolección. Estos dispositivos van desde tecnologías de inducción, que evalúan únicamente la presencia de metales, hasta inspecciones con cámaras durante el volcado, que emplean inteligencia artificial para reconocer el contenido. Aunque esta última solución se encuentra actualmente en fase de desarrollo (INFA, 2023), los resultados iniciales son prometedores.

Ambos enfoques, ya sean intensivos en mano de obra o basados en la tecnología, resultan eficaces para evitar la recolección de contenedores contaminados. Además, proporcionan a los hogares información valiosa mediante la colocación de etiquetas autoadhesivas en los contenedores, que indican una clasificación incorrecta de los residuos orgánicos (Figura 8).

Figure 8: Ejemplos de etiquetas autoadhesivas de incumplimiento en la recolección selectiva de residuos de alimentos



Realizando inspecciones de calidad durante la recogida de residuos alimentarios se pueden alcanzar niveles de contaminación inferiores al 3% y por debajo del 1% en situaciones especialmente favorables



La recolección de residuos de alimentos envasados procedentes de grandes generadores

Los productos alimenticios envasados y vencidos recolectados de empresas de producción de alimentos, bebidas o alimentos para animales para su reciclado en instalaciones de compostaje o digestión anaeróbica representan un problema técnico importante para los gestores de residuos, ya que es necesario retirar todos los envases de plástico convencionales antes del tratamiento.

Por lo tanto, es aconsejable exigir a los generadores de residuos y a los servicios de recolección especializados que entreguen los residuos de alimentos generados en las unidades industriales y comerciales ya desempacados; además, también deben establecerse niveles máximos de contaminación aceptables para facilitar la aceptación en la puerta de las instalaciones de reciclaje² (Bundesumweltministeriums, 2012). En comparación con otros flujos de residuos orgánicos, se espera

que los residuos de alimentos envasados contengan una proporción significativa de contaminantes, por lo que las técnicas de pretratamiento deben elegirse en función del tipo de contaminación física y de la eficiencia de separación que se desee conseguir.

En el caso de los sistemas de recolección de circuito cerrado para servicios de catering, una posible alternativa a los envases de plástico convencionales para alimentos es exigir el uso de envases de papel o de plástico compostable, que cumplan con una norma de compostabilidad descrita en el recuadro 6. Sin embargo, el uso de envases compostables junto con alimentos presenta tanto oportunidades como desafíos, tal y como establece la European Compost Network (REC, 2019); por lo tanto, es necesario verificar de antemano la aceptación efectiva de dichos artículos en las instalaciones locales de compostaje o AD.

² Por ejemplo, el nivel límite de fragmentos de plástico de más de 2 mm permitido en las materias primas para compostaje o digestión anaeróbica en Alemania es del 0.5% (masa seca) para residuos de alimentos sin envasar (véase el recuadro 17: Límites de contaminantes en Alemania).

Recuadro 8: Desafíos del envasado de alimentos

Los materiales de envasado utilizados para los productos de alimentos deben cumplir una amplia gama de requisitos durante el progreso del proceso de producción hasta el consumidor final.

Los materiales y sus requisitos pueden dividirse a grandes rasgos en las categorías de envases de venta, envases exteriores y envases de transporte. Así, además de los aspectos higiénicos, la industria del envasado debe tener en cuenta las propiedades de calidad alimentaria y los requisitos de apilamiento y transporte. La transportabilidad de los materiales también supone un reto a cumplir y tener en cuenta la vida útil y la consistencia de los alimentos.

Estos complejos requisitos sobre las propiedades de los materiales de los envases se reflejan también en la tecnología de procesos, cuyo objetivo es separar el envase del alimento con la máxima calidad posible.



Usando envases compostables junto con alimentos presenta tanto oportunidades como desafíos tal y como establece el Asociación European Compost Network (ECN, 2019)

4.2 Iniciativas de sensibilización pública

Los ejemplos que se muestran en el recuadro 7 se desarrollaron para aumentar el conocimiento y la comprensión de los generadores de residuos sobre cómo separar correctamente los diferentes tipos de materias primas orgánicas y residuos compostables.

Las iniciativas de concientización que condujeron a una reducción de los niveles de contaminación antes de la recolección, fueron más eficaces que la eliminación durante el proceso de tratamiento; esto se resumió como “ más vale prevenir que curar” (Washington Organic Recycling Council, 2017).

Entre los ejemplos se incluyen campañas nacionales como la “Aktion Biotonne Deutschland”, una campaña alemana del gobierno federal y

asociaciones nacionales que promueven la recolección de más residuos de cocina con menos plásticos, la campaña italiana “Di che plastic sei” para mostrar a los consumidores cómo distinguir los envases de plástico compostable de los polímeros convencionales, y la Iniciativa de Contaminación Orgánica del Estado de Washington (EE. UU.) centrada en la prevención de contaminantes en el compost (Figura 9).

Figura 9: Ejemplos de las principales iniciativas de sensibilización centradas en la recolección o el reciclaje de residuos orgánicos en Alemania, Italia y EE.UU.





Recuadro 9: Sensibilización en Sligo, Irlanda

En Sligo (Irlanda) se llevó a cabo un proyecto piloto con 6.000 hogares (Sligo County Council et al., 2019). El objetivo del proyecto era comprobar cómo una serie de herramientas educativas y de recolección, como el empleo de “Promotores Ambientales para hacer una adecuada separación del Contenedor Marrón” y el suministro de pequeños contenedores de cocina a los hogares, podían mejorar la cantidad y la calidad de los residuos de alimentos en el contenedor marrón. El objetivo era demostrar el impacto positivo que medidas de coste relativamente bajo podían tener en el rendimiento del sistema.

En la ciudad de Sligo había un gran número de hogares con contenedores de residuos y, antes de la campaña de sensibilización, su uso era muy escaso. Un programa de educación puerta a puerta, y el suministro de pequeños contenedores de cocina y bolsas compostables a los hogares dio lugar a:

- La participación y la recolección de residuos orgánicos en promedio se duplicaron en las zonas que recibieron información en comparación con las que no la recibieron
- Una reducción del nivel de contaminación en los contenedores marrones del 18% al 1%.

La puesta en marcha de un programa de educación puerta a puerta podría no ser factible para algunos recolectores de residuos. Sin embargo, el estudio demostró que el mero suministro de un pequeño contenedor de cocina, bolsas compostables y folletos informativos aumentaría drásticamente la cantidad y calidad de los residuos de alimentos recolectados en los contenedores de basura.

La retroalimentación a los generadores de residuos también se puede lograr haciendo que el compost producido esté disponible al final del proceso de tratamiento, esto ha sido logrado con éxito por ABITO (C. Mulcahy, comunicación personal, 2023), una iniciativa de financiación privada lanzada en 2018 en Uruguay para aumentar y mejorar la recolección separada y el reciclaje de los residuos producidos en supermercados, restaurantes, centros comerciales, oficinas privadas y públicas, escuelas y universidades. Los clientes de ABITO reciben una bolsa gratuita de “compost BioTerra” de alta calidad, producido a partir de sus residuos orgánicos; esto también sirve como acción de marketing para la planta de compostaje.

Recuadro 10: Sensibilización en Alemania

Sensibilizar a la población sobre los residuos orgánicos es el tema de la campaña nacional “#wirfuerbio - Biomüll Kann Mehr” (#wirfuerbio – “los residuos orgánicos pueden más”) que cada año llevan a cabo las empresas municipales de gestión de residuos.

Su objetivo es educar a los ciudadanos mediante un enfoque directo de comunicación a través de diversos medios, como la emisión repetida en varios canales. La “Aktion Biotonne Deutschland” (campaña para los contenedores de residuos orgánicos en Alemania) es otra campaña nacional del gobierno federal y asociaciones nacionales que promueve más residuos de cocina compostables y menos plástico en el contenedor de residuos orgánicos. Las inspecciones de los contenedores de residuos orgánicos pueden complementar la labor de relaciones públicas, especialmente en los distritos de recolección con contenedores de residuos orgánicos muy contaminados en repetidas ocasiones. Las inspecciones pueden realizarse mediante cribado manual y sistemas electrónicos de control y detección. Los contenedores de residuos orgánicos con una inadecuada separación y altos niveles de contaminantes son considerados residuos y se eliminan previo al pago de su tasa.

Recuadro 11: Semana internacional de sensibilización sobre el compost

La Semana Internacional de Sensibilización sobre el Compost (ICAW) es la mayor y más completa iniciativa de sensibilización promovida por una serie de organizaciones de compostaje de muchos países, desde Norteamérica (US Composting Council y Compost Council of Canada), Europa (ECN European Compost Network) hasta Australia (AORA Australian Organics Recycling Association).

Se celebra cada año durante la primera semana de mayo para aumentar la toma de conciencia de los generadores y no expertos sobre la importancia de devolver la materia orgánica al suelo mediante el compost y promover el vínculo entre el compost, la salud del suelo y la producción de alimentos. Para más detalles www.compostfoundation.org/ICAW/ICAW-Home

Recuadro 12: Responsabilidad ampliada del productor para envases compostables

En Europa, existen organizaciones de Responsabilidad Extendida del Productor para los envases en cada Estado miembro. Estas organizaciones cobran tasas también de los productores que comercializan materiales compostables. Sin embargo, las tasas no se utilizan para apoyar el sector del tratamiento orgánico, con la excepción de un país, Italia.

Biorepack es el sistema italiano de REP que recauda la tasa por los plásticos compostables puestos en el mercado italiano y recolecta los residuos de envases junto con los residuos de alimentos; de ahí que la tasa se utilice para apoyar al sector del tratamiento de orgánicos en programas para ayudar a eliminar la contaminación y también para financiar programas a largo plazo de educación pública sobre cómo recolectar correctamente los residuos de alimentos. <https://eng.biorepack.org/>

En algunos países de la UE, como Irlanda, se está debatiendo este tema. En Irlanda se ha acordado que los materiales compostables procesados en plantas de compostaje y biogás cuenten para los objetivos de reciclado de envases de la UE.



4.3 Prohibiciones y restricciones de productos

A medida que aumenta la preocupación de la sociedad por la acumulación y el impacto potencial de una amplia gama de productos de consumo, empiezan a entrar en vigor prohibiciones y restricciones.

Muchos países están eliminando progresivamente los artículos de plástico de un solo uso, como las bolsas de plástico para la compra, las pajitas para beber y los agitadores; artículos que a menudo acaban en los residuos orgánicos y son especialmente difíciles de eliminar. Sin embargo, como la lista de “productos de plástico problemáticos” (por ejemplo, macetas de plástico) que acaban en los flujos de residuos orgánicos, va mucho más allá de las actuales propuestas legislativas, es necesario seguir trabajando para plantearle esta cuestión a los responsables políticos. Por lo tanto, pasará algún tiempo antes de que el impacto de estas prohibiciones empiece a surtir efecto en lo que respecta al reciclaje de residuos orgánicos.

Recuadro 13: Bolsas de supermercado en Italia

Desde la década de los 90, las bolsas de plástico compostables se utilizan en Italia para recolectar biorresiduos, con el fin de facilitar la clasificación de los residuos de alimentos en los hogares y evitar que los polímeros plásticos convencionales contaminen los residuos orgánicos.

Tras la entrada en vigor en 2011³ de la prohibición de las bolsas de plástico convencionales en el momento de compra, la cantidad total de bolsas de un solo uso se redujo en un 36 % entre 2013 y 2021; además, la eliminación progresiva del uso de bolsas de polietileno convencionales redujo el riesgo de que los plásticos contaminaran los residuos de alimentos recolectados. En la actualidad, ocho de cada diez bolsas de supermercado del mercado italiano están certificadas como compostables según la norma EN 13432 (CEN, 2000).

Además, las ciudades y las autoridades locales no necesitan equipar a los hogares con bolsas compostables, ya que éstas están ampliamente disponibles en el mercado y tienen una segunda vida como bolsas para la recolección selectiva de residuos de alimentos.

³ Desde 2011 Italia prohíbe las bolsas comerciales de un solo uso (de menos de 100 µm) y a partir de 2018 también todas las bolsas de plástico ultraligeras de un solo uso; las bolsas de papel y de plástico compostable, certificadas según la norma EN 13432, están exentas de la prohibición.

Recuadro 14: Prohibiciones de SUP en la UE

En la Unión Europea, la propuesta de actualización de la Directiva sobre envases y residuos de envases publicada en noviembre de 2022 aborda específicamente el problema de los plásticos convencionales que contaminan los residuos orgánicos en las plantas de compostaje y digestión anaeróbica, tras una clasificación incorrecta por parte de los hogares y los productores comerciales⁴.

La nueva legislación propuesta pretende reducir la contaminación de los flujos de reciclado compostables prohibiendo en el mercado de la UE una lista seleccionada de artículos de un solo uso, como cápsulas de café, bolsas de té, etiquetas autoadhesivas de fruta y bolsas de plástico muy livianas.

De ahí que el borrador de la propuesta de Directiva actualizada introduzca la compostabilidad obligatoria para las monodosis de café con filtro, las etiquetas adhesivas pegadas a frutas y verduras y las bolsas de plástico muy livianas; la lista de envases que deben ser compostables en el mercado de la UE puede modificarse en el futuro.

⁴ El proyecto de Reglamento puede descargarse de <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/>

Many chemicals are also being restricted or phased out entirely. For facilities accepting garden waste, the issue of herbicide residues has been problematic for some time. Problems experienced with pyralid herbicides in the 1990s are discussed in Box 15, whilst glyphosate (a broad-spectrum herbicide that is potentially linked to cancer in humans and harmful effects on wildlife) is currently banned in some countries and being considered in a number of others.

Recuadro 15: Herbicidas clopiralida y aminopiralida: dos historias con moraleja

A finales de la década de 1990, se descubrió que el compost producido comercialmente en EE.UU. y Nueva Zelanda dañaba las plantas de tomate.

Tras exhaustivas pruebas de laboratorio y un trabajo detectivesco, se descubrió que la causa del problema era el herbicida clopiralida, que sobrevivía al proceso de compostaje y permanecía activo en el producto final. En aquella época, la clopiralida se utilizaba mucho en productos para el cuidado del césped, sobre todo en Estados Unidos. A raíz de estos problemas, los fabricantes retiraron algunos productos y restringieron el uso de preparados que contenían clopiralida. Los productos que contienen clopiralida, tienen ahora recomendaciones claras sobre el compostaje de los residuos vegetales tratados.

En 2008, varios agricultores británicos experimentaron problemas similares, ya que se descubrió que los abonos dañaban sus plantas. Se descubrió que el problema se debía a la hierba con la que se habían alimentado los animales de pastoreo. Esta había sido tratada con productos que contenían el herbicida aminopiralid, utilizado para controlar las malezas en los pastos. Desgraciadamente, el herbicida se degradaba lentamente y pasaba directamente al intestino de los animales, permaneciendo activo en sus excrementos. Desde entonces, se ha restringido el uso de aminopyralid y se han implantado estrictos procedimientos de registro.



4.4 Tarifas diferenciales

Las tarifas aplicadas en las instalaciones de compostaje y biogás suelen depender del tipo de residuo orgánico aceptado, teniendo en cuenta la complejidad técnica necesaria para tratar tipos específicos de materia prima.

Por ejemplo, en Italia o España los residuos de alimentos se aceptan con una tarifa más alta que los residuos de jardinería, teniendo en cuenta que al primer flujo de residuos se le debe agregar otro sustrato provisto por el operador. Estas tasas pueden incluir una cuota sesgada en función de los contaminantes detectados en los residuos orgánicos entregados.

Varias organizaciones de compostaje promueven activamente el seguimiento de la contaminación; el BGK alemán ha publicado un conjunto de tres metodologías diferentes para evaluar la contaminación de los biorresiduos (una mezcla de residuos de alimentos y residuos de jardinería), mientras que el consorcio italiano de compostaje y digestión anaeróbica (CIC) realiza hasta 1500 análisis de clasificación de residuos de alimentos aplicando la metodología de la Asociación publicada con el organismo de normalización italiano, UNI (CIC y UNI, 2021)



Recuadro 16: Tarifa de ingreso para el tratamiento según nivel de contaminación

La planta de compostaje Dirt Hugger, en EE. UU., aplica una tarifa por contaminación sencilla pero eficaz, además de la tarifa de entrada por aceptar residuos orgánicos (Washington Organic Recycling Council, 2017). Los contaminantes físicos se evalúan en función del número de artículos (picks) o del volumen de los materiales clasificados manualmente a partir de las cantidades entregadas por cada transportista.

La tarifa por contaminación oscilaba entre 25 USD/entrega y 200 USD/entrega en función de los resultados del análisis de contaminación.

Las entregas con impurezas físicas superiores a 150 picks o 200 galones (unos 800 litros) son rechazadas.

Dado que muchos municipios recurren a operadores privados para reciclar sus residuos orgánicos, la cantidad de contaminación aceptable debería incluirse en las licitaciones o contratos, incluida la prescripción de realizar análisis periódicos de la composición de los residuos orgánicos. Estos detalles permiten a la instalación sesgar la tarifa en función de la calidad de la materia prima orgánica y rechazar entregas individuales que presenten una contaminación excesiva, para evitar que las impurezas se trasladen al compost o digestato final.

Recuadro 17: Requisitos sobre límites de ingreso de contaminantes en Alemania

La Ordenanza alemana sobre biorresiduos exige a los recicladores de biorresiduos que cumplan unos valores de control de impurezas para el material de entrada (Bundesumweltministeriums, 2012).

Estos valores de control se refieren principalmente al contenido total de plástico en el material de entrada. Es un requisito legal que los operadores determinen el contenido de contaminación del material de entrada antes de que entre en la primera fase de tratamiento biológico (en el caso de las plantas de AD, se trata del digestor). Los límites están fijados en el 0.5% (FM) de plástico >20 mm y el 1.0% (FM) de plástico >2 mm para los biorresiduos sólidos recolectados de hogares particulares. Estos límites suponen un reto -especialmente para los lodos- ya que a menudo es difícil distinguir las impurezas, por ejemplo, láminas, de otros materiales u orgánicos en la matriz opaca.



5 Extracción o eliminación de contaminantes

5.1 Contaminantes físicos

Las técnicas de eliminación aprovechan las diferencias en las propiedades físicas (por ejemplo, estructura, tamaño y densidad) entre los contaminantes y los materiales a los que acompañan, permitiendo la separación en distintas fases del proceso de reciclado.

El factor clave que afecta a la elección del equipo de separación es el contenido de humedad de los residuos orgánicos, ya que el agua tiene un efecto tan profundo en la “pegajosidad” de los residuos y en lo bien que se adhieren a los contaminantes, especialmente a los plásticos⁵. Por tanto, los procesos difieren en función de si los residuos orgánicos se presentan en fase sólida o semisólida/líquida (Tabla 7).

Aunque los equipos de separación pueden ser muy eficaces, nunca lo son al 100%; según CIC, las tasas de eliminación de plástico convencional en el compostaje industrial en Italia pueden alcanzar hasta el 97.8% en condiciones de tratamiento estándar⁶. Esto significa que una pequeña fracción quedará inevitablemente sin clasificar. Los enfoques multietapa aumentan la eficacia global del sistema, aunque suelen tener un precio elevado.

Es importante tener en cuenta que las técnicas de eliminación suelen provocar una reducción del tamaño de los contaminantes, lo que los hace mucho más difíciles de eliminar al final del proceso; en general, cuanto más pequeño es el contaminante, más difícil es eliminarlo. Basta pensar en una botella de vidrio que se rompe en numerosos trozos pequeños y afilados, o en una bolsa de plástico que se rompe en muchos fragmentos. Esto no sólo supone un riesgo para la seguridad de los operarios y los usuarios finales, sino que también puede contaminar el producto final y, por tanto, el entorno. En la figura 10 se muestra un ejemplo de contaminantes eliminados.

⁵ Consulte la explicación en la Sección 3.1.

⁶ Assessment by CIC technical committee in 2021 on the average removal of plastic contaminants in Italian Composting and combined AD & Compost facilities, inédito.

Figura 10: Contaminantes separados durante el pretratamiento de residuos de alimentos en una instalación de Italia

Fuente: M Ricci, 2017



Dependiendo del contenido de humedad de los residuos y del tipo de proceso de separación utilizado, los contaminantes eliminados también pueden arrastrar consigo parte de los residuos orgánicos destinados al reciclado. Esto no sólo reduce la eficiencia del reciclado, sino que también puede causar problemas con su almacenamiento, eliminación o reciclado. Algunos procesos de DA húmeda lavan los contaminantes recuperados para volver a extraer los residuos de alimentos; se trata de separar los orgánicos de los contaminantes y no al revés.

En la práctica, se utilizan diferentes técnicas de separación en función de una serie de factores como:

- Las **propiedades físicas de las distintas materias primas orgánicas**; los residuos de jardines y parques tienen una densidad menor en comparación con los residuos de alimentos. Dado que los residuos de alimentos no suelen someterse a trituración, los contaminantes de gran tamaño pueden eliminarse de los residuos de jardín antes de realizar la reducción de volumen.
- El **tipo de proceso de tratamiento biológico aplicado**; el compostaje se basa en tecnologías más sencillas que la digestión anaeróbica, por lo que el equipo es menos vulnerable a los daños que en las plantas de AD. La digestión anaeróbica húmeda es propensa a la obstrucción de los tubos y tuberías utilizados para transferir los residuos orgánicos con bajo contenido en sólidos de una etapa del proceso a la siguiente, por lo que es necesario eliminar contaminantes específicos en las plantas de digestión anaeróbica húmeda. El proceso es algo más flexible en el caso de la DA seca (como el tratamiento en contenedores) o el compostaje, especialmente en aquellos procesos que minimizan el volteo y la mezcla de las pilas de compost.
- El **tipo de equipamiento técnico disponible en una instalación concreta y el coste de la mano de obra**; en los países de ingresos bajos, las instalaciones de tratamiento de residuos dependen más de la

mano de obra que en los países de ingresos altos, donde las instalaciones de compostaje y de DA tienden a estar más automatizadas; la actividad de eliminación manual de contaminantes (de gran tamaño) de los residuos orgánicos debe abordarse con cuidado, equipando a los trabajadores con todo el equipo de protección personal necesario para evitar lesiones y problemas de salud.

- El **costo de la eliminación de los rechazos del proceso de reciclado orgánico**; las instalaciones que se enfrentan a elevados costos de tratamiento por incineración o disposición final, se comprometen a minimizar la cantidad de materiales rechazados, optimizando el rendimiento del proceso y apoyándose fuertemente en estrategias de gestión (es decir, ascendiendo en la jerarquía de contaminación explicada en la Sección 3.1).

En la Tabla 6 y la Tabla 7 se enumeran ejemplos y aplicaciones del pretratamiento común de separación y técnicas específicas.

En las Tablas 6 y 7 se enumeran ejemplos y aplicaciones de pretratamiento común de separación y técnicas específicas. Varias técnicas para eliminar contaminantes de los desechos de alimentos envasados se aplican después de triturar o triturar las materias primas de entrada.

Tabla 6: Aplicabilidad de las técnicas de pretratamiento y eliminación a diferentes residuos orgánicos

Técnica de eliminación	Residuos verdes	Residuos de alimentos	Residuos de alimentos envasados	Compost	Digestato
Manual (recolección manual)	✓				
Proyección	✓	✓		✓	
Separador de tornillo		✓	✓		
Separador centrífugo		✓	✓		✓
Flotación/sedimentación		✓	✓		
Solubilización (disolución)		✓			
Separación magnética	✓			✓	
Separador de aire (tamiz eólico)				✓	
Separador de densidad				✓	



Table 7: Types of separation techniques

Técnica de eliminación	Tipo de residuo orgánico	Propiedades físicas de los residuos orgánicos	Etapas de separación en el proceso de reciclado	
Manual (recolección manual)	Residuos verdes	Sólidos	Entrada	
Proyección	Residuos de alimentos Residuos verdes	Sólidos	Entrada	
Proyección	Compost	Sólidos	Salida	
Trituración o desmenuzamiento (conminución) como tratamiento previo antes de la eliminación	Residuos de alimentos envasados	Semisólido Líquido	Entrada	
Separador de tornillo	Residuos de alimentos (sin evases)	Semisólido Líquido	Entrada	
Separador centrífugo	Residuos de alimentos (sin evases)	Semisólido Líquido	Entrada	
Separador centrífugo	Digestado	Líquido	Salida	
Flotación/sedimentación	Residuos de alimentos (sin evases)	Líquido	Entrada	
Separación magnética	Compost	Sólido	Salida	
Separación magnética	Compost	Sólido	Salida	
Separador de aire (tamiz eólico)	Compost	Sólido	Salida	
Separador de densidad	Compost	Sólido	Salida	

	Principios de separación	Ventajas	Desventajas
	Identificación visual por los operarios Eliminación manual	Eliminación de contaminantes físicos grandes	Mano de obra intensiva Rendimientos limitados Problemas de seguridad y salud
	Separación de contaminantes mayores que un tamaño mínimo (por ejemplo, 80 mm)	Eliminación de contaminantes físicos grandes	Pérdida de residuos orgánicos, especialmente residuos voluminosos de madera Escasa eficacia de separación cuando el contenido de humedad es elevado
	Separación de productos de tamaño inferior a un tamaño máximo (por ejemplo, 10 mm)	Permite la recirculación del material estructurante	Poca/ninguna separación de fragmentos pequeños Recircula plásticos con material estructurante
	Reducción del tamaño medio de los residuos orgánicos (por ejemplo, 100 mm)	Libera los residuos de alimentos de películas y envases de plástico	Fragmentación de plásticos Pérdida de la estructura a granel de los residuos orgánicos Pérdida parcial del producto
	Se separa una fracción sólida de un lodo pastoso	Eficaz para eliminar la película plástica	Fragmentación de plásticos Pérdida de la estructura volumétrica de los residuos orgánicos
	Separación de contaminantes flotantes (películas de plástico) y sedimentación de piedras y vidrio	Los contaminantes plásticos se eliminan por separado de los materiales de alta densidad como piedras y vidrio Puede solubilizar parcialmente los recipientes de plástico compostables.	Necesita un ajuste de humedad antes del tratamiento
	Separación de una fracción líquida (digestato líquido) de una fracción sólida	Contaminantes eliminados parcialmente del digestato líquido	Los contaminantes se concentran en el digestato sólido
	Separación de contaminantes flotantes (películas de plástico) y sedimentación de piedras y vidrio	Los contaminantes plásticos se eliminan por separado de los materiales de alta densidad, como piedras y vidrio. Puede solubilizar parcialmente las bolsas de plástico compostables. Los residuos orgánicos pretratados pueden gestionarse por tuberías	Funciona mejor con residuos líquidos/semisólidos, por lo que se limita a procesos de DA húmeda
	Atracción magnética de metales	Elimina los contaminantes ferrosos	Incapaz de eliminar aluminio, cobre y otros metales
	Corrientes de Foucault inducidas en aluminio.	Elimina los contaminantes en aluminio	Incapaz de eliminar otros metales
	Aspiración de contaminantes con densidad inferior al compost	Elimina la película de plástico de densidad leve Mejora la calidad del material estructurante recirculado	Partial loss of product Requires low moisture content
	Eliminación balística de contaminantes con densidad superior al compost	Elimina contaminantes de alta densidad (piedras, vidrio)	Requiere bajo contenido de humedad



5.2 Contaminantes químicos

Aparte de las medidas preventivas y del tratamiento de las fuentes puntuales de contaminantes químicos, como las pilas y los envases de pesticidas, las opciones prácticas disponibles para la eliminación de contaminantes químicos son limitadas.

Sin embargo, tanto el compostaje como la digestión anaeróbica son procesos biológicos en los que está presente una amplia gama de microorganismos. Estos microorganismos son capaces de reducir los niveles de determinadas sustancias químicas o incluso eliminarlas por completo.

Productos químicos orgánicos

El compostaje puede descomponer eficazmente muchos compuestos orgánicos, aunque algunos contaminantes químicos pueden no degradarse completamente o requerir condiciones específicas para su degradación. La descomposición de los contaminantes químicos durante el compostaje puede variar dependiendo de factores como la temperatura, los niveles de humedad, el método de compostaje y los contaminantes específicos implicados. Algunos ejemplos son:

- **Pesticidas y herbicidas:** Algunos pesticidas y herbicidas pueden sufrir degradación durante el compostaje. El grado de descomposición depende de los compuestos específicos y de sus propiedades químicas. Algunos pesticidas orgánicos derivados de fuentes naturales pueden descomponerse más fácilmente que los pesticidas sintéticos. La clopiralida y la aminopiralida son dos ejemplos de herbicidas resistentes a la biodegradación (véase el Recuadro 15).
- **Hidrocarburos derivados del petróleo:** El compostaje puede facilitar la degradación de determinados hidrocarburos derivados del petróleo, como combustibles o aceites, especialmente si la pila de compost se gestiona activamente y se remueve con regularidad. Los microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje pueden contribuir a la descomposición de estos compuestos.
- **Contaminantes de los residuos de alimentos:** Los residuos de alimentos pueden contener contaminantes como determinados metales pesados, aditivos de alimentos o SPFA procedentes de los envases (véase el recuadro 3). Aunque algunos de estos contaminantes pueden degradarse o transformarse durante el compostaje, otros pueden persistir (por ejemplo, los SPFA).

- **Productos farmacéuticos:** Incluyen hormonas (por ejemplo, estrógenos) y agentes antimicrobianos (por ejemplo, antibióticos) y pueden estar presentes en el estiércol animal y los lodos de depuradora (biosólidos). Se ha demostrado que el compostaje reduce la concentración de diferentes antibióticos y hormonas, aunque es difícil sacar conclusiones generales debido a las diferentes prácticas clínicas en los distintos países⁷.

Dado que la digestión anaeróbica se produce en ausencia de oxígeno, la biodegradación mediada por microbios se produce de forma diferente a la de los sistemas de compostaje. Los contaminantes específicos que se descomponen durante la digestión anaeróbica dependen de varios factores, como la composición de la materia prima y las condiciones de funcionamiento. Algunos ejemplos son:

- **Hidrocarburos aromáticos:** Algunos compuestos aromáticos⁸, como el benceno, el tolueno, el etilbenceno y los xilenos (BTEX), pueden degradarse en condiciones anaeróbicas, aunque el grado de degradación puede variar.
- **Compuestos clorados simples:** Algunos compuestos clorados, como el cloroformo y el tetracloruro de carbono, pueden sufrir una degradación parcial durante la digestión anaeróbica. Sin embargo, los compuestos clorados más complejos tienden a ser resistentes a la degradación.

Es importante señalar que la descomposición de los contaminantes químicos durante la digestión anaeróbica puede verse influida por factores como la temperatura, el pH, el tiempo de retención y la composición de la comunidad microbiana. Además, no todos los contaminantes se degradan eficazmente en los digestores anaerobios, y algunos pueden requerir un tratamiento posterior (por ejemplo, compostaje) para garantizar su eliminación.

Productos químicos inorgánicos

La concentración y distribución de metales pesados, como el plomo y el mercurio, pueden cambiar durante los procesos de compostaje y digestión anaeróbica (DA). A medida que los residuos se mezclan y se mueven, los metales pesados concentrados pueden diluirse y dispersarse, lo que reduce los niveles globales en el compost o digestato final. Sin embargo, es importante señalar que no se recomienda confiar únicamente en este proceso para mitigar los residuos contaminados en lugar de en los métodos de reducción en origen.

Durante el compostaje, algunos metales pesados, como el mercurio, pueden volatilizarse en determinadas condiciones. Cuando se exponen a altas temperaturas, estos metales pesados volátiles pueden convertirse en una forma gaseosa y escapar a la atmósfera. Sin embargo, no todos los metales pesados presentan este comportamiento, y su potencial de volatilización varía.

Los materiales de compostaje contienen materia orgánica, como ácidos húmicos y fúlvicos, que tienen la capacidad de unirse o formar complejos con metales pesados. Este proceso, conocido como adsorción o complejación, puede inmovilizar ciertos metales pesados, reduciendo su movilidad y disponibilidad para los organismos vivos.

La lixiviación se refiere al movimiento del agua a través de la pila de compost, arrastrando las sustancias disueltas, incluidos los metales pesados, fuera del compost. El grado de lixiviación depende de factores como el método de compostaje, el contenido de humedad y la porosidad de la pila de compost.

En los digestores anaerobios, el destino de los metales pesados depende del tipo de sistema, si se trata de un proceso húmedo o seco. En las plantas de digestión anaerobia húmeda, algunos metales pesados pueden disolverse en la fase líquida del

digestor. Es más probable que esto ocurra con los metales que son solubles en agua o que tienen una gran afinidad por la materia orgánica.

Algunos metales pesados también pueden unirse a partículas sólidas, como materia orgánica o biomasa microbiana, presentes en el digestor, reduciendo su concentración en la fase líquida. Además, algunos microorganismos que intervienen en la digestión anaeróbica pueden acumular metales pesados en mayor o menor medida, incorporándolos a su biomasa y eliminándolos de la fase líquida.

Al igual que ocurre con el compostaje, durante la digestión anaeróbica algunos metales pesados, como el mercurio, pueden volatilizarse y pasar a la fase gaseosa. El destino de estos metales pesados volátiles depende de los procesos posteriores de tratamiento de los gases.



⁷ El tipo y la concentración de productos farmacéuticos en los residuos orgánicos reflejan la autorización médica/veterinaria de medicamentos y la práctica clínica en los distintos países. Dado que esto puede variar significativamente en las distintas partes del mundo, en esta publicación sólo se pueden extraer conclusiones genéricas.

⁸ Un compuesto aromático es un tipo de compuesto orgánico que contiene un anillo de átomos con enlaces simples y dobles alternados. Estos compuestos presentan un alto grado de estabilidad y suelen tener olores o aromas distintivos, de ahí que hayan adquirido el nombre de "aromáticos." El ejemplo más común de compuesto aromático es el benceno, que consiste en un anillo de seis átomos de carbono con enlaces simples y dobles alternados



5.3 Contaminantes biológicos

Los contaminantes biológicos son intrínsecos a las plantas o animales que posteriormente se convierten en residuos orgánicos (por ejemplo, toxinas vegetales, semillas de malezas y propágulos de malezas) o pueden ser introducidos por organismos que viven en, sobre o cerca de ellos (por ejemplo, roedores que dejan sus heces portando microorganismos patógenos, o insectos que ponen sus huevos y posteriormente pueden eclosionar).

Además, la supervivencia de organismos modificados genéticamente (OMG) y de microorganismos portadores de genes de resistencia antimicrobiana (RAM) son preocupaciones más recientes.

Al ser de origen biológico, estos contaminantes son generalmente inactivados, destruidos o descompuestos a través de una serie de mecanismos diferentes causados por:

- **Altas temperaturas:** esto hace que las proteínas se “desnaturalicen” y pierdan sus propiedades funcionales y es la razón por la que cocinamos los alimentos (piense en una clara de huevo que pasa de ser un gel incoloro a un sólido blanco). Esta desnaturalización se produce a microescala en la mayoría de las células expuestas al compostaje termófilo.
- **Cambios en el pH:** las pilas de compostaje suelen volverse ácidas (~ pH 5) al principio, especialmente si hay residuos de alimentos, debido a la liberación de ácidos orgánicos causada por el metabolismo microbiano. A medida que estos ácidos son consumidos por los microbios del compostaje y comienza a liberarse amoníaco, el pH se vuelve alcalino (> pH 8) y puede permanecer así durante largos periodos de tiempo.

Por el contrario, el pH en los digestores anaerobios se mantiene generalmente cercano a la neutralidad (pH 7) para mantener una población microbiana estable de bacterias anaerobias.

- **Competencia/depredación microbiana:** los microbios que han evolucionado para vivir en ecosistemas específicos (por ejemplo, los intestinos de los mamíferos) a menudo son incapaces de sobrevivir durante periodos de tiempo significativos en los entornos hostiles de los sistemas de compostaje y digestión anaeróbica. Esto se debe en parte a que compiten con otros

microbios mejor adaptados para vivir y obtener los nutrientes que necesitan, o a la depredación.

- **Sustancias extracelulares:** algunos microbios implicados en el compostaje (por ejemplo, el grupo de bacterias denominado actinomicetos) pueden segregar sustancias antimicrobianas que les proporcionan una ventaja competitiva frente a los microbios vecinos. Por tanto, estas sustancias matan a los microbios susceptibles.
- **Niveles de oxígeno:** el entorno anaeróbico de los sistemas de DA puede ser suficiente para acabar con los microbios que necesitan oxígeno para sobrevivir y crecer. Por el contrario, en una pila de compostaje, los niveles de oxígeno pueden variar tanto temporal (con el tiempo) como espacialmente (con la distancia), lo que puede estresar a los microbios que necesitan niveles estables de oxígeno.

Por sí solos, con la posible excepción de las altas temperaturas, cada uno de los factores anteriores sería insuficiente para eliminar o inactivar un contaminante biológico. Sin embargo, colectivamente crean un entorno hostil para los organismos vivos y las plantas que no han evolucionado para sobrevivir a los procesos de compostaje o digestión anaeróbica.

Patógenos

La eliminación de patógenos (humanos, animales y vegetales) se denomina “higienización” y es un requisito para el tratamiento de residuos orgánicos en diversos países y regiones, donde tiempos mínimos de temperatura deben ser alcanzados. Estos se han basado en estudios de especies patógenas indicadoras, con técnicas de evaluación de riesgos utilizadas para identificar niveles de reducción aceptables. Algunos de estos requisitos de tiempo-temperatura se enumeran en la Tabla 8 y ejemplos de legislación regional específica para el compost se enumeran en la Tabla 5.

Tabla 8: Ejemplos de perfiles tiempo-temperatura para distintos tipos de tratamiento de residuos orgánicos

Proceso	Temperatura mínima	Tiempo mínimo	Requisitos adicionales
PROCESOS ESTADOUNIDENSES PARA REDUCIR AÚN MÁS LOS AGENTES PATÓGENOS			
Compostaje en pilas de biosólidos (lodos de depuradora)	55 °C	15 días	Un mínimo de 5 vueltas
Compostaje en contenedores de biosólidos (lodos de depuradora)	65 °C	3 días	--
REGLAMENTO EUROPEO SOBRE PRODUCTOS FERTILIZANTES			
Compostaje	55 °C	14 días	--
	60 °C	7 días	--
	65 °C	5 días	--
	70 °C	3 días	--
Digestión anaeróbica (mesofílica)	37-40 °C	--	Incluido de un proceso de pasteurización (70 °C durante 1 hora)
		--	Seguido de compostaje a ≥ 55 °C durante ≥ 14 días.
		--	Seguido de compostaje a ≥ 60 °C durante ≥ 7 días.
		--	Seguido de compostaje a ≥ 65 °C durante ≥ 5 días.
		--	Seguido de compostaje a ≥ 70 °C durante ≥ 3 días.
Digestión anaeróbica (termófila)	55 °C	24 horas	Seguido de un tiempo de retención hidráulica de ≥ 20 días.
		--	Incluido de un proceso de pasteurización (70 °C durante 1 hora)
		--	Seguido de compostaje a ≥ 55 °C durante ≥ 14 días.
		--	Seguido de compostaje a ≥ 60 °C durante ≥ 7 días.
		--	Seguido de compostaje a ≥ 65 °C durante ≥ 5 días.
		--	Seguido de compostaje a ≥ 70 °C durante ≥ 3 días.
SISTEMA EUROPEO DE GARANTÍA DE CALIDAD DE LA RED DE COMPOST			
Compostaje en pilas a cielo abierto	55 °C	10 días	Se recomienda girar/mezclar el material
	65 °C	3 días	
Compostaje cerrado	60 °C	3 días	

Debido a la preocupación por la transmisión de patógenos animales y proteínas priónicas⁹, tanto la Unión Europea como Australia imponen restricciones a la eliminación y el tratamiento de los subproductos animales (Unión Europea, 2009). En la UE, el cerebro y las columnas vertebrales del ganado vacuno, ovino y caprino deben incinerarse, por lo que no se permite su

compostaje ni su digestión anaeróbica. Los residuos de alimentos (denominados residuos de cocina en el Reglamento) pueden tratarse biológicamente según la norma europea (70 °C durante 1 hora con una granulometría máxima de 12 mm) o según las normas nacionales. Se puede encontrar más información en (European Compost Network, 2017).

⁹ Se trata de agentes infecciosos formados principalmente por proteínas mal plegadas. Son responsables de causar un grupo de enfermedades neurodegenerativas conocidas como encefalopatías espongiformes transmisibles (EET). Estas enfermedades afectan al cerebro y al sistema nervioso, provocando síntomas neurológicos graves y a menudo mortales. En los animales, las enfermedades priónicas más conocidas son la encefalopatía espongiforme bovina (EEB) en las vacas (a menudo denominada "enfermedad de las vacas locas") y la tembladera en las ovejas





Semillas y propágulos de maleza

En general, las malezas son conocidas por su capacidad para adaptarse y sobrevivir en entornos diversos y difíciles. La evolución de especies de malezas capaces de soportar altas temperaturas significa que, por desgracia, algunas son capaces de sobrevivir al proceso de compostaje, especialmente si no se alcanzan temperaturas termófilas.

Algunas especies de malezas han desarrollado semillas con cubiertas protectoras, como cubiertas de semillas duras o estructuras especializadas, que proporcionan resistencia contra el calor y otras condiciones duras. Estas adaptaciones permiten que las semillas de las malezas permanezcan latentes hasta que se den las condiciones favorables, como temperaturas más bajas, humedad o disponibilidad de nutrientes. Además, algunas malezas, como la correhuela y el cardo, tienen estructuras subterráneas como rizomas y tubérculos que pueden soportar el calor del compostaje.

Aunque los tipos de malezas que se presentan en los residuos verdes/de jardín dependen del entorno local, las buenas prácticas de gestión del lugar, especialmente en las instalaciones de compostaje, deberían minimizar sus posibilidades de supervivencia. Normalmente se considera que los perfiles de temperatura-tiempo indicados en la sección anterior son suficientes para garantizar su erradicación. Sin embargo, hay que tener cuidado durante la maduración y el almacenamiento del compost/digestato para evitar la recolonización por semillas transportadas por el viento. Los operadores también deben tener cuidado con las especies de plantas exóticas, cuya distribución puede ser ilegal.

Genes de resistencia antimicrobiana

El uso generalizado de agentes antimicrobianos (es decir, antibióticos dirigidos contra bacterias y antifúngicos dirigidos contra hongos) en la práctica

clínica humana/veterinaria y en la agricultura/horticultura ha conducido al desarrollo de cepas resistentes de patógenos (tanto bacterianos como fúngicos). Esto significa que los agentes antimicrobianos ya no son efectivos para eliminarlos y su proliferación tiene ahora una mayor relevancia. Ciertos flujos de residuos orgánicos son más propensos a albergar microorganismos resistentes, como el estiércol animal y los lodos de depuradora (biosólidos), tal y como se indica en el apartado 5.2. Los genes que confieren resistencia pueden transmitirse a la descendencia o a otros microbios, incluidos los de especies diferentes.

Existen pruebas de que el compostaje puede reducir los genes de resistencia antimicrobiana (RAM) (Esperón et al., 2020); sin embargo, la eficacia de la digestión anaeróbica parece ser variable y depender de las técnicas de tratamiento utilizadas (Congilosi y Aga, 2021). Se ha comprobado que el compostaje posterior del digestato es eficaz para reducir las RAM en el digestato Anaeróbico (Congilosi y Aga, 2021; Gurmessa et al., 2021). Dado que se trata de un área de preocupación emergente, se necesita más investigación para comprender mejor los riesgos asociados a las RAM y las técnicas de gestión de procesos que mejorarán su destrucción.

Organismos modificados genéticamente

Un organismo modificado genéticamente (OMG) es un organismo cuyo material genético ha sido alterado mediante técnicas de ingeniería genética. Estas técnicas implican la manipulación del ADN de un organismo, normalmente mediante la introducción de genes de otro organismo, para dotarlo de rasgos o características específicas. Se ha utilizado para modificar cultivos con el fin de proporcionar resistencia a plagas, enfermedades o condiciones ambientales, o genes que aumentan el contenido nutricional o mejoran el rendimiento de los cultivos. La normativa y la aceptación de los OMG varían alrededor del mundo. Los distintos países tienen planteamientos y políticas diferentes en materia de cultivo, importación y etiquetado de OMG.

Dado que los OMG contienen genes “extraños”, algunos mercados de compost (especialmente los agricultores y productores ecológicos) han expresado su preocupación por la posibilidad de que este ADN sobreviva al proceso de compostaje y se transfiera posteriormente a los microorganismos del suelo. La investigación llevada a cabo en el Reino Unido para comprobar si el ADN extraño podía sobrevivir al proceso de compostaje (Schwarz-Linek et al., 2007), sugirió que no podía detectarse tras el compostaje en recipiente durante más de dos días a temperaturas superiores a 65 °C. Una vez más, esto pone de relieve la importancia de mantener perfiles adecuados de tiempo-temperatura.

Toxinas vegetales

Las toxinas vegetales, también conocidas como metabolitos secundarios de las plantas o compuestos de defensa de las plantas, son sustancias químicas producidas por las plantas que son tóxicas o dañinas para otros organismos. Estas toxinas sirven como mecanismo de defensa de las plantas frente a herbívoros, patógenos y plantas competidoras. Desempeñan un papel crucial en la supervivencia y protección de las plantas.

Las plantas producen una gran variedad de toxinas con estructuras y propiedades químicas diversas. Algunos tipos comunes de toxinas vegetales son los alcaloides, glucósidos, terpenoides, fenólicos y

lectinas. Estas toxinas pueden encontrarse en diversas partes de las plantas, como hojas, tallos, raíces, flores y frutos.

La producción de toxinas vegetales es una adaptación evolutiva que permite a las plantas disuadir a los herbívoros de consumirlas. En consecuencia, algunos agricultores que explotan sistemas agrícolas mixtos han expresado su preocupación por la posibilidad de que el compost perjudique a su ganado de pastoreo. En una investigación realizada en el Reino Unido se analizó el destino de cuatro toxinas vegetales durante el compostaje, que se resumen en la Tabla 9

Table 9: Fate of plant toxins during open air windrow composting of garden waste

Toxina	Planta	Tiempo necesario para que la concentración descienda por debajo del límite de detección	Referencia
Taxoides (taxinas A y B)	Tejo (<i>Taxus baccata</i>)	65 días	(Michie, Litterick y Crews, 2010)
Coniine	Cicuta (<i>Conium maculatum</i>)	Degradación no acelerada por el compostaje	
Coniceine	Cicuta (<i>Conium maculatum</i>)	35 días	
Grayanotoxinas	<i>Rhododendron ponticum</i>	63 días	(Michie, 2009)

5.4 Ejemplos prácticos

Algunas de las formas en que se eliminan y gestionan los contaminantes en las instalaciones de reciclaje orgánico se detallan en el Apéndice. Los ejemplos incluyen tanto instalaciones de compostaje como de de digestión anaeróbica que tratan residuos orgánicos recogidos por separado.

Aunque la gama de residuos orgánicos aceptados en cada instalación varía, se incluyen principalmente los residuos orgánicos recogidos en los domicilios y los residuos verdes procedentes de jardines privados y zonas verdes municipales.



6 Conclusiones

Esta guía ha proporcionado información general sobre los diferentes tipos de contaminantes que pueden ingresar a los flujos de desechos orgánicos destinados al reciclaje, sus impactos potenciales y las formas en que se pueden prevenir o eliminar.

Los plásticos constituyen la mayor parte de los contaminantes físicos que se encuentran en los residuos orgánicos. La eliminación de estos plásticos durante el proceso de tratamiento plantea importantes retos técnicos porque se adhieren a la fracción orgánica húmeda. Como resultado, esta adherencia tiene un impacto significativo en el proceso, determinando la rentabilidad y la calidad de los productos finales, como el compost o el digestato. Por ejemplo, el costo de remoción de los contaminantes por tonelada es de 2 a 4 veces superior a la tasa de recepción de residuos orgánicos impuesta por muchas instalaciones de tratamiento de la UE.

Para abordar estas cuestiones, este informe propone una jerarquía de contaminación, que sugiere que debe darse prioridad a la prevención de los contaminantes, que se recolectan con los residuos orgánicos. Esto puede lograrse a través de campañas de sensibilización dirigidas a los generadores de residuos y mediante la aplicación de prohibiciones sobre determinados tipos de artículos de plástico, como las etiquetas autoadhesivas de frutas.

Cuando la prevención no es posible, la eliminación de contaminantes al inicio de un proceso de reciclaje es generalmente preferible a la eliminación al final del proceso. Sin embargo, esto puede resultar en pérdidas de residuos orgánicos debido a la co-eliminación junto con el contaminante (el llamado “efecto de arrastre”), así como a la fragmentación del contaminante, lo que resulta en piezas más pequeñas que posteriormente se vuelven más difíciles de eliminar. Por otro lado, dejar contaminantes en el proceso puede causar dificultades operativas, preocupaciones por parte de los reguladores y desintegración del plástico debido a la exposición a altas temperaturas, lo que lleva a una mayor fragmentación. Por tanto, los operadores deben encontrar un equilibrio imperfecto.

Dado que la base de las técnicas de eliminación de contaminantes se ha desarrollado para otros sectores, como los minerales y la minería, existe una necesidad urgente de mejorar los equipos y desarrollar nuevas técnicas centradas específicamente en el sector del reciclaje de residuos orgánicos, teniendo en cuenta los altos niveles de humedad de los residuos.

Por lo tanto, el Grupo de Trabajo de ISWA sobre Tratamiento Biológico de Residuos pide más investigación y desarrollo para mejorar los métodos y eficiencias de eliminación de contaminantes no residuos orgánicos, el compost y el digestato anaeróbico.

Las mejoras y la innovación son esenciales, no sólo para mejorar la eficiencia operativa, sino también para evitar que los contaminantes se acumulen en el suelo. El aumento mundial previsto en el reciclaje de residuos orgánicos necesario para reducir las emisiones fugitivas de metano, junto con el uso de compost y digestato para mejorar los suelos cultivables y reciclar los nutrientes de las plantas, pone de relieve la urgencia de la tarea que tenemos entre manos. Por lo tanto:

- **ISWA insta a los fabricantes que venden equipos a la industria del tratamiento de productos orgánicos a invertir en investigación y desarrollo para mejorar las técnicas de eliminación de contaminantes**, minimizando al mismo tiempo la pérdida concomitante de materia orgánica (el “efecto arrastre”). En particular, el informe recomienda estudiar las propiedades del agua que hacen especialmente difícil la eliminación de algunos contaminantes (por ejemplo, películas plásticas).
- **ISWA pide a los gestores de plantas de compostaje y digestión anaeróbica que den prioridad a maximizar la calidad de sus productos finales.** Esto implica establecer acuerdos con las autoridades locales/municipios y los transportistas de residuos que incluyan penalidades económicas para los lotes de residuos orgánicos que no cumplan las normas de calidad aceptables y superen los valores límites establecidos para los contaminantes físicos.

- **ISWA también anima a las empresas municipales de recolección de residuos sólidos y a los transportistas de residuos** a inspeccionar rutinariamente las cargas y comunicar los problemas de contaminación a los productores de desechos individuales. Este enfoque garantiza un proceso orientado a la calidad, desde el punto de producción hasta la instalación de tratamiento.
- **ISWA hace un llamamiento a los responsables locales y a los gestores urbanos** para que inviertan en campañas de información periódicas destinadas a sensibilizar a los ciudadanos sobre la importancia de maximizar la calidad de los residuos orgánicos para el reciclaje.

La economía circular de los residuos orgánicos comienza con los suelos responsables de producir los productos agrícolas que sustentan nuestras ciudades. Culmina cuando esos mismos suelos se convierten en los destinatarios finales de compost o digestato de alta calidad elaborado a partir de residuos orgánicos. Para garantizar la máxima eficacia, es esencial minimizar la contaminación, optimizar la calidad del producto y mejorar la eficiencia y la viabilidad económica de los procesos de tratamiento de residuos orgánicos.



La economía circular de los residuos orgánicos comienza con los suelos responsables de producir bienes agrícolas que sostener nuestras ciudades.



7 Referencias

Agencia de Residuos de Cataluña.

2018. Guía y experiencias de referencia para la implantación de la recolección selectiva de residuos municipales. Edición BIBLIOTECA DE CATALUNYA. 628.463

Brandes, E., Henseler, M. & Kreins, P.

2019. Mikroplastik in Böden. Presentación en 2019,

Bundesumweltministeriums.

2012. Bioabfallverordnung und Hinweise zum Vollzug der novellierten Bioabfallverordnung (2012)- BMUV - Gesetze und Verordnungen. En: bmu.de. Citado el 14 de julio de 2023. <https://www.bmu.de/GE112>

Caimi, V., Ricci-Jürgensen, M. & Favoino, E.

2006. Analisi delle performance di sacchi in carta riciclata, MaterBi e PE per il conferimento dell'umido domestico. Scuola Agraria del Parco di Monza.

CEN.

2000. EN 13432:2000 Envases. Requisitos de los envases valorizables mediante compostaje y biodegradación. Esquema de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final de los envases. CEN. <https://www.en-standard.eu/bs-en-13432-2000-packaging-requirements-for-packaging-recoverable-through-composting-and-biodegradation-test-scheme-and-evaluation-criteria-for-the-final-acceptance-of-packaging/>

CIC.

2017. Datos para el sector del reciclaje de residuos orgánicos. Roma, Consorzio Italiano Compostatori.

CIC.

2019. Informe sobre la Investigación Nacional de Plásticos y Bioplásticos. Asociación italiana de compostaje y biogás.

CIC & UNI.

2021. Metodo di prova per la determinazione della qualità del rifiuto organico da recuperare attraverso i processi di digestione anaerobica e compostaggio.

Congilosi, J.L. & Aga, D.S.

2021. Review on the fate of antimicrobials, antimicrobial resistance genes, and other micropollutants in manure during enhanced anaerobic digestion and composting. Journal of

Hazardous Materials, 405: 123634. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123634>

DGSA.

Requisitos Técnicos para el Registro de Enmiendas Orgánicas, Resolución N° 141/018, 2018.

REC.

2019. Documento de posición sobre la aceptación de plásticos compostables. Documento de posición. Bochum, Alemania, Red Europea de Compostaje.

Esperón, F., Albero, B., Ugarte-Ruiz, M., Domínguez, L., Carballo, M., Tadeo, J.L., Del Mar Delgado, M., Moreno, M.Á. & De La Torre, A.

2020. Evaluación de los beneficios del compostaje de gallinaza en la reducción de residuos antimicrobianos, bacterias patógenas y genes de resistencia antimicrobiana: un estudio a escala de campo. Environmental Science and Pollution Research, 27(22): 27738-27749. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09097-1>

Red europea del compost.

2017. Good Practice Guide How to comply with the EU Animal By-Products Regulations at Composting and Anaerobic Digestion Plants. <https://www.compostnetwork.info/download/good-practice-guide-comply-eu-animal-products-regulations-composting-anaerobic-digestion-plants/>

Unión Europea.

REGLAMENTO (CE) N° 1069/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 21 de octubre de 2009 por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento (CE) n° 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales), 2009.

Unión Europea.

Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen normas relativas a la comercialización de productos fertilizantes de la UE y se modifican los Reglamentos (CE) n° 1069/2009 y (CE) n° 1107/2009 y se deroga el Reglamento (CE) n° 2003/2003, 2019.

Gröll, K., Kern, M., Turk, T. y Werner, J.

2015. Praxisversuch mit kompostierbaren Biobeuteln. Optimierung der Erfassung von Küchen- und Nahrungsabfällen in der Stadt Vellmar, Landkreis Kassel. Müll und Abfall, 06.

Gurmessia, B., Milanovic, V., Foppa Pedretti, E., Corti, G., Ashworth, A.J., Aquilanti, L., Ferrocino, I., Rita Corvaglia, M. & Cocco, S.

2021. Post-digestate composting shifts microbial composition and degrades antimicrobial resistance genes. *Bioresource Technology*, 340: 125662. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125662>

INFA.

2023. Automated Contaminant Detection and Rejection. Presentation at Circular Economy Days, 2023, Münster, Germany.

Kern, M., Siepenkothen, H.-J. & Turk, T.

2018. Collection and quality of kitchen based biowaste - Evaluation of sorting analyses. *Müll und Abfall*, 10.

Michie, D.

2009. *The influence of outdoor windrow composting on the concentration of grayanotoxins in rhododendron leaves*. Scottish Agricultural College.

Michie, D., Litterick, A. & Crews, C.

2010. *Fate of toxins in hemlock and yew during composting*. Waste and Resources Action Programme.

New York State.

Composting And Other Organics Recycling Facilities, 6 CRR-NY 361-3.2NY-CRR, undated.

Pinkerton, D.

2020. Managing PFAS Chemicals In Composting And Anaerobic Digestion. In: *BioCycle*. Cited 15 February 2023. <https://www.biocycle.net/managing-pfas-chemicals-composting-anaerobic-digestion/>

REA.

2020. *Estimated Costs of Managing Plastics Arriving at UK Organics Recycling Facilities and AD Operator Case Study*. <https://www.r-e-a.net/resources/estimated-costs-of-managing-plastics-at-uk-organics-recycling-facilities/>

Ricci, M. & Centemero, M.

2014. L'approccio del CIC per il miglioramento della qualità dello scarto organico: le analisi merceologiche. CIC Consorzio Italiano Compostatori.

Ricci-Juergensen, M. & Folli, G.

2016. *Erfahrungen mit der Einführung der Bioabfallerfassung und verwertung in Parma*. Kassler Abfallforum, Germany, Witzenhausen Institut, 2016.

Ricci-Jürgensen, M., Gilbert, J. & Ramola, A.

2020. *Global Assessment of Municipal Organic Waste Production and Recycling*. ISWA.

Rynk, R., Black, G., Gilbert, J., Biala, J., Bonhotal, J., Schwarz, M. & Cooperband, L., eds.

2022. *The Composting Handbook: a how-to and why manual for farm, municipal, institutional and commercial composters*. London San Diego Cambridge Oxford, ElsevierAcademic Press.

Schwarz-Linek, J., Gartland, J., Irvine, R., Gartland, K. & Collier, P.

2007. *Fate of Genetically Modified Microorganisms During Thermophilic Composting*. University of Abertay Dundee.

Sligo County Council, Cré - Composting & Anaerobic Digestion Association of Ireland, Climate Action and the Environment & Novamont.

2019. *National Brown Bin Awareness Pilot Scheme in Sligo City*

Standards Australia.

2012. Australian Standard for Soil Conditioners and Mulches (AS 4454-2012). Cited 14 July 2023. <https://store.standards.org.au/reader/as-4454-2012?preview=1>

Washington Organic Recycling Council.

2017. *Washington State Organics Contamination Reduction Workgroup. Report and Toolkit*. <https://www.compostwashington.org/ocrw>

Yesaya, M., Mpanang'ombe, W. & Tilley, E.

2021. The Cost of Plastics in Compost. *Frontiers in Sustainability*, 2: 753413. <https://doi.org/10.3389/frsus.2021.753413>



Apéndice - Casos prácticos

Las siguientes secciones demuestran la gestión práctica de la eliminación de contaminantes en las instalaciones de tratamiento de residuos orgánicos. Esbozan los pasos específicos en los que los contaminantes son eliminados o desviados del flujo principal del proceso.

Es importante tener en cuenta que los contaminantes suelen cuantificarse en base a la masa “húmeda”, lo que a menudo sobreestima las cantidades reales. Sería más exacto expresar estas cantidades en función de la masa “seca”. Además, la eliminación de contaminantes provoca un aumento de los materiales rechazados debido al “efecto arrastre”, que elimina inadvertidamente tanto los contaminantes como una parte de los residuos orgánicos del proceso de tratamiento.

Los siguientes ejemplos abarcan tres tipos diferentes de instalaciones de tratamiento: una planta de compostaje para residuos de alimentos y de jardinería, una instalación de producción de biogás por digestión anaeróbica seca y dos plantas que combinan tanto la digestión anaeróbica como el compostaje aplicando la digestión anaeróbica húmeda.

Los tipos de residuos orgánicos tratados en cada instalación varían significativamente. La planta de compostaje se ocupa principalmente de los residuos de alimentos, mientras que la gama de residuos tratados en las demás instalaciones es más amplia. Entre ellos se incluyen los biorresiduos, que son una combinación de residuos de alimentos y restos de jardinería que se recolectan en los hogares, así como residuos de alimentos envasados procedentes de fuentes comerciales como supermercados y restaurantes. Además, las instalaciones de biogás también procesan estiércol. Cabe señalar que los residuos de jardinería o verdes se incorporan a la materia prima de entrada de todas las instalaciones investigadas. Para cada instalación se ha preparado un breve diagrama en el que se estima la cantidad de contaminantes desviados en las distintas fases del proceso.

Pretratamiento de residuos de alimentos en una planta de compostaje

La instalación acepta residuos de alimentos recolectados por separado de los hogares y de los generadores de HoReCa; dado que algunos municipios los recolectan con este sistema, se aplica un proceso intensivo de pretratamiento para separar los plásticos convencionales de los residuos orgánicos sometidos a compostaje.

Las principales etapas del proceso se muestran a continuación y en la Figura A1.

1. Los residuos de alimentos se someten a un pretratamiento mediante un separador de tornillo que selecciona las bolsas de plástico y parte de la materia orgánica, que se envían a disposición final.
2. Los residuos de alimentos pretratados han perdido parcialmente su estructura granulométrica y, a continuación, se mezclan con un material

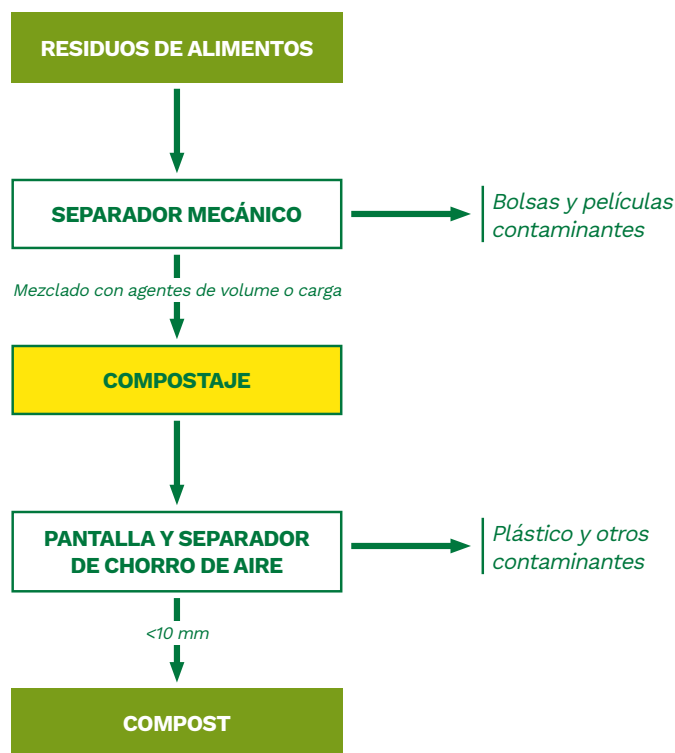
estructurante (residuos de jardín triturados y restos de poda) y se envían a una unidad de compostaje en contenedor durante aproximadamente ocho semanas.

3. A continuación, el compost fresco se tamiza a 10 mm para separar los plásticos y otros contaminantes, y el material estructurante se recircula.
4. La fracción fina (compost) se almacena durante aproximadamente un mes para su maduración final antes de venderse a los agricultores.

Según un análisis detallado de la composición de los residuos, aproximadamente el 97% de todos los contaminantes plásticos (polímeros convencionales) se separan del proceso.

Figura A1 - Esquema de eliminación de contaminantes en una planta de compostaje en Italia

Planta de Compostaje- IT - datos clave	
Entrada: Residuos de alimentos	32,000 toneladas/año
Contaminantes de entrada	1,184 toneladas/año
Eliminación de contaminantes (datos sobre plásticos) durante el pretratamiento	92%
Eliminación de contaminantes (datos sobre plásticos) tras el compostaje	5%



Fuente de datos: cortesía de Altereko sas y Biociclo
 Editado por M. Ricci & J. Gilbert; 2023



Pretratamiento de biorresiduos en una planta de digestión anaeróbica seca y compostaje

La instalación en Suecia acepta biorresiduos recolectados por separado en los domicilios (principalmente en bolsas de papel), residuos verdes, estiércol de caballo y residuos de alimentos envasados procedentes de actividades comerciales.

Las principales etapas del proceso se muestran a continuación y en la figura A3.

1. La materia prima de origen se somete a un tratamiento previo mediante una trituradora de rotación lenta para abrir las bolsas y limitar la fragmentación de las impurezas (plásticas). A continuación, los residuos orgánicos se tamizan mediante una criba de estrellas para separar todas las fracciones voluminosas y finas de más de 60 mm. Aproximadamente el 90% de los contaminantes metálicos se separan mediante un separador electromagnético y se envían a reciclar. Aproximadamente el 50% de todos los contaminantes se separan mediante el proceso de pretratamiento.
2. A continuación, los residuos orgánicos pretratados se envían al proceso de DA seco de flujo de tapón, para una descomposición anaeróbica de 2-3 semanas y la consiguiente producción de biogás.
3. Tras la producción de biogás, el digestato se deshidrata mediante una prensa de tornillo, produciendo un fertilizante líquido (utilizado en agricultura), del que una pequeña parte se reutiliza para la humidificación en el proceso de DA, y una fracción sólida, con las características de un compost crudo y que contiene la mayor parte de contaminantes.
4. A continuación, el digestato sólido se mezcla con material estructurante y se trata durante aproximadamente cuatro semanas en túneles de compostaje aireados.
5. A continuación, el compost se criba en tres fracciones diferentes y mediante chorro de aire se separan los plásticos y otros contaminantes del producto final. La fracción fina (compost) tiene un tamaño inferior a 15 mm.

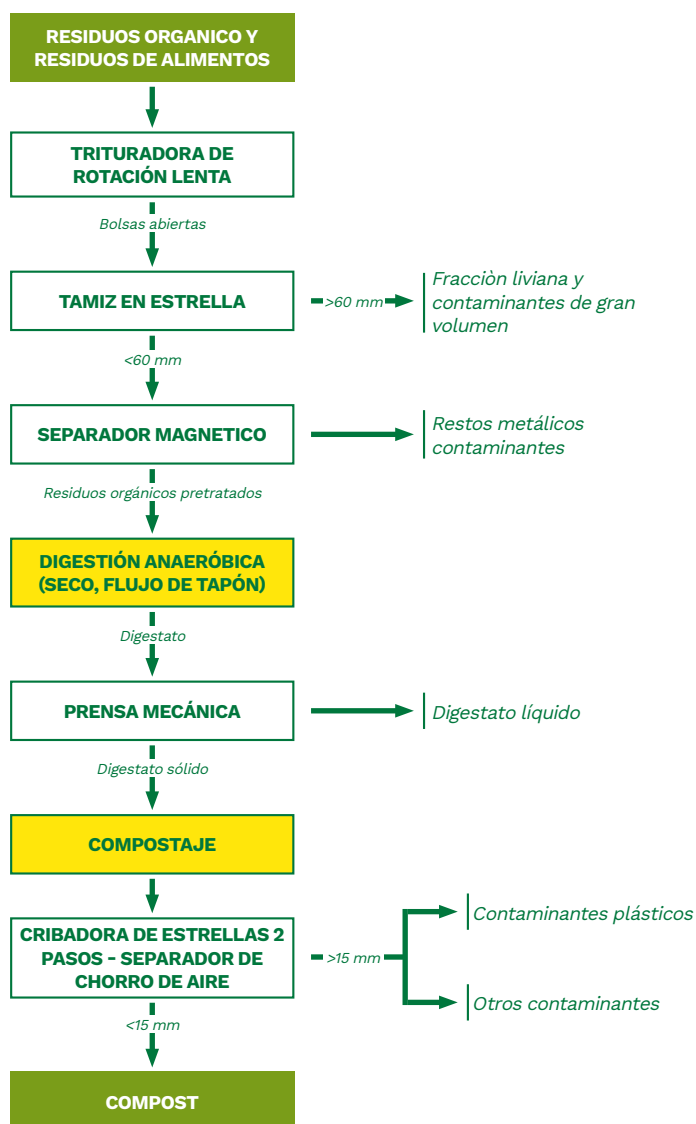
Figura A2: Contaminantes plásticos separados en las instalaciones de Suecia



Fuente: Hitachi-Zosen

Figura A3 - Esquema de eliminación de contaminantes en una planta de digestión anaeróbica seca en Suecia

Planta de Biogas – SE - datos clave	
Entrada: Residuos biológicos y de alimentos	67,700 toneladas/año
Contaminante en residuos de entrada	8,100 toneladas/año
Eliminación de contaminantes durante el pretratamiento	50%
Eliminación de contaminantes tras el compostaje	42%



Fuente de los data: cortesía de Hitachi Zosen, 2022

Ed itado por M. Ricci & J. Gilbert; 2023



Pretratamiento de residuos biológicos en una planta de digestión anaeróbica húmeda

La instalación en Italia acepta sobre todo residuos de alimentos recolectados por separado en los domicilios (principalmente en bolsas de plástico compostables), lodos y otros residuos orgánicos del sector de la transformación alimentaria, además de residuos verdes.

Figura A4: Ejemplo de residuos de alimentos recolectados con cantidades significativas de contaminantes



Fuente: M. Ricci

Los principales pasos del proceso se muestran en la Figura A5 y se comentan a continuación:

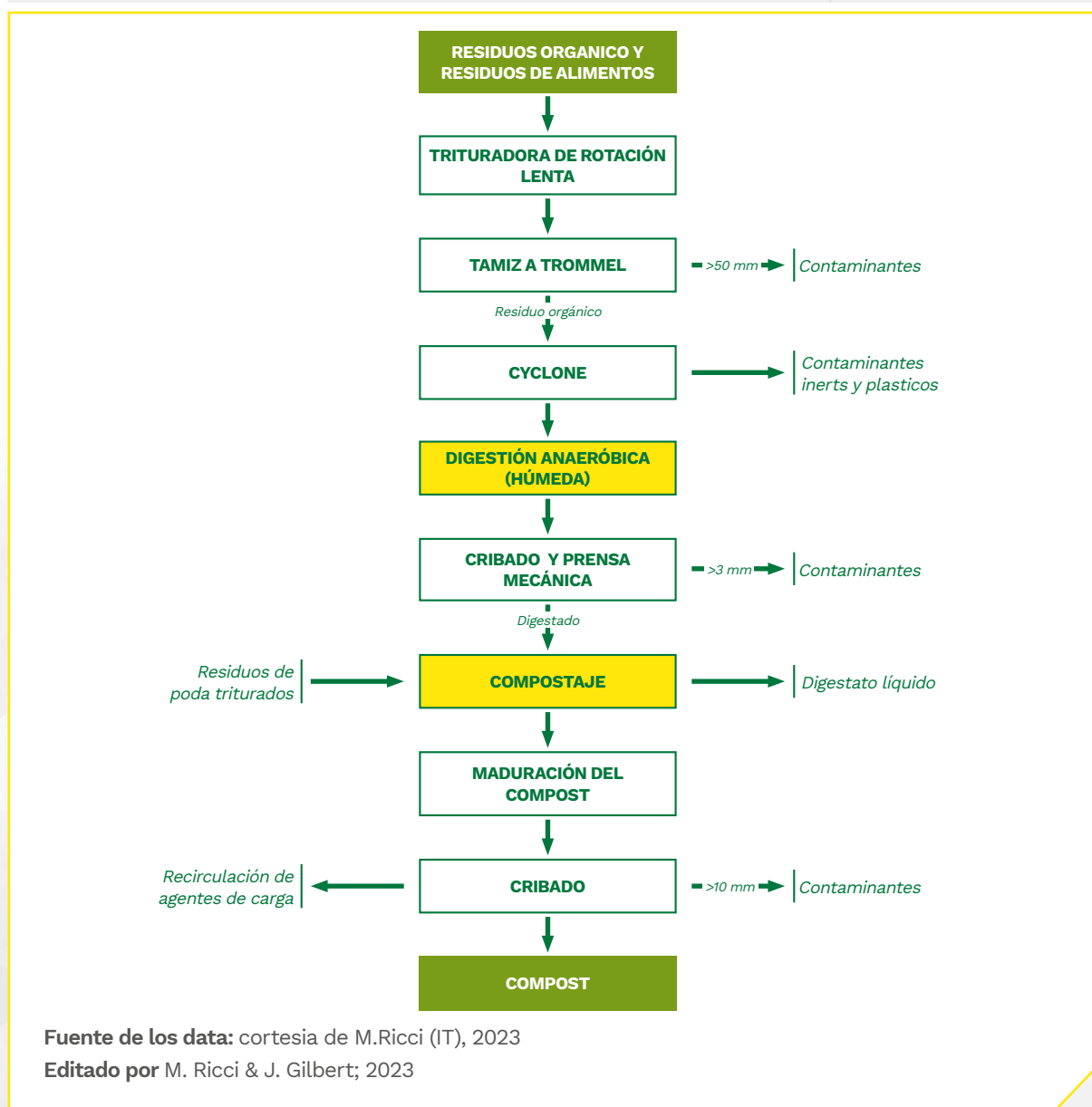
existen varios pasos para eliminar los contaminantes físicos durante el proceso integrado de DA y compostaje de residuos orgánicos, con el fin de maximizar el rendimiento del proceso y minimizar la contaminación del compost producido:

1. Los residuos de alimentos de entrada se someten a un tratamiento previo mediante una trituradora de rotación lenta seguida de un tamiz trómel para separar la fracción superior a 50 mm, que se envía a eliminación.
2. La fracción orgánica (por debajo del tamiz) se limpia de nuevo en un ciclón para eliminar los contaminantes inertes y plásticos; aproximadamente el 60% de todos los contaminantes se eliminan mediante este complejo proceso de pretratamiento.
3. A continuación, los residuos orgánicos pretratados se mezclan con agua caliente y se envían a un proceso de DA húmeda a 55°C.
4. Tras la producción de biogás, el digestato se tamiza y deshidrata mediante una prensa de tornillo, que también sirve para eliminar más contaminantes.
5. A continuación, el digestato sólido se mezcla con residuos verdes triturados con un bajo contenido de contaminantes no superior al 1% y los residuos orgánicos son compostados durante aproximadamente cuatro semanas en pilas aireadas. El compost fresco se sigue tratando aeróbicamente en pilas estáticas durante ocho semanas más.
6. El compost maduro se tamiza a 6-10 mm, para separar los contaminantes más finos del producto.

El biogás producido en la instalación se transforma en biometano, mientras que el compost final se produce de acuerdo con la etiqueta de calidad asignada por la Asociación Italiana de Compostaje y Biogás (CIC).

Figura A5 - Esquema de eliminación de contaminantes en una planta de digestión anaeróbica húmeda en Italia

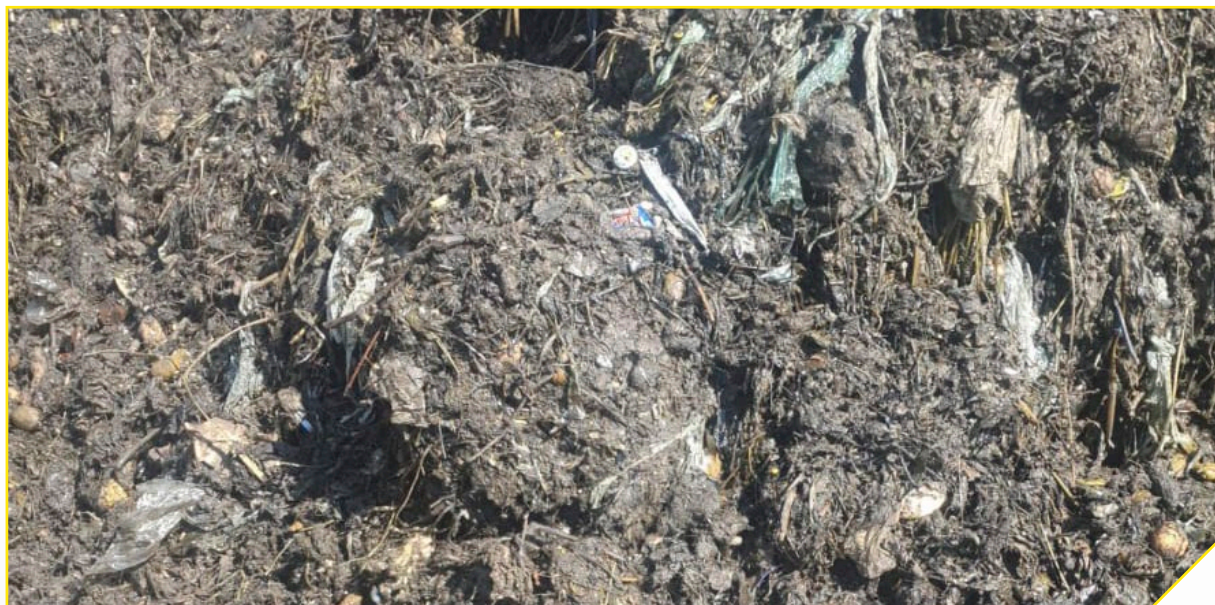
Planta de Digestión Anaeróbica (húmeda) y Compostaje, IT - datos clave	
Entrada: Residuos biológicos y de alimentos	75,000 toneladas/año
Contaminante en residuos de entrada	8,602 toneladas/año
Eliminación de contaminantes durante el pretratamiento	60%
Eliminación de contaminantes tras la DA	12%
Eliminación de contaminantes tras el compostaje	27%



Pretratamiento de residuos biológicos en una planta de digestión anaeróbica húmeda

La instalación en Alemania acepta residuos de alimentos comerciales, residuos industriales e igual cantidad de biorresiduos recolectados por separado de los domicilios junto con residuos verdes.

Figura A6: Ejemplo de biorresiduos recolectados en los domicilios



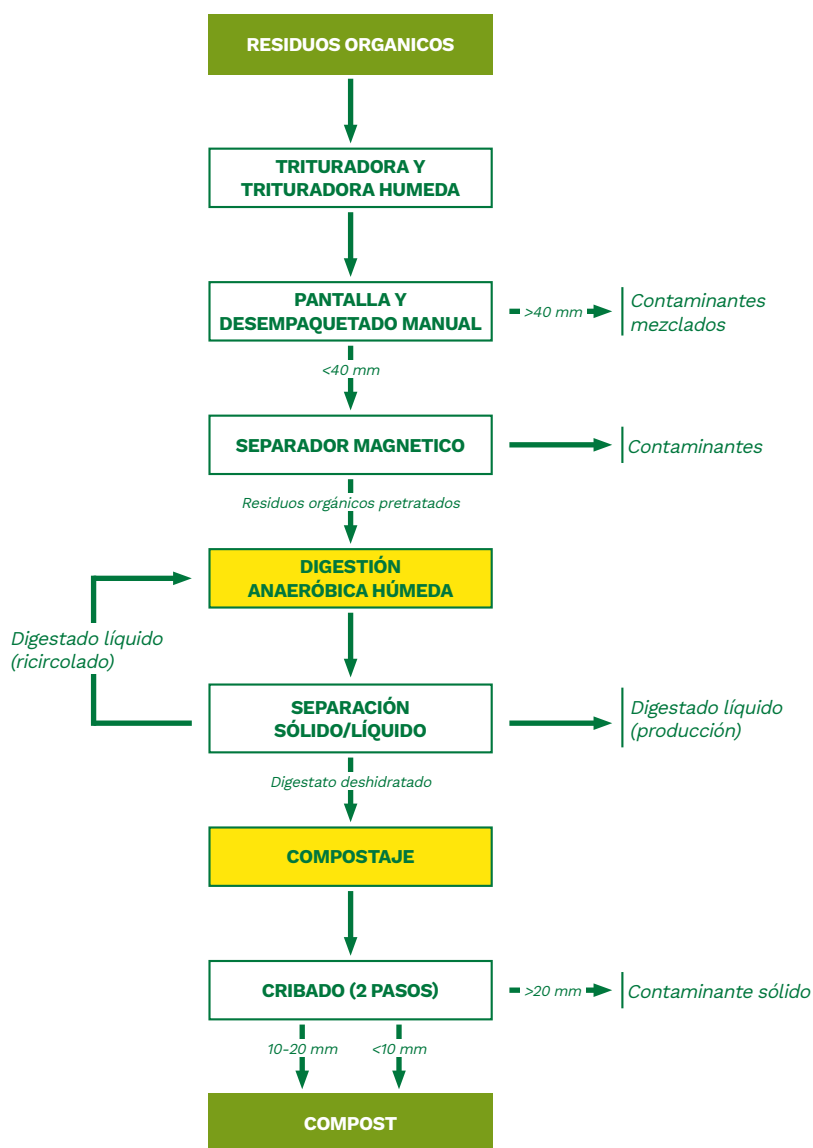
Fuente: Fachverband Biogas e.V. (Asociación Alemana de Biogás)

Las principales etapas del proceso se muestran en la figura A7 y se resumen a continuación:

1. Los biorresiduos que ingresan se someten a un tratamiento previo mediante una trituradora y, a continuación, se tamizan a 40 mm para eliminar los contaminantes de gran tamaño; los residuos de alimentos que ingresan se desempacan manualmente antes de someterse a un nuevo proceso de trituración y tamizado.
2. La fracción orgánica (por debajo del tamiz) se limpia posteriormente de metales; aproximadamente el 85% de todos los contaminantes plásticos se eliminan mediante las etapas de pretratamiento.
3. Los residuos orgánicos pretratados se envían a un proceso de DA húmeda.
4. Tras la producción de biogás, el digestato se somete a una recirculación parcial, mientras que una parte significativa se deshidrata mediante una prensa de rosca y una fracción líquida se elimina parcialmente.
5. A continuación, el digestato sólido se mezcla con residuos verdes triturados y los residuos orgánicos se compostan en pilas giradas bajo techo durante al menos tres meses.
6. A continuación, el compost a granel obtenido se tamiza en una fracción fina inferior a 10 mm para su uso en entidades hortícolas privadas, una fracción gruesa de 10-20 mm se utiliza en agricultura y una fracción sobretamizada (superior a 20 mm) con los contaminantes residuales se envía para su disposición final. El compost producido ha obtenido el certificado alemán de calidad de compost.

Figura A7 - Esquema de eliminación de contaminantes en una planta de digestión anaeróbica húmeda en Alemania

Planta de Digestión Anaeróbica (húmeda) y Compostaje, DE - datos clave	
Entrada: Biorresiduos y residuos orgánicos industriales.	53,000 toneladas/año
Contaminantes (solo plásticos) en la entrada	707 toneladas/año
Eliminación de contaminantes durante el pretratamiento.	85%
Eliminación de contaminantes después del compostaje.	12%



Fuente de los data: cortesía de Asociación Alemana de Biogas, 2023

Editado por M. Ricci & J. Gilbert; 2023



Get in touch and follow ISWA

**Address:**

ISWA
International Solid Waste Association
Stationsplein 45 A4.004.
3013 AK Rotterdam,
Netherlands

**Telephone:**

+31 10 808 3990

**Email:**

iswa@iswa.org

**Web:**

www.iswa.org

**Facebook:**

@ISWA.org

**Twitter:**

@ISWA_org

**LinkedIn:**

www.linkedin.com/company/iswa
-international-solid-waste-association

For more information on Membership,
please contact our team: members@iswa.org

Copyright: ISWA – International
Solid Waste Association
Design and Artwork: hellofluid.co.uk
© ISWA 2023

Facebook:
www.facebook.com/ISWA.org/

Twitter:
[@ISWA_org](https://twitter.com/ISWA_org)

LinkedIn:
www.linkedin.com/company/iswa-international-solid-waste-association





ISWA
International Solid Waste Association

Printing of the Spanish version sponsored by

ECOMONDO
The green technology expo.

ITALIAN
EXHIBITION
GROUP
Providing the future

ECOMONDO
MEXICO