

ECONOMÍA  
CIRCULAR:  
**CARBONO,  
NUTRIENTES  
Y SUELO**

4





La Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA) es una asociación mundial, independiente y sin fines de lucro, que trabaja en el interés público para promover y desarrollar la gestión sostenible de los residuos.

La ISWA tiene miembros en más de 60 países y es la única asociación mundial que promueve la gestión sostenible, integral y profesional de residuos.

El objetivo de la ISWA es el intercambio mundial de información y experiencia en todos los aspectos de la gestión de residuos. La asociación promueve la adopción de sistemas aceptables de gestión profesional de los desechos mediante el desarrollo tecnológico y la mejora de las prácticas de protección de la vida humana, la salud y el medio ambiente, así como la conservación de los materiales y los recursos energéticos

La visión de ISWA es una Tierra donde no existan residuos. Los desechos deben ser reutilizados y reducidos al mínimo, luego recogidos, reciclados y tratados adecuadamente. La materia residual debe ser eliminada de forma segura, asegurando un ambiente limpio y saludable. Todas las personas en la Tierra deberían tener el derecho de disfrutar de un ambiente con aire, tierra, mares y suelos limpios. Para poder lograr esto, necesitamos trabajar juntos.

# Resumen ejecutivo

En junio de 2014, la Junta de la ISWA estableció el Grupo de Tareas de la ISWA sobre la gestión de los recursos. Este informe es uno de los seis preparados por el Grupo de Trabajo y describe el valor potencial que puede ser recuperado de los residuos orgánicos. Se centra específicamente en el contenido de carbono y nutrientes vegetales de los desechos orgánicos y en la forma en que pueden reciclarse para crear productos de alto valor, contribuir a alimentar a una población mundial cada vez mayor, así como ayudar a conservar los recursos y mejorar los suelos. Se centra en los países de la OCDE, aunque los principios esbozados en el presente informe son de carácter mundial.

Los residuos orgánicos son aquellos que se derivan de los seres vivos, tanto plantas como animales. Se estima que en los países de la OCDE se generan anualmente unos 177 millones de toneladas de desechos municipales orgánicos, de los cuales sólo 66 millones de toneladas se reciclan mediante compostaje y digestión anaeróbica. Se desconoce en gran medida el potencial de los desechos orgánicos comerciales e industriales, los residuos de cultivos y los abonos, pero es probable que sea considerable y que esté muy por encima de la fracción de desechos municipales.

Los recursos contenidos en estos 124 millones de toneladas de desechos orgánicos municipales son significativos, ya que contienen entre 0,1 y 3 millones de toneladas de nitrógeno y entre 4 y 41 millones de toneladas de carbono. Este carbono y nutrientes pueden extraerse, modificarse o transformarse en una serie de productos diferentes que pueden clasificarse en tres categorías principales:

- productos de alto valor y bajo volumen: se trata de productos químicos finos y especializados de base biológica que se utilizan en cantidades relativamente pequeñas para aplicaciones de alta tecnología;

- productos de valor medio y volumen medio, entre los que se incluyen productos químicos básicos, bioplásticos, biogás, estruvita, tableros de fibra y celulosa; y
- productos de alto volumen y bajo valor: se trata principalmente de abono y de digestión, resultantes de los procesos de compostaje y de digestión anaeróbica, respectivamente.

El potencial del mercado mundial para estos productos es potencialmente masivo, con estimaciones de miles de millones de dólares anuales. En la mayoría de los casos, la competitividad económica de la fabricación de estos productos biológicos a partir de recursos secundarios derivados de desechos estará vinculada al costo relativo de la fabricación de recursos primarios a partir de precursores basados en el petróleo. El bajo precio actual del petróleo crudo, unido a las subvenciones a los combustibles fósiles, las redes de suministro establecidas y las economías de escala de los recursos primarios, pesan en contra del desarrollo de nuevas infraestructuras y del procesamiento de la materia prima para explotar los recursos secundarios derivados de los desechos. Para "desbloquear" este importante potencial económico, sería útil desarrollar incentivos políticos y fiscales para estimular la demanda y superar las barreras técnicas y de inversión a la oferta.

Análogamente, la legislación vigente en materia de desechos también sirve de barrera para integrar los recursos derivados de los desechos en una economía basada en los materiales, tanto desde el punto de vista logístico como económico. Esta incertidumbre debe ser abordada a través de un marco legal vinculante, junto con el desarrollo de nuevas especificaciones de calidad y criterios de fin de los desechos en toda la cadena de valor de la biomasa.

Aunque el compost y el digestato tienen actualmente precios relativamente bajos en comparación con otros productos de base biológica, representan fuentes importantes de carbono y nutrientes vegetales que pueden beneficiar tanto a los cultivos como a los suelos.

En general, en los países de la OCDE, se estima que en 2013 se compostaron o digirieron 66 millones de toneladas de desechos, lo que daría lugar a la producción de aproximadamente 22 millones de toneladas anuales de compost/digestato. Aunque la agricultura es el sector de mercado dominante, la oferta máxima potencial de todo el compost/digestato manufacturado está muy por debajo del banco de tierras agrícolas teórico necesario para acomodar estos productos.

El valor nutritivo del abono y el digestato puede calcularse en relación con su equivalente en fertilizantes inorgánicos. En toda la OCDE, teniendo en cuenta la producción real de com-post/digestato, actualmente se están obteniendo unos 121 millones de dólares de los EE.UU. anuales en valor de nutrientes, que podrían aumentar a 227 millones de dólares anuales si se capturaran todos los desechos orgánicos municipales para su reciclado.

Aunque el valor nutritivo del abono y el digestato puede calcularse con facilidad relativa, el beneficio del carbono orgánico y su efecto en la materia orgánica del suelo no se valora actualmente en términos monetarios. La materia orgánica del suelo representa un recurso finito y vulnerable, que actúa como un sustancial sumidero de carbono. Dado que la mayoría de los suelos cultivables muestran signos de pérdida de materia orgánica, esto no sólo tiene el potencial de reducir la productividad, sino que también tiene importantes implicaciones de cambio climático.

Se calcula que cada año se aplican a los suelos de la OCDE unos cinco millones de toneladas de carbono estable (y diez millones de toneladas de carbono en total) en forma de compost/digestato, que podrían aumentar a seis millones de toneladas y 12 millones de toneladas, respectivamente, si todos los posibles residuos orgánicos municipales se compostaran y/o digirieran. Esto podría contribuir de manera significativa a mejorar la función del suelo y a aumentar la reserva de carbono del suelo.



Sería útil evaluar el valor monetario que tiene para los agricultores la mejora de la estructura y la función del suelo mediante el uso a largo plazo del compost y el digestato, lo que abarcaría, por ejemplo, los ahorros derivados de la reducción/mejora de la labranza, la reducción del riego, la mejora de la utilización de fertilizantes y la reducción de la erosión del suelo. La integración de esos beneficios en las políticas agrícolas nacionales y regionales (incluidos los subsidios) crearía un poderoso motor.

La calidad del compost y la digestión es de suma importancia. Las normas de calidad nacionales y los criterios de fin de la condición de residuo, supervisados por un órgano de certificación independiente, son un precursor necesario para la sostenibilidad de los mercados y la aceptación de los usuarios finales, ya que garantizan que sólo se apliquen a los suelos productos de calidad garantizada. En algunos países de la OCDE, pero no en todos, existen normas y planes de certificación.

El sector de la gestión de desechos tiene un papel importante que desempeñar en la recogida, el transporte y el tratamiento de los desechos orgánicos, y actualmente posee una serie de competencias técnicas para llevarlo a cabo con eficacia. A fin de extraer un mayor valor de los desechos orgánicos y fabricar una gama de productos de alto valor, será necesario desarrollar y ampliar aún más esos servicios. Sin embargo, el sector de los desechos no puede trabajar de forma aislada: tendrá que crear asociaciones con otros sectores complementarios y ampliar sus competencias básicas, diversificar sus normas operacionales y sus calificaciones profesionales y extender la capacitación a todos los niveles profesionales. Además, el sector de los desechos también tendrá que aumentar y mejorar el alcance de las recogidas separadas de desechos orgánicos (a fin de maximizar la calidad y reducir la variabilidad), así como mejorar los métodos de pretratamiento. Esto último es particularmente importante para eliminar la contaminación y proporcionar materias primas de la composición correcta para su uso como materias primas (precursores) para su

conversión en productos de mayor valor. Es necesario seguir investigando y desarrollando para mejorar la eficacia de las técnicas de pre-tratamiento y adoptar las que se emplean actualmente en sectores industriales comparables. Además, será necesario elaborar nuevas especificaciones de calidad de la industria y criterios de fin de los desechos en toda la cadena de valor de los productos orgánicos. La gestión de los desechos variables y heterogéneos sigue siendo un reto importante para el sector.

A fin de aprovechar plenamente las posibles oportunidades que ofrece la fabricación de productos de mayor valor, se podrían realizar sinergias ubicando las plantas de procesamiento de desechos junto con operaciones de biorrefinería más sofisticadas. Esto tiene el potencial de realizar importantes ahorros de capital y de costos

operacionales, lo que permitiría una cascada de recursos más rentable.

En conclusión, el valor del carbono y los nutrientes de los residuos orgánicos se está realizando actualmente, al menos en parte. Existe un potencial significativo para maximizar la recolección y recuperación de desechos orgánicos en los países de la OCDE, y para utilizarlos en la fabricación de productos biológicos de alto valor, así como para reciclar nutrientes y mejorar los suelos mediante la aplicación de abono y digestato de calidad. Para lograrlo, es necesario abordar la ubicación de los procesos de tratamiento y fabricación en un solo lugar, la superación de las barreras técnicas, logísticas y fiscales y la valoración de los beneficios de la mejora del capital natural (en particular de los suelos).

# Preparado por el grupo de trabajo de la ISWA sobre la gestión de los recursos

**Autor principal:**

**Dra. Jane Gilbert**

**Vicepresidenta del Grupo de Trabajo de la ISWA sobre Claridad del Carbono en el Tratamiento**

**Biológico**

**Reino Unido**



La Dra. Jane Gilbert es una experta en medio ambiente y gestión de residuos, que ha estado involucrada en el sector del reciclaje de productos orgánicos durante veinte años. Es la ex-directora general de la Asociación de Compensación del Reino Unido y cofundadora de la Red Europea de Compostaje.

Jane se formó originalmente como microbióloga, tiene un doctorado en bioquímica y un MBA. Trabaja como Claridad del Carbono, ofrece servicios de consultoría y redacción, y actualmente es vicepresidenta del Grupo de Trabajo sobre Tratamiento Biológico de la Asociación Internacional de Residuos Sólidos.

Jane es autora de varios libros sobre compostaje técnico y ha hecho presentaciones en conferencias en América del Norte, Europa, África y Asia. Recientemente ha lanzado Prensa de Claridad de Carbono, especializada en la publicación de recursos para inspirar una vida sostenible.

# Tabla de contenido

08	Introducción
10	Residuos orgánicos
10	Definición de residuos orgánicos
10	Cadenas de suministro de desechos orgánicos
10	Cantidades y composición de los desechos orgánicos
13	Reciclaje de residuos orgánicos actual y potencial
13	Valor potencial de nutrientes y carbono
14	Productos derivados de residuos orgánicos
14	Categorías de productos
14	Productos de alto valor y bajo volumen
15	Productos de valor medio, de volumen medio
17	Productos de alto volumen y bajo valor
24	Potencial de mercado
24	La bioeconomía
24	Productos de alto y medio valor
24	Productos de alto volumen y bajo valor
28	Función actual del sector de la gestión de desechos
28	Competencias básicas
28	Métodos de recogida de residuos orgánicos
29	Métodos de tratamiento de desechos orgánicos
30	Desafíos para el sector de los desechos
30	Desafíos macroeconómicos
31	Infraestructura
31	Desafíos de servicio
33	Conclusiones
36	Referencias

# Introducción

Toda la vida en la Tierra depende del ciclo del carbono y de los nutrientes. Los ecosistemas dependen de la disponibilidad de materia orgánica e inorgánica para su asimilación en compuestos complejos por los organismos vivos, seguida de la posterior descomposición en sus partes constituyentes. Desde que los humanos empezaron a cultivar y a arrear animales, estos ciclos de nutrientes se han distorsionado a medida que se forman nuevos ecosistemas y se modifica el flujo de carbono y de nutrientes. En la mayor parte del mundo actual, los sistemas agrícolas proporcionan tanto materia vegetal como animal para el consumo humano. Estos productos alimenticios a menudo se comercializan a nivel mundial, lo que da lugar al transporte de carbono y nutrientes entre países y continentes.

La sociedad moderna también es despilfarradora, con una estimación de 1.300 millones de toneladas de desechos de alimentos perdidos o desperdiciados cada año en todo el mundo<sup>1</sup>. Los jardines, parques y elementos paisajísticos que rodean nuestras casas y lugares de trabajo generan importantes cantidades de residuos botánicos, todos los cuales deben ser gestionados. Llamados colectivamente desechos "orgánicos", estos materiales son de origen natural y contienen cantidades significativas de carbono y nutrientes vegetales; son el foco de este informe.

La eliminación de los desechos orgánicos en los vertederos conduce a la desviación de gran parte de este carbón y de los nutrientes fuera de los ecosistemas, lo que hace que prácticamente no esté disponible para una absorción y reutilización efectivas. Además, la descomposición incontrolada de los desechos orgánicos en los vertederos y en algunos vertederos también da lugar a la emisión de metano, que es un potente gas de efecto invernadero y una fuente reconocida de cambio climático antropogénico.<sup>2</sup>

A la preocupación por la eliminación de desechos se suma el deseo de fabricar una serie de productos a partir de precursores de base biológica, en lugar de los derivados del petróleo. Los productos de base biológica que también son biodegradables ofrecen una oportunidad tentadora de reducir la dependencia de la sociedad de los combustibles fósiles y,

al mismo tiempo, de reducir las cantidades de desechos eliminados. Cuando se fabrican a partir de materias primas secundarias, en lugar de primarias, esto tiene el potencial de crear una situación en la que todos ganan, contribuyendo al concepto de una "economía circular"<sup>3</sup>.

Junto con los hábitos de despilfarro de la sociedad moderna, está la necesidad de aumentar la productividad agrícola así como de detener la degradación de los suelos. Los suelos son un recurso no renovable y están actualmente amenazados. Desde una perspectiva humana, una de las funciones más importantes que desempeñan los suelos es la de servir de medio de cultivo para el consumo humano y ganadero. El aumento previsto de la población de 7.200 millones de personas en 2013 a 9.600 millones en 2050<sup>4</sup> significa que habrá una mayor presión para aumentar los rendimientos, mientras que los procesos de degradación reducirán necesariamente la capacidad de algunos suelos para mantener los rendimientos actuales. Para satisfacer estas demandas, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha estimado que la producción agrícola debe aumentar en un 60% a nivel mundial entre 2005/2007 y 2050, llegando a casi el 100% en los países en desarrollo.<sup>5,6</sup> Este es un gran desafío.

La presión ejercida sobre las tierras agrícolas para que produzcan más alimentos a fin de alimentar a una población cada vez más numerosa, hace que sea necesario aumentar las tasas de productividad y la eficiencia agrícola, lo que ha dado lugar a una creciente demanda de fertilizantes. Los sistemas agrícolas modernos han dependido del uso de fertilizantes inorgánicos durante décadas, suministrando los tres nutrientes primarios de las plantas, a saber: nitrógeno (N), fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y potasa (K<sub>2</sub>O). La FAO ha estimado que la demanda mundial de nutrientes totales para fertilizantes crecerá en un 1,8% anual entre 2014 y 2018<sup>7</sup>. Algunas partes del mundo son importadores netos de algunos nutrientes, mientras que otros son exportadores netos. El desafío es entregar las cantidades correctas de fertilizantes en el lugar correcto y en el momento adecuado.

Los fertilizantes inorgánicos de nitrógeno se

fabrican principalmente a partir de amoníaco, que se fabrica mediante química sintética por el proceso de Haber. Como la mayoría de los ecosistemas están limitados por el nitrógeno para su crecimiento, el uso generalizado de fertilizantes sintéticos de nitrógeno ha desvinculado la tasa de crecimiento de las plantas de la tasa natural subyacente de fijación del gen nitro, lo que significa que el rendimiento de los cultivos ha aumentado considerablemente. Sin embargo, el proceso de Haber es intensivo en energía, lo que significa que el costo del fertilizante de nitrógeno está vinculado al precio de la energía.

El fertilizante de fosfato se obtiene de la roca de fosfato extraída, que es una fuente finita. Como las minas se centran en unas pocas zonas geográficas, muchas partes del mundo dependen de las importaciones. Por ejemplo, la Comisión Europea ha estimado que la Unión Europea depende de las importaciones para el 92% de su uso<sup>8</sup>. Aunque se ha estimado que las reservas de roca fosfórica duran entre 300 y 400 años<sup>9</sup>, la distribución espacial desigual de las minas y la incertidumbre geopolítica subyacente han llevado a la Comisión Europea a incluirla en la lista de materias primas críticas<sup>10</sup>. El reciclado de fósforo está recibiendo una atención considerable, y muchos países europeos están estableciendo plataformas nacionales de fósforo

Por lo tanto, el reciclaje del carbono y los nutrientes de los desechos orgánicos tiene varios beneficios importantes, entre ellos:

- conservando los recursos;
- reducir el impacto ambiental de la eliminación de desechos;
- mitigar el cambio climático;
- mejorar la funcionalidad de los suelos;
- alimentar a una población mundial cada vez mayor; y
- desvincular la fabricación de productos de los precursores del petróleo y el uso de combustibles fósiles.

Este informe describe las formas en que el carbono y los nutrientes vegetales de los desechos orgánicos pueden ser reciclados para satisfacer estas aspiraciones.



# Los residuos orgánicos

## Definición de residuos orgánicos

El término "residuos orgánicos" está mal definido y puede significar diferentes cosas para diferentes personas. En el contexto de este documento, se ha supuesto que los "desechos orgánicos" incluyen los biorresiduos definidos en la Directiva Marco de Residuos de la UE 2008/98/CE (a saber, los desechos biodegradables de jardines y parques, los desechos de alimentos y de cocina de los hogares, restaurantes, servicios de restauración y locales de venta al por menor y los desechos comparables de las plantas de procesamiento de alimentos), así como otros desechos de naturaleza similar a los biorresiduos, como los estiércoles y los residuos de cultivos. Se excluyen específicamente los lodos de depuración. Cabe destacar que los biorresiduos se generan principalmente en las zonas urbanas.

## Cadenas de suministro de desechos orgánicos

Los desechos orgánicos pueden surgir en cualquier momento después del crecimiento de una planta o animal, hasta el uso final por parte de un consumidor. Por su naturaleza se reciclan a través de procesos naturales de descomposición mediada biológicamente (ya sea aeróbica o anaeróbica), o se queman para liberar la energía almacenada en ellos.

Algunos residuos de cultivos (como la paja y el bagazo) y los estiércoles de ganado, pueden reciclarse in situ en los lugares donde se producen, como las granjas. Los cultivos y el ganado transportados fuera de la granja, serán consumidos directamente o procesados antes de su consumo. Parte de este material se desperdiciará antes del consumo, otra parte en el punto de consumo y otra parte después del consumo. Estos desechos se recogen y reciclan generalmente ex situ, o se eliminan (por ejemplo, mediante el vertido o la incineración).

Otra fuente importante de desechos orgánicos son las plantas no cultivadas, que surgen en los jardines y parques urbanos, o a través de actividades de paisajismo y similares. A menudo se les llama "residuos verdes" o "residuos de jardín". Algunos serán reciclados *in situ*, ya sea a través de actividades de compostaje, astillado o mantillo en casa o en el lugar. Otros se recogerán y reciclarán *ex situ* en instalaciones de compostaje, digestión anaeróbica o biomasa.

Es un camino complejo que se ha resumido conceptualmente en la figura 1.

## Cantidades y composición de los desechos orgánicos

### Cantidades estimadas

Anualmente se generan cantidades importantes de desechos orgánicos. Estas se resumen en la Tabla 1.

Uno de los principales obstáculos para un análisis eficaz de los desechos es la fiabilidad y la variabilidad de los datos. Dado que los países cuantifican y definen los desechos de diferentes maneras, esto significa que es difícil hacer comparaciones similares entre países, regiones y continentes.

En particular, hay una falta de datos significativos sobre el surgimiento, la composición y el crecimiento de los desechos comerciales e industriales. Aunque algunos se clasificarán como residuos sólidos municipales (RSU), es probable que una parte significativa esté subrepresentada o no se notifique en los datos oficiales. En un informe reciente de la OCDE se puso de relieve esta dificultad, especialmente en lo que respecta a la fabricación y a los desechos de alimentos de sectores conexos, debido a las dificultades para definir y cuantificar los desechos de alimentos<sup>13</sup>. De igual modo, no se dispone fácilmente de datos sobre estiércol y residuos de cultivos en los países de la OCDE. Por consiguiente, este informe se centra necesariamente en los desechos sólidos urbanos.

### Composición de los residuos

Los datos internacionales sobre la composición de los desechos son escasos, aunque el Banco Mundial ha presentado algunas estimaciones mundiales y regionales.<sup>16</sup> Sugirieron que, a nivel mundial, la mayor fracción de MSW es la fracción orgánica con un 46% de masa (en 2009). Esto incluye restos de comida, desechos de jardín (hojas, hierba, arbustos), madera y residuos de procesos.

Fig. 1 | **Representación simplista de los orígenes de los residuos orgánicos y las rutas de reciclaje**



Tab. 1 | **Estimación de la producción de desechos orgánicos**

TIPO DE DESECHO	REGIÓN	ESTIMACIÓN ANUAL DE SURGIMIENTO (TONELADAS)	AÑO DE REFERENCIA	NOTAS	REFERENCIA
Residuos municipales (total de orgánicos y no orgánicos)	Países de la OCDE	656 millones	2013	Las cifras totales de residuos municipales incluyen los residuos domésticos y los similares a los domésticos. No se dispone de datos sobre la composición de los residuos.	12
La fracción orgánica del MSW	Países de la OCDE	177 millones	2013	Estimación basada en la fracción orgánica que comprende el 27% (véase más abajo).	Derivado de los datos de la OCDE, <i>ibid.</i>
Residuos de alimentos animales y mixtos; residuos vegetales	UE28	94 millones	2012	Faltan datos sobre desechos de alimentos para la OCDE debido a las diferencias en la forma de clasificarlos. <sup>13</sup>	14
Estiércol	UE28	16 millones	2012	Es difícil medir las cantidades, por ejemplo, los estiércoles depositados en el campo y los que están en las viviendas o recintos.	<i>Ibid</i>
Residuos de cultivos	Mundial	4 billones	2001	Es difícil medir las cantidades, por ejemplo, las que se dejan en el campo y las que se recogen para su reciclaje/eliminación.	15

<sup>3</sup> La OCDE define los desechos municipales como los desechos que proceden de: hogares, comercio y negocios, pequeñas empresas, edificios de oficinas e instituciones (escuelas, hospitales y edificios gubernamentales), servicios municipales seleccionados, es decir, desechos del mantenimiento de parques y jardines, desechos de los servicios de limpieza de las calles. Incluye los desechos recogidos mediante la recogida tradicional puerta a puerta (residuos domésticos mezclados), y las fracciones recogidas por separado para las operaciones de recuperación (mediante la recogida puerta a puerta y/o mediante depósitos voluntarios). Excluye los residuos de la red municipal de alcantarillado y tratamiento, y; los residuos de construcción y demolición municipales. Para una definición completa ver.<sup>12</sup>

La proporción de desechos orgánicos en la corriente de DSM viene dictada por una serie de factores diferentes, como la demografía (ciudad frente a vivienda rural), el clima (que afecta a las zonas de residuos verdes), la preparación de alimentos y los hábitos alimentarios, y la riqueza (esta última afecta a las cantidades de residuos de alimentos que se generan). Esto significa que las proporciones relativas de los desechos de alimentos en relación con los desechos verdes en la fracción orgánica variarán considerablemente entre los países de la OCDE.

En general, la fracción orgánica de los desechos municipales es mayor en los países de bajos ingresos (64%) que en los de altos ingresos (28%)<sup>16</sup>. En el caso de los países de la OCDE, el Banco Mundial ha estimado que es un promedio del 27% (aunque varía considerablemente entre el 14% y el 56%); esta fracción se ha utilizado como base para los cálculos del presente informe. No se dispone de datos sobre la proporción relativa de los desechos de alimentos en el jardín en relación con otros desechos orgánicos.

Aunque los países de la OCDE tienen proporcionalmente menos desechos orgánicos como fracción de sus DSM, representan las mayores cantidades en términos absolutos, ya que los países de la OCDE generan el 44% del total de DSM del mundo (la mayor fracción de cualquier región analizada por el Banco Mundial).

La falta de datos fiables sobre los desechos comerciales e industriales, los residuos de cultivos y la producción de estiércol también significa que es difícil estimar el valor potencial de este sector.

### Crecimiento de desechos

Las cantidades estimadas de DSM que figuran en el cuadro 1 no tienen en cuenta los aumentos interanuales de la producción de desechos. Se trata de una cuestión importante, especialmente en las partes del mundo que experimentan un crecimiento económico y una creciente prosperidad de los consumidores. En general, para los países de la OCDE, el Banco Mundial ha estimado que para 2025 los países de la OCDE generarán 1,74 millones de toneladas de DSM al día, en comparación con 1,57 millones de toneladas en 2012<sup>b</sup>, lo que representa un aumento del 11%. Se prevé que la proporción relativa de desechos orgánicos se mantenga igual en alrededor del 27%, aunque esto significa que las cantidades absolutas seguirán aumentando.

<sup>b</sup> El informe se publicó en 2012, sin embargo, se basó en fuentes de datos derivadas de años anteriores. Por lo tanto, el año de referencia del informe no está claro.



# Reciclaje de residuos orgánicos actual y potencial

Los datos de la OCDE indican que aproximadamente el 10% de los desechos sólidos urbanos recogidos en 2013 se compostaron o se digirieron anaeróticamente, lo que equivale a 66 millones de toneladas. Esto implica que hay un 17% adicional de desechos municipales orgánicos que no fueron tratados biológicamente, lo que equivale a 112 millones de toneladas al año (cifras redondeadas al entero más cercano y sin tener en cuenta el crecimiento de la producción de desechos).

Aunque los planes de recogida separada de desechos orgánicos bien diseñados y bien gestionados pueden recoger más del 85% del contenido orgánico total en los desechos sólidos urbanos, en la práctica, sin embargo, es probable que las tasas de captura sean más bajas en toda la OCDE en su conjunto. Suponiendo una tasa de captura global del 70%, esto significa que podrían recogerse potencialmente 124 millones de toneladas al año para tratamiento biológico, lo que equivale a 58 millones de toneladas adicionales al año por encima de lo que se recoge actualmente.

Se desconoce el potencial de los desechos orgánicos comerciales e industriales, los residuos de cultivos y los abonos.

# Valor potencial de nutrientes y carbono

Los desechos orgánicos son fuentes importantes tanto de carbono como de nutrientes vegetales; sin embargo, la estimación de su valor potencial en las corrientes de desechos está llena de incertidumbres. En general, los desechos de alimentos tienden a ser altos en humedad y altos en nutrientes, mientras que los desechos verdes tienden a tener más carbono pero menores niveles de nutrientes y humedad, aunque esto varía según la época del año. La proporción relativa de estos dos principales constituyentes de la fracción orgánica de los DSM puede, pues, variar considerablemente en función de factores regionales, climáticos y socioeconómicos.

Utilizando los datos presentados en la Tabla 1, en la Tabla 2 se muestra una estimación de las cantidades potenciales de nutrientes.

A efectos comparativos, en 2009 se aplicaron 20,9 millones de toneladas de fertilizante de nitrógeno a las tierras agrícolas de 23 países de la OCDE.<sup>19</sup> Esto significa que la fracción orgánica de los desechos sólidos urbanos por sí sola podría representar potencialmente hasta el 14% del total de N aplicado a las tierras agrícolas de la OCDE en 2009.

<sup>c</sup> La OCDE define esto como el tratamiento en un "proceso biológico que somete los desechos biodegradables a una descomposición anaeróbica o aeróbica, y que da como resultado un producto que se recupera".

<sup>d</sup> Los valores mínimos y máximos utilizados en el cálculo fueron: N total 1-4% (masa sobre una base de materia seca); C total 35 - 55% (masa sobre una base de materia seca); contenido de materia seca 10 - 60 % (de la masa húmeda total). Esta amplia gama de variables refleja la diversidad de la composición de los desechos orgánicos, que puede variar considerablemente según la fuente, la ubicación y la época del año. En la práctica, los valores reales se situarán en algún punto entre los valores mínimos y máximos citados.

Tab. 2 | Cantidades estimadas de nutrientes en diferentes desechos orgánicos

TIPO DE DESECHO	REGIÓN	ESTIMACIÓN ANUAL DE LA APARICIÓN	NPK* CONTENIDO DE NUTRIENTES	NOTAS
Fración orgánica de MSW	Países de la OCDE	177 millones de toneladas	0,2 - 4,2 millones de toneladas de N 6,2 - 58,4 millones de toneladas de C	Basado en las gamas indicativas del contenido de N y C en las materias primas utilizadas para la composición citadas en la referencia.
Fración orgánica de MSW al 70% de captura	Países de la OCDE	124 millones de toneladas	0,1-3-0 millones de toneladas de N 4,3 - 40,9 millones de toneladas de P	Asumiendo que el 70% de la fracción de residuos orgánicos es capturada para su reciclaje.
Estiércoles	Mundial	Desconocido	128,3 millones de toneladas de N y 24,3 millones de toneladas de P	Citado en <sup>18</sup> , que se centró en la distribución espacial de la aplicación de fertilizantes y estiércol. No se indicaron las cantidades totales globales.
Residuos de cultivos	Mundial	4 billones de toneladas	81 millones de toneladas (NPK en total)	<sup>15</sup>

\* N= nitrógeno; P= fósforo; K= potasio; y, C= carbono

# Productos derivados de residuos orgánicos

## Categorías de productos

El contenido de carbono y nutrientes de los desechos orgánicos puede extraerse, modificarse o transformarse en una serie de productos diferentes. Como el carbono está presente como "carbono orgánico" (es decir, contiene enlaces de carbono-carbono) formando macromoléculas complejas, tiene un potencial significativo para ser utilizado en la fabricación de una gama de productos tradicionalmente derivados de los precursores de los combustibles fósiles. Estas actividades se enmarcan dentro de la biotecnología industrial, que trata de utilizar los recursos biológicos para producir materiales, productos químicos y energía.

Algunos procesos de biotecnología industrial están bien establecidos, mientras que otros se encuentran todavía en la fase de investigación o en la etapa inicial de comercialización. Se trata de un área que está recibiendo considerables inversiones y desarrollo, con algunas grandes empresas multinacionales que están diversificando sus intereses comerciales (por ejemplo, la empresa española Abengoa, BASF en Alemania, Mossi Ghisolfi y Novamont en Italia, y Natureworks en los Estados Unidos).

Algunos procesos biotecnológicos utilizan materias primas primarias (por ejemplo, el maíz o la caña de azúcar), subproductos industriales o agrícolas (por ejemplo, el bagazo o la paja), y actualmente hay un creciente interés por utilizar materiales de desecho. Esto no sólo extrae valor y crea recursos a partir de los desechos, sino que también reduce la competencia en las tierras agrícolas para el cultivo de productos para el consumo humano.

La extracción de valor en forma de productos químicos de los desechos se denomina biorrefinería de desechos y actualmente está recibiendo una atención considerable como parte del concepto de economía circular<sup>20</sup>. Es análogo al refinado del petróleo, en el que varios productos se derivan de desechos orgánicos en lugar de petróleo. Puede emplear una serie de técnicas, como el tratamiento térmico, los procesos con mediación biológica, las conversiones enzimáticas e incluso la biología sintética. En términos generales, los productos derivados de desechos orgánicos pueden clasificarse en tres grandes categorías, como se muestra en la figura 2; cada una de ellas se examina por separado a continuación.

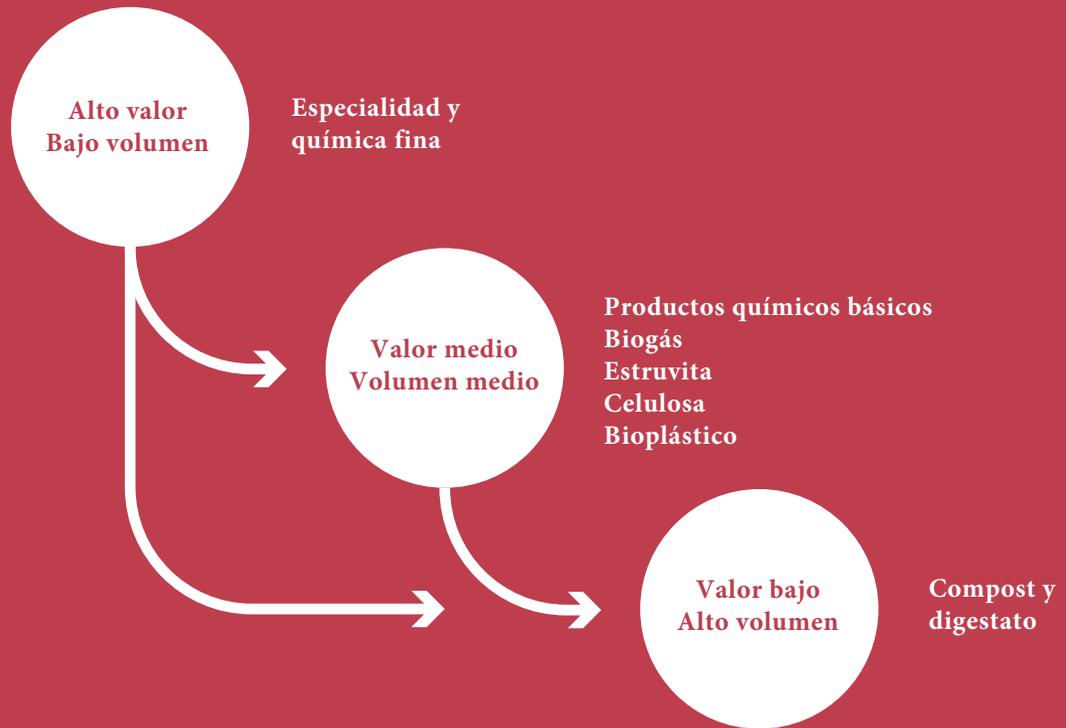
## Productos de alto valor y bajo volumen

En esta categoría se incluyen los productos químicos finos y especializados de base biológica que se utilizan en cantidades relativamente pequeñas para aplicaciones de alta tecnología. Algunos productos están bien establecidos con mercados definidos, como por ejemplo:

- la extracción de albúminas de suero (que se utilizan en la investigación de laboratorio) de la sangre del matadero; y
- la extracción de limoneno (que se utiliza en cosmética, como aromatizante y como disolvente de limpieza) de los cítricos.

Aunque estos productos son objeto de muchas investigaciones científicas, pocos se fabrican directamente a partir de desechos orgánicos.

Fig. 2 | Cadena de valor de los productos derivados de residuos orgánicos



## Productos de valor medio, de volumen medio

Estos productos se dividen en tres categorías principales:

1. Transformación de componentes específicos de los desechos en nuevos productos químicos para su aplicación directa, o como precursores para la síntesis de nuevos productos;
2. La reformulación física de los componentes de los desechos en nuevos productos; y
3. Extracción de la energía incrustada en los residuos, ya sea directa o indirectamente.

A continuación se describen las principales categorías de productos.

### Productos químicos básicos

Los productos químicos básicos se producen en gran escala para satisfacer las necesidades de una serie de mercados. Aunque la fabricación a partir de desechos constituye una parte muy pequeña en la actualidad, existe un potencial de expansión (véase, por ejemplo<sup>21</sup>).

Entre los ejemplos de productos químicos básicos que pueden derivarse de materias primas de desecho se incluyen:

- El polihidroxibutirato (PHB) y el polihidroxialcanoato (PHA) son plásticos biodegradables de base biológica que pueden utilizarse en diversas aplicaciones. Se fabrican mediante fermentación microbiana, aunque los costos de producción son elevados debido a los altos costos de las materias primas (glucosa o almidón). Se han investigado precursores alternativos, como el almidón de maíz y el aceite de soja hidrolizados<sup>22</sup>, los desechos de alimentos pretratados, la glicerina de desecho, el suero excedente<sup>23</sup> y los desechos de fruta<sup>24</sup>.
- El ácido poliláctico (PLA) - es también un polímero biodegradable de base biológica que es ampliamente utilizado y típicamente fabricado a partir de almidón de maíz o caña de azúcar. Se ha descrito la producción de PLA a partir de residuos de alimentos<sup>25</sup>.

- en-Butanol y Acetona - estos pueden ser fabricados comercialmente a través de una fermentación de Clostridium utilizando subproductos agrícolas<sup>26</sup>.
- otros plásticos biodegradables - aunque no se especifica la composición del polímero, investigadores italianos describieron la fabricación de plásticos biodegradables a partir de una serie de desechos vegetales, incluidos los tallos de perejil y espinaca, las cáscaras de las vainas de cacao y las cáscaras de arroz<sup>27</sup>.
- derivados de la lignina - se basan en las estructuras aromáticas presentes en la madera y los subproductos de la industria de la pulpa y el papel<sup>28</sup>. Pueden convertirse en una serie de productos, como resinas fenólicas, adhesivos de madera y otros precursores para síntesis químicas, como el aroma de vainillina y benceno, tolueno y xileno (BTX).<sup>28</sup>.



- surfactantes derivados del ácido húmico - estos se han extraído del compost y se ha demostrado que tienen buenas propiedades surfactantes.<sup>30</sup>.
- Azúcares C5 y C6: son importantes precursores de una serie de productos, y se obtienen de la biomasa mediante tratamiento enzimático e hidrólisis<sup>31</sup>.
- celulosa cristalina - el contenido celulósico de ciertos desechos puede ser extraído y formulado en productos específicos. Por ejemplo, investigadores de Tailandia describieron la extracción de celulosa cristalina de desechos de algodón y su formulación en una película con PVC<sup>32</sup>.

La fabricación de productos químicos de base biológica, ya sea a través de las rutas tradicionales de la química sintética o de reacciones mediadas biológicamente, requiere reactivos "limpios" y químicamente puros. Esto significa que, para que los desechos se utilicen como una alternativa viable a las materias primas que no son desechos, deberán ser tratados previamente de manera eficaz para que contengan las cantidades y concentraciones correctas de precursores químicos. Por ejemplo, la fabricación de PHA a partir de desechos de alimentos requiere una hidrólisis controlada seguida de acetólisis a fin de crear ácidos grasos volátiles de composición y concentración correctas<sup>25</sup>.

### Fibra de carbono y materiales celulósicos

Los componentes estructurales de los desechos leñosos (celulosa, lignina y lignina) pueden extraerse químicamente y formularse en nuevos productos o reformarse mecánicamente. Algunas de ellas son industrias establecidas, mientras que otras son emergentes, e incluyen:

- fabricación de tableros de fibra/tableros de partículas - se trata de una industria establecida, que fabrica una serie de productos estructurales (como madera contrachapada, tableros de partículas y tableros de fibra) que se utilizan en la industria de la construcción. Se producen a partir de madera virgen o reciclada

- Fibras de carbono a partir de lignina - las fibras de carbono son caras de fabricar, ya que se derivan del poliacrilonitrilo. Hay interés en fabricar fibras de carbono directamente a partir de lignina de madera como alternativa al poliacrilonitrilo, ya que es mucho más barato y de fuentes renovables. Estas fibras de carbono se utilizan actualmente en una serie de industrias, como la industrial (por ejemplo, la automotriz), la aeroespacial y la de artículos deportivos<sup>28</sup>, y también hay interés en utilizarlas para fabricar palas de turbinas eólicas<sup>33</sup>.

### Bioenergía

Los ejemplos citados anteriormente se basan en el uso de las macromoléculas basadas en el carbono presentes en los desechos, y en su transformación química o mecánica en una serie de diferentes productos especializados. Una alternativa es liberar la energía química contenida en los enlaces carbono-carbono mediante la combustión directa como energía térmica (por ejemplo, biomasa y combustibles sólidos recuperados), o transformando algunos de los compuestos basados en el carbono presentes en los desechos en combustibles químicos específicos, que luego pueden utilizarse en aplicaciones de precisión (como el biogás de digestores anaeróbicos, el bioetanol producido por fermentación microbiana o el biodiésel producido a partir de grasas y aceites de desecho).

La energía de los materiales de desecho se analiza con mucho más detalle en el informe complementario sobre Energía y combustibles.

### Fertilizantes

El contenido de nutrientes de algunos desechos orgánicos ha sido procesado en fertilizantes vegetales durante muchas décadas. Además, hay una serie de tecnologías comerciales emergentes que crean productos refinados con características similares a las de los fertilizantes inorgánicos convencionales. Algunos ejemplos son:

- harina de carne y hueso - este es un producto de la industria del reciclaje de animales, y puede ser fabricado en un producto rico en fósforo.
- estruvita - es el fosfato de amonio y magnesio y se forma en digestores anaeróbicos y plantas de tratamiento de aguas residuales, especialmente si el magnesio se suministra como aditivo. Hay varios procesos comerciales de recuperación en funcionamiento (véase por ejemplo<sup>34</sup>), que crean un fertilizante de liberación lenta.



## Productos de alto volumen y bajo valor

En general, estos productos de alto volumen y bajo valor incluyen astillas de madera y residuos de corteza (productos derivados de la silvicultura), así como compost y digestato anaeróbico. Se aplican típicamente a la tierra como una gama de diferentes tipos de productos, entre otros:

- mantillos - estos se extienden sobre la superficie de los suelos cultivados para ayudar a retener la humedad y reducir el crecimiento de las malas hierbas;
- Acondicionadores de suelo - estos se esparcen o se cavan en el suelo para añadir materia orgánica y así ayudar a mejorar la estructura y función del suelo;
- biofertilizantes - estos se aplican a los suelos principalmente para suministrar nutrientes a las plantas; y
- Los componentes del medio de cultivo se mezclan con una gama de diferentes materiales para el crecimiento de las plantas en contenedores.

Los principales productos derivados de los desechos orgánicos son el compost y el digestato, que se examinan con mayor detalle a continuación.

### Compost y digestato

El compostaje y el digestato son los dos principales resultados de los procesos de compostaje y digestión anaeróbica, respectivamente. Ambos contienen cantidades útiles de carbono y nutrientes vegetales, pero difieren física, química y biológicamente de manera importante.

El proceso de compostaje implica el metabolismo oxidativo de una serie de diferentes desechos orgánicos por una amplia gama de bacterias y hongos naturales. Compuestos relativamente simples, como los carbohidratos, las grasas y las proteínas se metabolizan para proporcionar energía y

elementos básicos para el crecimiento microbiano. Otras macromoléculas, principalmente las presentes en materiales leñosos, como la lignina, la lignocelulosa y la celulosa, se metabolizan mediante una serie de reacciones de oxidación, desmetilación y condensación para producir "humus" (que es una mezcla de huminos, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos). Los mecanismos bioquímicos precisos que intervienen son relativamente poco conocidos (véase por ejemplo<sup>35</sup>). Las investigaciones han sugerido que el contenido de ácido húmico de una serie de composiciones puede llegar a ser hasta el 54% del contenido de materia seca orgánica, lo que indica que es una fuente particularmente buena de carbono estable<sup>36</sup>. Se reconoce que el contenido de humus en el compost proporciona una forma estable de carbono que puede aumentar la materia orgánica del suelo y contribuir al secuestro de carbono.

La digestión, por otro lado, es el resultado de la digestión anaeróbica (AD), que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno. Como tal, utiliza materias primas más fácilmente degradables, como desechos de alimentos, estiércol y cultivos. El principal impulso económico del proceso de AD es maximizar la generación y recuperación de biogás con fines energéticos, lo que significa que al operador le interesa maximizar la degradación y la conversión de los compuestos de carbono en metano por parte de las bacterias metanógenas. Los operadores de la EA no aceptan generalmente lignina que contenga residuos leñosos, ya que no son materias primas adecuadas. Cuando están presentes en las materias primas entrantes, el análisis espectroscópico sugiere que no se degradan durante el proceso de digestión<sup>37</sup>.

Tanto el abono como el digestato contienen también cantidades útiles de nutrientes vegetales, que se examinan a continuación.

## Definiciones

### Compostaje

Se trata del proceso de descomposición biológica controlada de materiales biodegradables en condiciones controladas que son predominantemente aeróbicas y que permiten el desarrollo de temperaturas termófilas como resultado del calor producido biológicamente.

### Compost

Se trata del material particulado sólido resultante del compostaje, que ha sido saneado y estabilizado y que confiere efectos beneficiosos cuando se añade al suelo, se utiliza como componente de un medio de cultivo o se utiliza de otra manera en conjunción con las plantas.

### Digestión anaeróbica

Es el proceso de descomposición controlada de materiales biodegradables en condiciones controladas en las que no hay oxígeno libre, a temperaturas adecuadas para las especies de bacterias mesófilas o termófilas anaeróbicas y facultativas naturales, que convierten los insumos en biogás y lo digieren.

### Digestato

Se trata de material resultante de un proceso de digestión y que no ha sido sometido a una etapa de separación posterior a la digestión para obtener licor y fibra separados.

## Contenido y disponibilidad de nutrientes

El compost y el digestato difieren en el contenido total de nutrientes y la disponibilidad para ser absorbidos por los cultivos.

El contenido total de nutrientes depende en gran medida de las materias primas de las que se derivan: por ejemplo, es más probable que los desechos de alimentos, que contienen niveles más altos de proteínas, contengan mayores niveles de nutrientes que los desechos leñosos, que son intrínsecamente más bajos en nitrógeno.

Análogamente, la disponibilidad de nitrógeno en el compost también depende de las materias primas con las que se fabrica; no sólo afectan a la medida en que el nitrógeno se complejiza con la fracción de ácido húmico, sino también a la velocidad a la que se libera (se mineraliza) para su absorción por las plantas. En general, la disponibilidad de nitrógeno en el compost para la absorción por parte de los cultivos se encuentra entre el 0-20% en el primer año, y entre el 0-8% en los años siguientes. Aunque esta liberación lenta de nitrógeno puede ser insuficiente para satisfacer toda la demanda de nitrógeno de un cultivo, significa que es poco probable que se lixivie del suelo; en cambio, proporciona un "banco de nutrientes" que puede ser movilizado por los organismos del suelo con el tiempo.

En comparación, el nitrógeno en el digestato es mucho más lábil (hasta el 80% del contenido total de N), lo que significa que se comporta de manera más parecida a los fertilizantes convencionales y puede integrarse mejor en los regímenes de planificación de los nutrientes de los cultivos. También significa que tiene un mayor potencial de lixiviación de los suelos.

Se cree que la disponibilidad de fósforo tanto de la composta como del digestato es del orden del 50% en el primer año, sin embargo, esto también depende de la materia prima. Al igual que el nitrógeno, se cree que la liberación de fósforo del abono es lenta y menos propensa a la lixiviación.

Se cree que el potasio (en forma de potasa; K<sub>2</sub>O) está fácilmente disponible tanto en el compost como en el digestato, en torno al 80% de disponibilidad en el primer año de aplicación.

### Efecto en el suelo

Los efectos beneficiosos de la aplicación de abono de calidad al suelo han sido ampliamente documentados y tienen importantes repercusiones en el cambio climático y la productividad agrícola.

A nivel mundial ha habido una tendencia a la pérdida de materia orgánica del suelo, lo que reduce la resistencia y el funcionamiento del suelo, además de liberar cantidades



importantes de dióxido de carbono en la atmósfera. Es el tema central del Año Internacional de los Suelos 2015 de la FAO, y se examina más adelante.

La aplicación regular de abono de calidad a los suelos puede dar lugar a los siguientes beneficios físicos, químicos y biológicos:

- aumentando el contenido de materia orgánica del suelo - esto proviene principalmente de la fracción de humus "estable" en el compost. Esto ayuda a reducir la pérdida de materia orgánica y los efectos de la erosión y mejora la labranza;
- Aumentar la capacidad de intercambio catiónico - esto ayuda a unir los nutrientes y reducir las pérdidas por escorrentía de los fertilizantes inorgánicos;
- mejorar la retención de agua - esto ayuda a amortiguar las sequías y es particularmente importante en las partes del mundo que son propensas a la desertificación. También ayuda a reducir las inundaciones durante los episodios de clima húmedo, ya que mejora la capacidad del suelo para retener el agua;
- mejorar la regulación de la temperatura del suelo - esto ayuda a reducir la variabilidad de las temperaturas extremas, lo que es beneficioso para los organismos del suelo y los cultivos;
- El aumento de la actividad biológica - se han observado incrementos tanto en la micro como en la macrofauna, debido, en parte, a la mejora de la estructura física del suelo, pero también al aumento de la disponibilidad de carbono y nutrientes para la alimentación y el crecimiento. Esto tiene efectos beneficiosos adicionales, ya que ayuda a mejorar el ciclo de los nutrientes y la disponibilidad de los cultivos para su absorción<sup>42</sup>.

• Supresión de los patógenos de las plantas - hay buenas pruebas de que algunos abonos pueden ayudar a suprimir el crecimiento de algunos fitopatógenos. Aunque los mecanismos para lograrlo son complejos, se han documentado notables disminuciones de patógenos de importancia comercial, como *Fusarium oxysporum* y *Pythium* spp.

• Aumentar el pH del suelo (efecto de cal) - el abono puede reducir la acidez de los suelos,

lo que ayuda a liberar micronutrientes, haciéndolos disponibles para la absorción por parte de las plantas.

Estos efectos beneficiosos han sido destacados recientemente por la FAO como parte de su Año Internacional de los Suelos<sup>43</sup>, y han sido resumidos en una serie de revisiones de la literatura<sup>44-46</sup>, así como en los senderos del Reino Unido<sup>47</sup>.

Es importante señalar que, como se estima que la fracción estable de humus en los suelos tiene una tasa de rotación de entre 20 y 1000 años, una estimación del potencial de secuestro anual sólo para el compost en toda Europa (UE15) sugiere que es del orden de 11 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> por año<sup>48</sup>. A pesar de que esta estimación es muy poco precisa, ilustra el importante potencial de secuestro de carbono del compost y su potencial para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. Se trata de un área compleja que podría beneficiarse de más investigaciones, que la ISWA estaría dispuesta a emprender.

En comparación con el compost, el efecto a largo plazo sobre la materia orgánica y la estructura del suelo mediante aplicaciones repetidas del digestato al suelo ha sido menos caracterizado. En general, debido a la naturaleza de las materias primas digeridas, el contenido de materia orgánica en el digestato es más lábil (y por lo tanto menos estable, en términos de su contenido de humus). Sin embargo, las investigaciones han sugerido que el digerido anaeróbico aeróbico posterior al compostaje con desechos leñosos ha demostrado que aumenta el contenido de ácido húmico en el compostaje. No obstante, es probable que el carbono en el digestato contribuya a aumentar la actividad biológica del suelo, y también puede ayudar potencialmente a la formación de humus *in situ*.

Los beneficios relativos del abono y el digestato se relacionan con las necesidades de los agricultores de satisfacer las demandas inmediatas de nutrientes de los cultivos frente a los efectos a más largo plazo en el contenido de materia orgánica del suelo y la mejora de la función del suelo. En general, el digestato se ve mejor como un biofertilizante, mientras que el compost tiene propiedades superiores para mejorar el suelo.

# La importancia de los suelos

## Sobre los suelos

Los suelos son el principal receptor del abono y el digestivo derivados de los desechos orgánicos y desempeñan una importante función en la provisión a los seres humanos de un medio para cultivar alimentos, así como de una serie de importantes servicios ecológicos.

Los suelos cubren la mayor parte de la superficie superior de nuestro planeta, y son fundamentales para sustentar casi toda la vida terrestre en la Tierra. Son una compleja mezcla de sustancias inorgánicas (minerales), materia orgánica, gases, líquidos, macro y microorganismos. Los suelos se forman durante largos períodos de tiempo a través de la interacción del material parental subyacente con la materia orgánica. Es un proceso complejo influenciado por el clima, la topografía y los organismos, en el que el hombre se ve envuelto.

Los suelos cumplen una serie de funciones importantes. En reconocimiento de ello, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha designado el año 2015 como el Año Internacional de los Suelos, estableciendo el importante papel que desempeñan los suelos<sup>43</sup>:

- "Los suelos sanos son la base de la producción de alimentos sanos;
- Los suelos son la base de la vegetación que se cultiva o gestiona para obtener piensos, fibras, combustible y productos medicinales;
- Los suelos apoyan la biodiversidad de nuestro planeta y albergan un cuarto del total;
- Los suelos ayudan a combatir el cambio climático y a adaptarse a él desempeñando un papel clave en el ciclo del carbono;
- los suelos almacenan y filtran el agua, mejorando nuestra resistencia a las inundaciones y sequías;
- El suelo es un recurso no renovable; su preservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible".

## Materia orgánica del suelo

La materia orgánica del suelo (SOM) se deriva de material tanto vegetal como animal que ha sido devuelto al suelo y se ha descompuesto. El SOM puede dividirse a grandes rasgos en dos fracciones: una fracción activa (que representa entre el 10 y el 40%), y una fracción estable (40-60 %), que se denomina "humus" y se forma mediante un proceso denominado "humificación"<sup>50</sup>. El humus está formado por una mezcla compleja de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminos.

No se puede exagerar la importancia de la materia orgánica del suelo. La FAO<sup>50</sup> ha sugerido que,

en lo que respecta a la agricultura:

- sirve como un "fondo de nutrientes giratorio", proporcionando todos los principales nutrientes de las plantas, mientras que la fracción de humus (la fracción orgánica estable) absorbe y mantiene los nutrientes en una forma disponible para las plantas; y
- mejora la estructura del suelo, reduce la erosión y ayuda a mantener la inclinación del suelo.

SOM, y la fracción estable, en particular, sirve como un importante almacén de carbono. A nivel mundial, se cree que representa aproximadamente tres veces más carbono que el contenido tanto en la atmósfera como en las plantas terrestres (citado en<sup>51</sup>). Esto equivale a unos 1500.000 millones de toneladas de carbono, aunque las estimaciones varían según las técnicas de estimación empleadas. Se reconoce que la pérdida de SOM es uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero, después de los combustibles fósiles<sup>52</sup>.

La tasa de rotación del SOM puede variar considerablemente, desde años, décadas a milenios. La sabiduría convencional sugiere que las moléculas aromáticas complejas (como las sustancias húmicas y los productos de combustión derivados de la madera, como el biocarbón) son intrínsecamente más estables en los suelos que las moléculas alifáticas más simples. Sin embargo, esto puede ser más complejo, dependiendo del entorno biótico y abiótico del suelo<sup>51</sup>.

Los cambios en el uso de la tierra y los cambios en la cubierta terrestre (LULCC) son un factor importante que afecta a la dinámica de la formación y descomposición de los SOM. En particular, se ha demostrado que la agricultura reduce la SOM, principalmente debido a las prácticas de arado y labranza. Scharlemann y otros<sup>52</sup> observaron que al convertir la vegetación nativa en tierras de cultivo, se han medido pérdidas de entre el 25 y el 50% de carbono orgánico del suelo en el metro superior. Por ello, se han adoptado varios enfoques de gestión en un intento de reducir las pérdidas de SOM.

En particular, se ha demostrado que las aplicaciones regulares de fertilizantes orgánicos, como el estiércol y el abono, aumentan los niveles de SOM. Los experimentos de campo a largo plazo (160 años) realizados en Rothamsted, en Inglaterra, mostraron aumentos significativos de SOM tras las aplicaciones anuales de abonos de granja, especialmente en los primeros años (citado en<sup>54</sup>). Asimismo, se demostró que las aplicaciones repetidas de abono aumentan la SOM (resumido en<sup>44,45,47</sup>). En un informe publicado por la Comisión Europea en el que se investigaban los efectos de los suelos en el cambio climático, se señalaba también la posibilidad de que el compost mantuviera o aumentara la SOM<sup>55</sup>.

Amenazas a los suelos

La FAO ha indicado que "el 33 por ciento del suelo está moderadamente a altamente degradado debido a la erosión, el agotamiento de los nutrientes, la acidificación, la salinización, la compactación y la contaminación química"<sup>6</sup>. Además, la pérdida de disponibilidad de suelo por proyectos de construcción (el llamado "sellado del suelo", por ejemplo, mediante la construcción de carreteras y viviendas) es importante en zonas de alto crecimiento económico, como ocurre en algunos países de la OCDE.

Las pérdidas de materia orgánica del suelo son particularmente agudas en ciertas partes del mundo, especialmente en aquellas que han sido cultivadas intensivamente. El arado de los suelos a lo largo de decenios en las regiones templadas ha dado lugar a una disminución constante de los niveles de materia orgánica del suelo<sup>51</sup>. En los climas más cálidos, la degradación de los suelos secos como resultado de la eliminación de la vegetación o del pastoreo excesivo del ganado se denomina "desertificación", y tiene importantes impactos ambientales negativos.

En la OCDE, tanto Polonia como la República Eslovaca han indicado que el 55% de sus tierras agrícolas están clasificadas como de riesgo de erosión hídrica de moderada a grave. Más recientemente, el Comité del Reino Unido sobre el Cambio Climático señaló que: "Los niveles de carbono orgánico del suelo se están deteriorando a nivel nacional en los suelos cultivables ... poniendo en riesgo algunas de las tierras agrícolas más productivas de Inglaterra". En conjunto, todas ellas tienen importantes repercusiones en la forma en que los suelos pueden seguir apoyando el crecimiento de los cultivos, adaptarse al cambio climático y llevar a cabo la miríada de funciones necesarias para apoyar la vida en la Tierra.

## Calidad del compost y del digestivo

Los beneficios de la aplicación de abono y digestato a los suelos sólo pueden realizarse si no introducen simultáneamente contaminantes no deseados que puedan perjudicar la función del suelo y dañar a los animales o las plantas. Los contaminantes en el compost y el digestato pueden ser de carácter físico, químico o biológico y se han examinado en detalle en Europa, como parte del deseo de la Comisión Europea de establecer criterios de fin de la condición de desechos. Esta labor fue llevada a cabo por el Centro Común de Investigación (CCI) de la Comisión, e implicó una investigación detallada de los posibles contaminantes en el compost y el digestato, así como un examen de las normas y los planes de certificación existentes<sup>57</sup>.

En su tercer informe, el CCI estableció las condiciones para los criterios de fin de la condición de residuo para el compost y el digestato, así como los criterios de calidad sugeridos, que se resumen en la Figura 3 y la Tabla 3. Los criterios de fin de la condición de residuo son particularmente importantes en el sentido de que establecen límites en los que los desechos recuperados cumplen normas de calidad tan similares a las de los materiales que no son desechos que ya no es necesario aplicar la legislación sobre gestión de desechos. Se trata de un concepto importante al considerar los recursos secundarios y el papel que pueden desempeñar en la sustitución de las materias primas primarias. Esto se examina más a fondo en el informe.

Uno de los principios fundamentales del proyecto de propuestas europeas sobre el fin de los desechos es que los desechos

orgánicos deben recogerse por separado de otros desechos (es decir, no se permiten los desechos orgánicos mezclados) y tratarse en un proceso de compostaje/digestión anaeróbica de calidad garantizada. El Esquema de Garantía de Calidad de Compostaje y Digestato de la Red Europea de Compostaje fue referenciado como un ejemplo. Este plan está en funcionamiento desde 2010 y tiene por objeto proporcionar una línea de base en toda Europa en cuanto a la calidad del compost y el digestato para que se produzca de manera coherente y homogénea, estableciendo criterios para:

- requisitos que debe cumplir una organización nacional de garantía de calidad para las plantas de contabilización/digestión; y
- criterios de calidad para el compost y el digestato.

En el momento de redactar este informe (verano de 2015), el ECN-QAS ha concedido etiquetas de conformidad a cuatro organizaciones nacionales de calidad del compost.

Fuera de Europa existen normas adicionales para el compost, por ejemplo, las de Australia (AS4454) y Nueva Zelanda (NZS 4454:2005). Notablemente, los EE.UU. no tienen un estándar nacional de compostaje o digestión, aunque el Consejo de Compostaje de los EE.UU. opera un Programa de Garantía de Sello de Pruebas, que cubre las pruebas de compostaje, el etiquetado y la información. La situación es similar en el Canadá, donde algunas provincias han adoptado las Directrices del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente sobre la calidad del compost, aunque el Consejo de Normas del Canadá y su organismo, la Oficina de Normalización de Quebec, estaban celebrando consultas públicas sobre un proyecto de norma durante el verano de 2015.

Los criterios de fin de la condición de residuo establecen hitos importantes en lo que respecta a la transformación de los materiales de desecho en productos comercializables. En primer lugar, establecen criterios en los que la legislación sobre desechos deja de tener efecto, lo que significa que los materiales derivados de desechos, si se fabrican con arreglo a normas de calidad definidas, ya no tienen que someterse a controles de desechos restrictivos. En cambio, pueden comercializarse como productos, en consonancia con otros materiales similares no desechos. Los criterios de la EoW también proporcionan un marco para promover la estandarización y la calidad del producto.

Se trata de un concepto importante dentro del concepto de economía circular, en el que la remanufactura y el reciclado de los desechos en productos deben ser de una calidad al menos igual a la de los fabricados a partir de materias primas.



## Fig. 3 | Propuesta de principios europeos para el fin de los desechos

Sólo se permiten los desechos orgánicos no contaminados procedentes de la recogida separada. Quedan excluidos los residuos mixtos contaminados y los lodos de depuración.

Se deben cumplir los perfiles de tiempo y temperatura adecuados para asegurar una adecuada higienización.



Los fabricantes deben declarar los parámetros del producto y proporcionar información al usuario sobre el uso del producto.

Los fabricantes deben operar un sistema de gestión de calidad y ser auditados externamente.

## Tab. 3 | Criterios europeos de calidad de fin de la condición de residuo propuestos para el compost y el digestato

PARÁMETRO	REGIÓN
Contenido de materia orgánica	El compost y el digestato deben contener una cantidad mínima de materia orgánica (15% en base a la masa de materia seca).
Estabilidad	El compost y el digestato deben ser procesados para que se descompongan lo suficiente. Se proponen dos criterios de estabilidad para el compost y tres para el digestato.
Patógenos	El compost y el digestato deben estar libres de especies de Salmonella. Los niveles de E. coli (si está presente) deben ser bajos.
Semillas de malas hierbas y propágulos de plantas	El compost y el digestato deben contener menos de dos semillas de malas hierbas viables por litro.
Impurezas macroscópicas	Se han establecido límites máximos para los contaminantes de vidrio, metal y plástico.
Metales pesados y compuestos orgánicos persistentes	Se han establecido límites máximos para los contaminantes de vidrio, metal y plástico.

## Sectores de mercado del compost y el digestato

En los países de la OCDE se estima que en 2013<sup>12</sup> se compostaron 66 millones de toneladas de desechos municipales, lo que daría lugar a unos 22 millones de toneladas anuales de compost/digestato.<sup>e</sup> En comparación, en toda la UE 27, se estima que se produjeron anualmente 11,3 millones de toneladas de alimentos y abono de desechos verdes (según datos de 2008 y 2010).<sup>57</sup>

No se dispone de datos sobre el uso de compost/digestato en los países de la OCDE; sin embargo, el CCI observa que dentro de la UE, la agricultura constituye el mayor sector del mercado, seguido de la jardinería de aficionados, la horticultura y el paisajismo.<sup>57</sup> Esto se muestra en la figura 4.

Aunque la agricultura es el sector de mercado más importante dentro de la UE, no siempre es así en otros países de la OCDE. Por ejemplo, en el estado de Victoria (Australia), el mercado de servicios urbanos (incluidos el paisajismo, los viveros minoristas y los proyectos especiales) representó el 73%, seguido de la agricultura intensiva con el 9%, la rehabilitación con el 6% y la rehabilitación ambiental con el 4% por volumen de los mercados de abono orgánico en 2013-2014.<sup>58</sup>

Aunque la agricultura es el sector de mercado dominante en la UE, la oferta máxima potencial de todo el compost/digestato manufacturado está muy por debajo del banco de tierras teórico necesario para acomodar estos productos. El CCI estimó que la producción actual de abono en la UE requería

el 1,5% del total de las tierras cultivables en toda la UE27, que se elevaría al 3,2% de todas las tierras cultivables en caso de que se produjera un máximo teórico de 40 millones de toneladas anuales. Por lo tanto, la demanda potencial supera con creces la oferta potencial.

Análogamente, en los países de la OCDE se estima que hay 1.200 millones de hectáreas de tierras agrícolas, de las cuales el 58% son tierras de cultivo y permanentes, y el 42% son pastizales permanentes, lo que significa que el banco potencial de tierras excede con creces el suministro potencial de abono / digestato.

Las ventas tanto de abono como de digestivo dependen de una serie de factores, entre ellos:

- el precio relativo de los fertilizantes inorgánicos;
- la temporada, ya que sólo pueden esparcirse cuando las condiciones del suelo son adecuadas y de acuerdo con la demanda de nutrientes de los cultivos;<sup>f</sup>
- la calidad del producto, las técnicas de comercialización y venta empleadas (por ejemplo, el suministro a granel frente a los productos mezclados y embolsados, los sectores de mercado a los que se dirigen);
- distancias de transporte desde el lugar de fabricación hasta el lugar de utilización final, ya que por lo general no es rentable transportar el abono o el digestato a más de 100 km; y
- los costos de difusión.

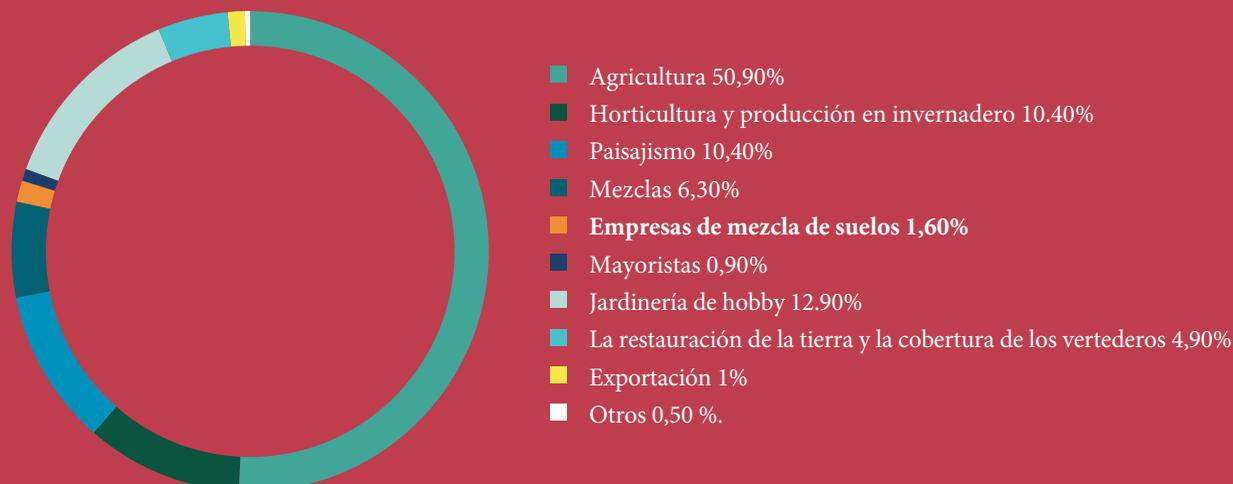
El abono mezclado y embolsado que se vende a los jardineros aficionados como parte de un medio de cultivo puede atraer precios de primera calidad, y puede venderse hasta por 300 dólares por tonelada. Sin embargo, esto representa sólo una fracción muy pequeña del total y no es típico de la mayoría de las ventas de abono. Las ventas al por mayor de abono tamizado a paisajistas, horticultores y jardineros pueden venderse en cualquier lugar de la región entre 5 y 15 dólares por tonelada, aunque, de nuevo, esto puede variar considerablemente.

En lo que respecta a las aplicaciones agrícolas, éstas no tienen un precio elevado, y la mayoría se venden a un precio de entre 1 y 5 dólares por tonelada. Algunos fabricantes de abono pueden ofrecer un servicio de esparcimiento a los agricultores, en cuyo caso los precios pueden ser tan bajos como 1-2 dólares por tonelada. En algunos casos, el abono y el digestato pueden regalarse gratuitamente, y los ingresos de las instalaciones proceden de los derechos de entrada y de la venta de energía renovable. Esto ocurre generalmente cuando los gerentes de las plantas de compost no comprenden las necesidades de los diversos mercados potenciales a los que pueden servir.

<sup>e</sup> Esto supone que el 33% de las materias primas entrantes se convertirán en producto.

<sup>f</sup> Lo mismo ocurre con los fertilizantes inorgánicos.

Fig. 4 | Uso del compost en los principales países productores de compost de la UE





# Potencial de mercado

## La bioeconomía

Los productos descritos en la sección anterior forman parte de la "bioeconomía". Si bien algunos productos están actualmente establecidos y el tamaño del mercado puede estimarse con relativa facilidad, otros se encuentran en fase experimental o sólo se fabrican en pequeña escala, lo que significa que el análisis del mercado es mucho más difícil. Además, sigue habiendo problemas fundamentales cuando se trata de valorar productos que no se pueden comercializar directamente, pero que se utilizan para mantener y aumentar el capital natural. Esto es particularmente importante para el compost (y en menor medida para el digestato), en el que el carbono orgánico estable puede reducir la erosión del suelo y mejorar la materia orgánica del suelo; los beneficios generales para la sociedad en cuanto a la retención del carbono y la mejora de la estructura y la función del suelo son mucho más difíciles de monetizar, pero son importantes de todos modos.

La Comisión Europea estima que el valor de los sectores de la bioeconomía europea se sitúa en torno a los 2 billones de euros (2,2 billones de dólares de los EE.UU.) al año (volumen de negocios), lo que representa más de 22 millones de puestos de trabajo y aproximadamente el 9% de la mano de obra, aunque esto incluye materiales distintos de los desechos.

En un informe de 2009, la OCDE señaló que "La bioeconomía será mundial ... especialmente en las aplicaciones agrícolas e industriales. Aproximadamente el 75 por ciento de la futura contribución económica de la biotecnología y los grandes beneficios ambientales probablemente provengan de estas dos áreas".<sup>60</sup>

## Productos de alto y medio valor

La estimación de los tamaños de los mercados potenciales es compleja, ya que se utilizan diferentes técnicas de valoración para llegar a diferentes cifras. Por consiguiente, hay que tener cuidado para evitar que se saquen conclusiones no significativas. En esta sección se ilustran algunas estimaciones que son útiles para fines de referencia.

El Foro Económico Mundial<sup>6</sup> estimó que los ingresos potenciales globales de la cadena de valor de la biomasa podrían rondar los 295.000 millones de dólares para el año 2020, mientras que se cree que la reducción general de la demanda de productos químicos biológicos está aumentando, siendo los plásticos biológicos los que ofrecen el mayor potencial (Tabla 4).

Además, Frost & Sullivan<sup>28</sup> estimaron que el potencial de mercado de los productos químicos derivados de la lignina (benceno, tolueno, xileno [BTX], fenol, vainillina y fibra de carbono) es superior a 130.000 millones de dólares de los EE.UU., y se prevé que alcance los 208.000 millones de dólares de los EE.UU. en 2020.

A pesar de este importante potencial, uno de los factores primordiales que afectan al potencial de mercado de este sector es el costo relativo de la fabricación a partir de combustibles fósiles y las subvenciones que reciben. Por ejemplo, una estimación sugiere que el costo de la materia prima para producir "productos químicos a granel promedio" a partir de materias primas fósiles es del orden de 33 dólares / GJ de energía, mientras que su equivalente a partir de la biomasa cuesta 83 dólares / GJ de producto final (citado en<sup>62</sup>).

## Productos de alto volumen y bajo valor

### El contenido de nutrientes en el abono y el digestato

El contenido de nutrientes en el abono y el digestato puede calcularse con relativa facilidad y compararse con sus homólogos inorgánicos. El Programa de Acción de Residuos y Recursos del Reino Unido (WRAP) ha desarrollado una "calculadora de nutrientes" basada en la web que permite realizar cálculos rápidos<sup>63</sup>. Esto se reproduce a continuación para el compost y el digestato (basado en pesos frescos) y muestra que los valores equivalentes de los fertilizantes durante el primer año de aplicación son del orden de 4 a 7 dólares de los EE.UU. para el compost y el digestato frescos (Tabla 5).

Cabe señalar que estos cálculos no sólo dependen del precio de los fertilizantes inorgánicos, sino también del supuesto de la disponibilidad de nutrientes para la absorción por las plantas. El calculador de nutrientes del WRAP asume que la disponibilidad de nitrógeno en el primer año para el abono verde derivado de residuos es cero, sin embargo, Prasad ha observado que se situaría entre el 0-20% en el primer año<sup>38</sup>.

La Asociación Italiana de Compostaje y Biogás (CIC) ha desarrollado un instrumento similar, que supone que el 30% del total de N estaría disponible (M. Centemero, Comunicación personal). Utilizando diferentes precios de los

Tab. 4 | **Estimación del aumento relativo de la producción de productos químicos biológicos entre 2010 y 2020**

CATEGORÍA DE PRODUCTOS	MERCADO EN 2010 (MILES DE TONELADAS)	MERCADO ESTIMADO EN 2020 (MILES DE TONELADAS)
Plásticos biológicos	260	2,810
Plásticos biodegradables y biobasados	35	333
Bio-lubricantes	137	420
Biocompuestos	372	920
Plataforma biobasada y productos químicos finos	1,100	1,340

Fuente: <sup>62</sup>

Tab. 5 | **El valor como fertilizante del compost fresco y el digestivo**

	NITROGEN (N)	FOSFATO (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	POTASIO (K <sub>2</sub> O)	TOTAL GBP/ TONELADA	TOTAL EURO/ TONELADA	TOTAL USD/ TONELADA
Precio de mercado de los fertilizantes (GBP/kg)	0.74	0.59	0.44			
<b>ABONO DERIVADO DE RESIDUOS VERDES</b>						
Contenido de nutrientes fácilmente disponible (kg/compost de tono)	0.00	1.50	4.40			
Valor financiero del contenido de nutrientes fácilmente disponibles (por tonelada de abono)	0.00	0.88	1.95	2.83	4.00	4.36
<b>COMPOSTAJE DERIVADO DE RESIDUOS VERDES/ALIMENTARIOS</b>						
Contenido de nutrientes fácilmente disponible (kg/compost de tono)	0.55	1.90	6.40			
Valor financiero del contenido de nutrientes fácilmente disponibles (por tonelada de abono)	0.40	1.12	2.84	4.36	6.15	6.71
<b>DIGESTATO DERIVADO DE RESIDUOS VERDES/ALIMENTARIOS</b>						
Contenido de nutrientes fácilmente disponible (kg/compost de tono)	4.00	0.25	1.60			
Valor financiero del contenido de nutrientes fácilmente disponibles (por tonelada de abono)	2.94	0.15	0.71	3.80	5.36	5.85

Fuente: WRAP <http://www.wrap.org.uk/content/ompost-calculator> [consultado el 9 de julio de 2015] con los precios de los fertilizantes basados en los precios actuales del mercado proporcionados por FARM BRIEF. Tipos de cambio al 8 de julio de 2015.

fertilizantes, el CIC calcula que cada tonelada de abono verde y de desechos de alimentos tiene un valor de 31,50 dólares.

Los beneficios en materia de fertilizantes de la aplicación de abono y digestato a los suelos no sólo se obtienen en el primer año después de la aplicación, sino también en los años siguientes, porque actúan como un banco de nutrientes de liberación lenta. Por ejemplo, los cálculos de Defra en Inglaterra, indican que se puede lograr un ahorro potencial de fertilizantes de 237 dólares por hectárea de tierra cultivable sembrada con cebada de invierno si se esparcen 30 toneladas por hectárea de abono verde derivado de residuos. Este beneficio se transfiere a los años futuros, donde el ahorro real en los costos de los fertilizantes inorgánicos en los años siguientes debido a la aplicación de abono es de 153 dólares de los EE.UU. por hectárea<sup>64</sup>.

En toda la OCDE, teniendo en cuenta la producción real de compost/digestato, se está realizando actualmente en torno a 121 millones de dólares de los EE.UU. anuales en valor de nutrientes; esta cifra podría aumentar a 227 millones de dólares de los EE.UU. anuales (Cuadro 6). Notablemente, esto es más alto que los valores reales que se están realizando, lo que implica que tanto el abono como el digestivo se están vendiendo por debajo. Esto puede deberse a que la industria de la gestión de residuos carece de los conocimientos técnicos necesarios en materia de comercialización, o a que los agricultores no están dispuestos a reconocer el verdadero valor del compost y el digestato;

aunque probablemente también representa los costos de almacenamiento, transporte y esparcimiento, que serían adicionales a los precios de fábrica sugeridos.

### Valoración de la mejora del capital natural

Mientras que el contenido de nutrientes en el compost y el digestato puede calcularse en relación con el precio de los fertilizantes inorgánicos, el contenido de carbono es mucho más difícil de cuantificar en términos monetarios. No se puede subestimar el valor del carbono estable a largo plazo en los suelos, que aporta beneficios de gran alcance, como el secuestro de carbono y la mejora de la tolerancia a la sequía (como se ha señalado anteriormente).

Se muestra una estimación de la cantidad de sustancias húmicas en el compost y el digestato producidas en los países de la OCDE (Cuadro 7).

Esto sugiere que en la actualidad se aplican a los suelos de la OCDE cada año unos cinco millones de toneladas de carbono estable (y diez millones de toneladas de carbono en total), que podrían aumentar a seis millones de toneladas y 12 millones de toneladas, respectivamente, si todos los posibles residuos orgánicos municipales se compostaran/digerieran. Esto sería mucho mayor si se tienen en cuenta los desechos orgánicos comerciales e industriales.

La mejora de la estructura y la función del suelo tras la aplicación de abono a largo plazo ha sido bien documentada, sin embargo, existen dificultades subyacentes para calcular este beneficio para los agricultores (por ejemplo, mediante la reducción/mejora de la labranza, la reducción del riego, etc.). En la actualidad, este carbono no se valora en términos monetarios, ni se tiene en cuenta con precisión su potencial en los cálculos de evaluación del ciclo de vida; por lo tanto, es un área importante que requiere más investigación.

6 Se supone que sí: Nitrógeno a 0,93 USD / kg, fosfato a 0,93 USD / kg y potasa a 0,93 USD / kg.

Tab. 6 | Estimaciones de los valores reales y potenciales de nutrientes en el abono / digestato comparados con el valor realizado

	RESIDUOS ORGÁNICOS COMPOSTADOS (MILLONES DE TONELADAS AL AÑO)	PRODUCCIÓN DE COMPOST/DIGESTATO* (MILLONES DE TONELADAS AL AÑO)	EQUIVALENTE EN FERTILIZANTES MILLONES DE USD**	VENTAS ASUMIENDO QUE EL ABONO/DIGESTATO SE VENDE A 3 USD/TONELADA*** MILLONES DE USD
OCDE Actual	66	22	121	66
Potencial de la OCDE	124	41	227	124

\* Suponiendo un 33% de producto fabricado a partir de materias primas entrantes, teniendo en cuenta las pérdidas de proceso

\*\* Suponiendo que el valor del fertilizante en el compost/digestivo es de 5,50 dólares por tonelada (media de 4-7 dólares/tonelada)

\*\*\* Asumiendo que el abono/digestivo se vende entre 1 y 5 dólares por tonelada, la media es de 3 dólares.

\*\*\*\* Asume que el 70% de la fracción orgánica de los residuos municipales puede ser recogida por separado para el compostaje y la AD.



Tab. 7 | Estimación de las sustancias húmicas en el compost/digestato

	TOTAL C ORGÁNICO EN EL COMPOST* (BASE DE MATERIA SECA)	% TOTAL DE ÁCIDOS HÚMICOS EN EL COMPOST (BASE DE MATERIA SECA)	PRODUCCIÓN DE COMPOST/ DIGESTINO (MILLONES DE TONELADAS ANUALES, MASA FRESCA)	PRODUCCIÓN DE COMPOST/ DIGESTINO (MILLONES DE TONELADAS ANUALES, MASA FRESCA)	ESTIMACIÓN DEL TOTAL DE C ORGÁNICO EN EL COMPOST/ DIGESTINO (MILLONES DE TONELADAS ANUALES, MATERIA SECA)	ESTIMACIÓN DE LAS SUBTANCIAS HÚMICAS EN EL COMPOST/DIGESTINO (MILLONES DE TONELADAS POR AÑO, MATERIA SECA)
OCDE Actual	50%	25%	33	20	10	5
Potencial de la OCDE****	50%	25%	41	25	12	6

\* Véase, por ejemplo<sup>36</sup>

\*\* Asumiendo que el contenido de materia seca es del 60%

# Función actual del sector de la gestión de desechos

## Competencias básicas Métodos de recogida de residuos orgánicos

En los países de la OCDE, el sector oficial de gestión de desechos ha establecido infraestructuras eficientes y eficaces de recogida y transporte de desechos, trasladando los desechos desde el punto en que surgen hasta el punto de tratamiento o eliminación. También tiene capacidad para el tratamiento de desechos, para fabricar productos como el compost o el digestato, o combustibles como el biogás y los combustibles sólidos recuperados.

Existen diversas formas de recoger los desechos sólidos, entre las que se incluyen: recogidas casa por casa, contenedores comunitarios, recogida en la acera, autoentrega y servicios contratados o delegados. La opción u opciones elegidas dependen necesariamente de diversos factores como: la infraestructura vial; los tipos de negocio o de vivienda (como las viviendas de una o varias ocupaciones); las ubicaciones rurales, urbanas o urbanas; las estructuras jurídicas y los mecanismos de cobro; el municipio (autoridad local) y la participación del sector privado.

En general, hay dos enfoques para la recogida de residuos orgánicos, especialmente los de la fracción de residuos sólidos urbanos (RSU):

- Recolecciones separadas - donde los desechos orgánicos se almacenan por separado de otros desechos en el punto en que surgen, y luego se recogen y se envían para su reciclaje como una fracción sólo orgánica; y
- Recolección de residuos mixtos - donde los residuos de diferentes tipos (por ejemplo, papel/tarjeta, metales, plásticos y orgánicos) no se separan en la fuente, sino que se recogen todos juntos y las diferentes fracciones se separan posteriormente en instalaciones a menudo denominadas plantas de tratamiento biológico-mecánico (TMB) o instalaciones de recuperación de materiales sucios (MRF sucios).

La decisión de recoger o no los desechos orgánicos por separado tiene importantes repercusiones en cuanto a la integración con los servicios de recogida de desechos residuales y, lo que es más importante, en cuanto a la calidad de los desechos. Los datos reunidos en nombre del CCI durante la elaboración de las propuestas europeas sobre el fin de los desechos para el compost y el digestato, indicaban que sólo los desechos orgánicos recogidos por separado podían utilizarse como materia prima para fabricar productos de calidad.<sup>57</sup> Se consideró que los niveles de contaminación en las mezclas de abono y digestato derivadas de desechos eran demasiado altos para su uso sin restricciones como producto.

Los desechos orgánicos cubren una amplia gama de materiales, con densidad y contenido de humedad muy variables. (Por ejemplo, los desechos verdes leñosos tienen poca humedad y, debido a su naturaleza ramificada, no son muy densos; en cambio, los desechos de alimentos tienen un alto contenido de humedad, son altamente putrescibles y tienen altas densidades). Tanto la densidad como el contenido de humedad de los desechos son las principales variables que dictan la frecuencia y el tipo de método de recogida empleado. También deben tenerse en cuenta las consideraciones relativas a la higiene, la bioseguridad y la salud humana.

# Métodos de recogida de residuos orgánicos

Recolección de desechos de jardín/verdes Los desechos de jardín botánico (llamados desechos verdes) pueden surgir en diferentes lugares, incluyendo jardines (patios traseros), parques, escuelas, hoteles, clubes de campo y bordes de jardines. Las cantidades y la composición vienen dictadas principalmente por la estación, el clima y las prácticas hortícolas, lo que significa que pueden variar significativamente tanto temporal como espacialmente.

Algunos desechos verdes pueden tratarse in situ, ya sea mediante planes de compostaje doméstico (patio trasero), *in situ* o comunitario, astillando y utilizando las astillas de madera directamente como mantillo de superficie, o mediante la quema. Sin embargo, una proporción importante se recoge por separado para el tratamiento *ex situ*, principalmente en instalaciones de compostaje, o para la producción de biomasa.

En todos los países de la OCDE se han establecido con éxito planes de recolección que incluyen una serie de recolecciones al borde de la acera, contenedores comunitarios, servicios de autoentrega y servicios contratados. También puede utilizarse una amplia gama de receptáculos de recogida que incluyen contenedores con ruedas de 240 y 1.100 litros, bolsas de papel, bolsas de polipropileno reutilizables, contenedores de contenedores y contenedores de carretera. Las frecuencias de recolección también pueden variar desde la diaria (para los desechos de entrega propia), hasta la semanal, quincenal o mensual, especialmente las de las viviendas domésticas.

## Recogida de residuos de alimentos

Los desechos de alimentos pueden surgir en una amplia gama de lugares, incluidos los locales de fabricación y preparación de alimentos, los establecimientos de restauración (como cafés, restaurantes y hoteles), las escuelas, los hospitales, los supermercados y los hogares. Las cantidades masivas de desechos de alimentos generadas por los consumidores han sido el centro de mucha publicidad reciente, incluida la FAO<sup>65</sup>. Las campañas nacionales y locales (como la británica Love Food hate waste) se han centrado en la reducción de las cantidades de residuos de alimentos evitables que se generan, mientras que campañas como Fair Share en el Reino Unido y Annakshetra<sup>66</sup> en la India redistribuyen alimentos comestibles no deseados a quienes los necesitan.

En el caso de los desechos de alimentos que no pueden evitarse o redistribuirse, se han

establecido ampliamente planes de recogida por separado, especialmente en Europa, incluidas ciudades de alta densidad, como Milán en Italia y Seattle en los Estados Unidos. Por lo general, se trata de colecciones de casa en casa o al borde de la acera de propiedades domésticas o pequeñas empresas, o de colecciones contratadas en locales comerciales más grandes.

La naturaleza húmeda y putrescible de los desechos de alimentos significa que se necesitan contenedores y receptáculos especializados para contener los desechos en la fuente antes de su recogida, mientras que se necesitan vehículos especiales para transportar el material a las instalaciones de tratamiento. En particular, algunos desechos de alimentos de fuentes comerciales e industriales pueden ser líquidos o lodos, como los de los locales de fabricación de alimentos, por lo que requieren cisternas especiales para su almacenamiento y transporte.

Los municipios suelen distribuir a los hogares cadáveres de cocina de escritorio en pequeña escala, para que los utilicen junto con recipientes de mayor tamaño y con tapa, que se destinan a la recogida. Muchos municipios promueven o distribuyen revestimientos para cadáveres, para ayudar a reducir las posibles molestias y hacer más eficiente la recolección. Normalmente están hechos de papel o polímeros compostables como el almidón o el PLA. El documento temático de ISWA<sup>67</sup> contiene más información sobre los desechos de alimentos, su recolección y tratamiento, mientras que la guía de WRAP explica algunos de los factores relevantes para la recolección de desechos de alimentos en el Reino Unido<sup>68</sup>.

La mayoría de los planes de residuos de alimentos se recogen en los locales al menos una vez a la semana, si no con más frecuencia. Esto tiene la ventaja de reducir los olores y los posibles factores de molestia, así como de reducir la frecuencia de los residuos. El diseño (la frecuencia y el tipo de receptáculos de recogida), así como la comunicación, son fundamentales para el éxito de estos planes.

## Otros residuos

Hay una serie de desechos orgánicos, además de los desechos de jardín y de alimentos, que son fuentes adecuadas de carbono y nutrientes. Entre ellos figuran, por ejemplo, los residuos de cultivos, los desechos de las industrias de transformación y manufactura, como el lúpulo usado en el proceso de elaboración de cerveza y los desechos de hortalizas de las operaciones hortícolas. Algunas de ellas pueden recogerse y transportarse en buques cisterna o en embarcaciones especiales, en las que pueden participar o no terceros transportistas o el sector oficial de desechos.

# Métodos de tratamiento de desechos orgánicos

En la actualidad, los principales métodos de procesamiento y tratamiento de los desechos orgánicos se centran en dos actividades principales:

- procesamiento físico - como la reducción de tamaño a través de la maceración, la trituración o el despulpado, la eliminación de contaminantes y la compactación, o el tratamiento térmico; y
- tratamiento biológico - ya sea mediante procesos aerobios (principalmente a través del compostaje, aunque pueden emplearse procesos de digestión aeróbica termófila para los purines y los desechos líquidos), y/o digestión anaeróbica.

Los procesos físicos se utilizan ampliamente, por ejemplo, en la fabricación de tableros de partículas a partir de desechos de madera. La mayoría de los procesos de tratamiento biológico también incluyen un elemento de procesamiento físico, especialmente para los desechos municipales y los desechos de alimentos envasados al final de su vida útil. Los métodos de tratamiento biológico mecánico procuran extraer el valor de las corrientes de desechos mixtas. Éstos emplean una serie de técnicas de clasificación y separación física para extraer los materiales reciclables secos y la fracción orgánica, aunque los problemas de contaminación discutidos anteriormente perjudican la calidad y restringen el uso final del material orgánico.

La eliminación de los contaminantes sigue siendo una cuestión crítica para la mayoría de las operaciones de tratamiento. Si bien el equipo de trituración, cribado y desensado se ha desarrollado considerablemente en el último decenio, las cuestiones relativas a la arenilla (en los lodos) y la eliminación de las bolsas de plástico siguen siendo problemáticas. Para que los desechos orgánicos se consideren sustratos potencialmente útiles para su conversión en productos de mayor valor, es necesario que se adopte más ampliamente una comunicación coherente para evitar la contaminación en primer lugar por parte de los productores de desechos, junto con métodos de pre-tratamiento más sofisticados y eficaces.

En la actualidad, parece haber pocas instalaciones de pre-tratamiento en gran escala que refinen y mejoren los desechos orgánicos para utilizarlos como sustratos para su conversión en productos de mayor valor. Esto probablemente ilustra la desconexión entre la demanda de productos químicos de origen convencional y el potencial del sector de los desechos para "biorrefinar" las materias primas en cantidades suficientes y con especificaciones de calidad (aún no definidas) para satisfacer parcialmente esta demanda potencial.

# Desafíos para el sector de los desechos

## Desafíos macroeconómicos

El sector de los desechos se enfrenta a una serie de retos importantes si quiere pasar de su competencia básica, que consiste en la recogida y el transporte de desechos de bajo valor, a otra que sea capaz de recoger selectivamente una serie de desechos diferentes y tratarlos con una especificación suficientemente alta para que puedan utilizarse como sustratos para fabricar una serie de productos de alto valor. Al hacerlo, el sector de los desechos también se enfrenta a importantes limitaciones macroeconómicas que actualmente favorecen la fabricación de productos a partir de materias primas primarias, más que de materias primas secundarias.

### Costo relativo de los combustibles fósiles

En la mayoría de los casos, los productos de base biológica deben competir con los productos derivados de las materias primas, que suelen estar basados en el petróleo o dependen de procesos que dependen de los combustibles fósiles. Esto significa que se ven directamente afectados por el precio relativo del petróleo crudo, que ha disminuido considerablemente durante 2015, de más de 100 dólares por barril a mediados de 2014 a menos de 50 dólares por barril a mediados de 2015. Los costos de recogida, acondicionamiento y procesamiento de los desechos orgánicos como precursores de productos de alto valor hacen difícil que el sector de los desechos compita económicamente con los sustratos tradicionales no desechos que han establecido rutas de suministro y se benefician de las economías de escala. El ejemplo citado por Nita *et al.* pone de relieve la magnitud del desafío: el costo de la materia prima para producir "productos químicos medios a granel" a partir de la biomasa es más de dos veces y media más caro que los derivados de las materias primas fósiles.<sup>62</sup>

Un impedimento adicional se refiere a los subsidios<sup>69</sup> energéticos basados en combustibles fósiles que distorsionan aún más la competitividad de los costos de los productos basados en materiales secundarios. Los productos de base biológica, y especialmente los derivados de desechos orgánicos, deben poder competir en igualdad de condiciones con los precursores de origen tradicional.

Sin subsidios u otros incentivos fiscales para corregir este desequilibrio, parece que estos productos seguirán siendo un nicho.

### Marco legislativo

En todos los países de la OCDE, los desechos se definen y regulan para garantizar que no perjudiquen la salud humana o el medio ambiente. Estos principios sirven bien a la sociedad para su propósito previsto, pero actúan como una barrera cuando se considera que los desechos son un recurso y cómo sus componentes pueden integrarse en una economía basada en los materiales.

Los estrictos controles que se aplican a los propietarios, transportistas y procesadores de desechos orgánicos no se aplican, en general, a las materias primas que no son desechos. Estos controles conllevan un costo administrativo que pesa aún más contra su conversión en productos de mayor valor.

En particular, las restricciones impuestas al movimiento y la utilización de los desechos impiden específicamente su integración en procesos establecidos que no sean de desechos. Es necesario abordar esta incertidumbre de la utilización de precursores derivados de desechos. Es necesario elaborar nuevas especificaciones de calidad y criterios de fin de la condición de residuo a lo largo de toda la cadena de valor, de modo que los convertidores y fabricantes de productos de alto valor tengan confianza en su eficacia y coherencia.

## Infraestructura

Además de los obstáculos fiscales y legislativos, la falta de infraestructura de procesamiento existente constituye una barrera operacional. Es necesario que los nuevos equipos de capital y la infraestructura encajen con las capacidades de recolección, procesamiento y fabricación, creando instalaciones integradas. Podrían lograrse importantes beneficios mediante el desarrollo de sitios integrados que incluyeran el preprocesamiento y el refinamiento de desechos para aplicaciones de alto nivel, así como la digestión anaeróbica y el compostaje, lo que permitiría una cascada de recursos rentable. Esto se puso de relieve en un informe de Dalberg<sup>70</sup>, en el que se sugería que la ubicación conjunta de las biorefinerías con las instalaciones existentes podría suponer un nuevo ahorro de capital de entre el 20 y el 80%, dependiendo del nivel de sinergia alcanzado.

## Desafíos de servicio

El sector de la gestión de desechos también se enfrenta a problemas en la forma en que diseña y opera sus servicios. Éstos se resumen en la figura 5 y se examinan a continuación.

### Mejorar las tasas de captura de residuos

Como se ha señalado anteriormente en el presente informe, se estima que cada año se recogen 56 millones de toneladas de desechos orgánicos, sólo de la corriente de desechos municipales, que no se recogen por separado para su tratamiento biológico, mientras que el potencial de los sectores comercial, industrial y agrícola es en gran medida desconocido, pero significativo.

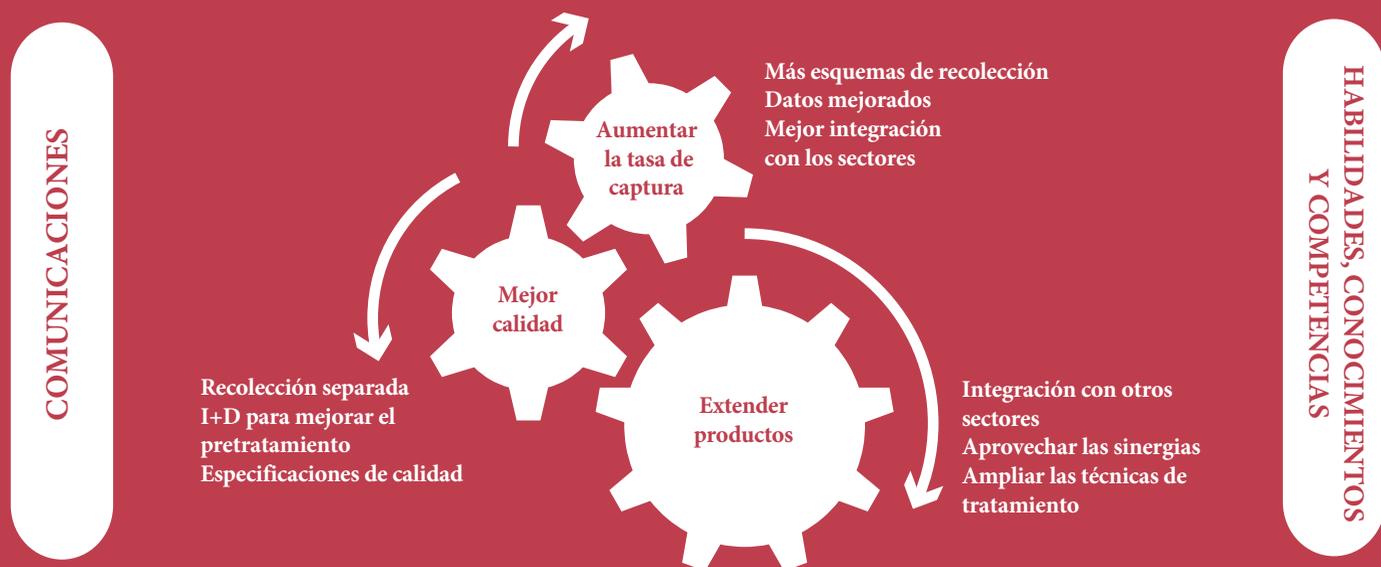
A fin de aprovechar al máximo estos recursos sin explotar, será necesario ampliar y mejorar los planes de recolección por separado en todos los países de la OCDE. Esto implicará, en muchos casos, la coordinación de actividades entre los sectores público y privado, la sociedad civil y los particulares. En última instancia, será necesario aumentar el número y la eficacia de los planes de recolección.

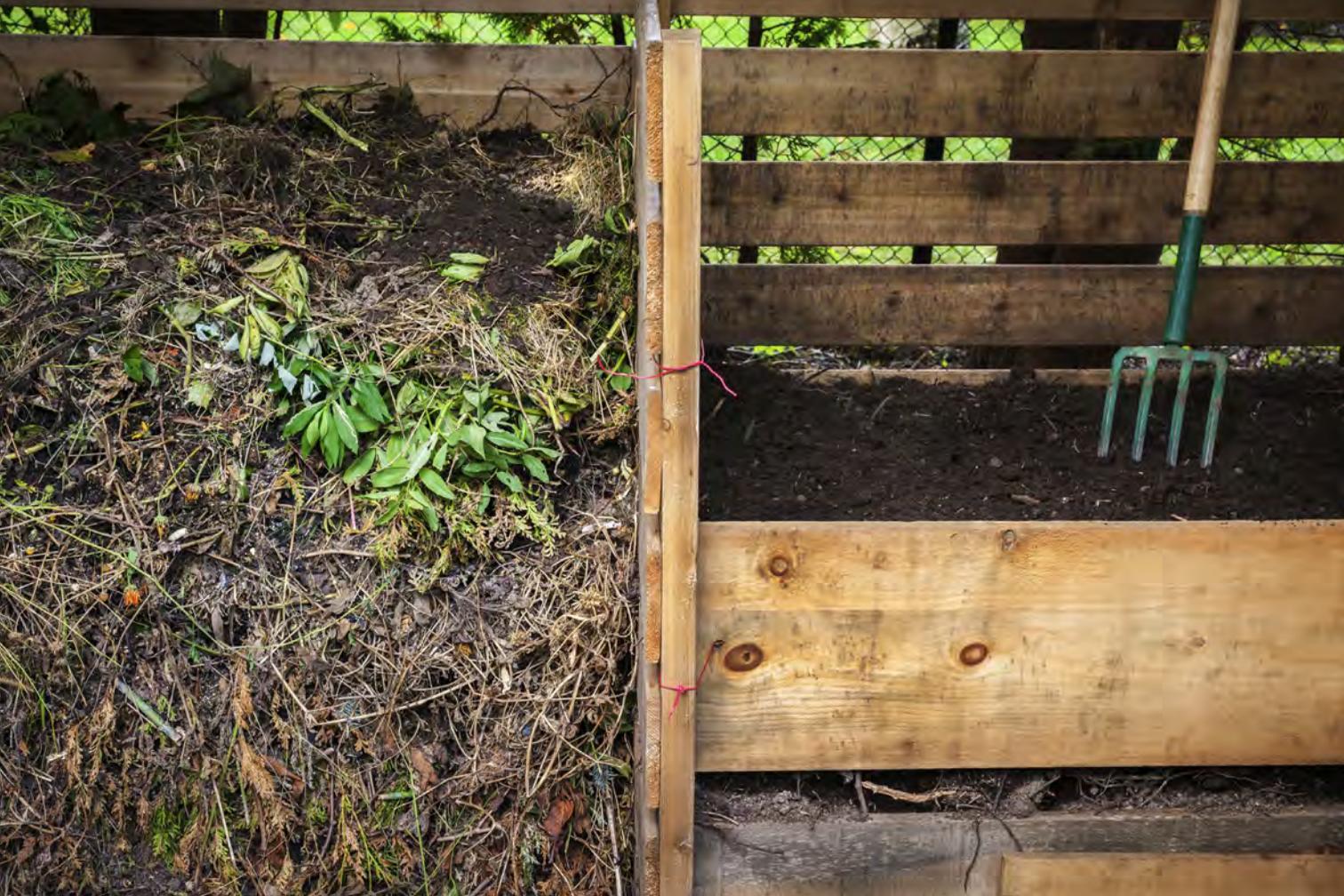
Aunque inevitablemente incurrirán en gastos de capital iniciales, su eficacia en función de los costos ha quedado demostrada cuando se tiene en cuenta el impacto sobre los materiales reciclables secos y los desechos residuales. El intercambio de información, buenas prácticas y datos entre los municipios, los productores de desechos no municipales y el sector de los desechos será fundamental para ayudar a conseguirlo.

### Entrega de desechos orgánicos limpios y homogéneos

La entrega de desechos orgánicos de suficiente calidad y consistencia para que puedan ser convertidos en productos de alto valor depende de planes de recolección separada bien gestionados. La eficacia de éstos no sólo depende del diseño, sino también del nivel de comunicación entre el procesador, el recolector y el productor de los desechos propiamente dichos. Se necesita una comunicación coherente y eficaz para educar y motivar a los productores de desechos sobre la calidad, mientras que los recolectores y procesadores (en particular cuando intervienen terceros) deben conocer los criterios de aceptación o rechazo. La comunicación

Fig. 5 | Retos de los servicios para el sector de los desechos





efectiva y actualizada a lo largo de la cadena de valor es esencial.

A esto se suma la necesidad de mejorar las técnicas de pretratamiento de residuos, no sólo para reducir la contaminación sino también para convertir y extraer ciertos componentes de los residuos como precursores de productos. Es necesario seguir investigando y desarrollando para mejorar la eficacia de las técnicas de pretratamiento y adoptar las que se emplean actualmente en sectores industriales comparables.

La gestión de los desechos variables y heterogéneos sigue siendo un reto importante para el sector.

### **Mejora de las estadísticas de residuos**

A pesar de las mejoras en los datos sobre desechos municipales, sigue habiendo considerables incertidumbres en las estadísticas de desechos comerciales, industriales y agrícolas; esto se debe, en parte, a la clasificación, así como a las dificultades prácticas de cuantificar los residuos, especialmente cuando se tratan o eliminan *in situ*. Esto significa que puede ser difícil predecir con exactitud el crecimiento de los residuos que surgen y los cambios en su composición. El mejoramiento de la clasificación y la reunión de datos

promovería una mejor planificación y gestión de los recursos. Iniciativas como el proyecto FUSIONS, financiado por la UE, tiene por objeto contribuir a la armonización de la vigilancia de los residuos de alimentos en toda la UE<sup>71</sup>.

### **Aumentar las competencias básicas del sector**

El sector de los desechos emplea a un gran número de personas con conocimientos y aptitudes específicos, cuyas competencias se centran en la recogida, el transporte y el tratamiento de los desechos. Si va a abrazar la economía circular y convertirse en proveedor de una gama de productos basados en el carbono y los nutrientes, entonces no puede actuar de forma aislada. Para realizar este potencial, el sector de los desechos deberá integrar sus servicios con los de las industrias paralelas, como las del petróleo y el gas, los productos químicos y la agricultura. Para lograrlo, será necesario ampliar las normas de competencia y las calificaciones, de modo que reflejen los requisitos técnicos cada vez mayores de una serie de ocupaciones directivas y operativas.

Del mismo modo, se necesitarán mejores aptitudes de comercialización y comunicación para que el sector pueda promover mejor la gama de servicios y productos que ofrece. Todo esto debe estar respaldado por un entrenamiento de alta calidad.

# Conclusiones

Los desechos orgánicos contienen cantidades significativas tanto de carbono como de nutrientes vegetales. Estos valiosos recursos pueden reciclarse en biofertilizantes y mejoradores de suelos mediante las técnicas tradicionales de compostaje y digestión anaeróbica, o transformarse en nuevos materiales de base biológica mediante sofisticados procesos de biorrefinería. Un entorno macroeconómico propicio, junto con la captura y el tratamiento eficaces de los desechos orgánicos, es la clave para desbloquear el potencial que contienen estos recursos.

Los mercados de productos biológicos de alto y mediano valor son potencialmente masivos, con estimaciones de miles de millones de dólares de los EE.UU. anuales. Sin embargo, en la mayoría de los casos, su competitividad estará vinculada al costo relativo de la

fabricación a partir de precursores basados en el petróleo, contra el que tendrán que competir.

Actualmente, el costo del petróleo crudo dicta el precio relativo de los sustratos no residuales; dado el bajo precio actual del petróleo (< 50 dólares por barril), esto es significativo. Además, las subvenciones a los combustibles fósiles, las redes de suministro establecidas y las economías de escala de los recursos primarios pesan en contra del desarrollo de nuevas infraestructuras y de la capacidad de procesamiento para explotar los recursos secundarios derivados de los desechos.

Análogamente, la legislación vigente en materia de desechos también sirve de barrera para integrar los recursos derivados de los desechos en una economía basada en los

materiales, tanto desde el punto de vista logístico como económico. Esta incertidumbre debe abordarse mediante un marco legislativo propicio, junto con la elaboración de nuevas especificaciones de calidad y criterios de fin de los desechos en toda la cadena de valor de la biomasa. Los fabricantes y consumidores de productos de desecho deben tener confianza en su seguridad, eficacia y consistencia.

La industria de la gestión de desechos también tiene un importante papel que desempeñar para ayudar a que esto se haga realidad, actuando como proveedor de sustratos derivados de desechos para su conversión en productos potencialmente de alto valor. Sin embargo, para que esto funcione, será necesario ampliar la competencia básica del sector de los desechos como recolector, transportador y convertidor de desechos.



La fabricación de productos químicos y materiales especializados de base biológica depende necesariamente de procesos de transformación técnicamente exigentes, que a su vez requieren sustratos químicamente definidos. En la actualidad, se suelen utilizar subproductos y coproductos agrícolas, ya que éstos son más homogéneos y de composición conocida cuando se comparan con los desechos (especialmente los de origen municipal). Los desechos, por su propia naturaleza, son heterogéneos, relativamente mal definidos y pueden acarrear diversos niveles de contaminación, lo que plantea importantes retos para el sector. Es necesario llevar a cabo actividades de investigación y desarrollo para mejorar el pretratamiento y el acondicionamiento de los desechos orgánicos a fin de obtener materias primas de igual calidad que las que se obtienen de manera convencional (es decir, subproductos y coproductos agrícolas).

Dentro de los países de la OCDE, la industria de la gestión de desechos cuenta con una sólida red de recogida y reciclaje/eliminación de desechos orgánicos municipales. Sin embargo, a pesar de ello, sólo el 53% del potencial realista total de la corriente municipal por sí solo se convierte en abono o se digiere anaeróbicamente; esto deja unos 58 millones de toneladas de recursos sin explotar procedentes de los desechos municipales que podrían reciclarse para recuperar el carbono y los nutrientes para crear una gama de productos y mejorar los suelos.

Los vínculos con los desechos comerciales e industriales parecen estar menos desarrollados. En comparación con el sector municipal, los datos están menos definidos, por lo que puede resultar difícil comprender la dinámica de la oferta (por ejemplo, las fuentes y las cantidades) y predecir las tasas de crecimiento y los cambios en la composición. Se necesita desesperadamente una mejor categorización, recopilación y análisis de los datos relativos a los desechos comerciales e industriales, a fin de evaluar mejor las posibilidades de obtener estos desechos orgánicos comparativamente homogéneos.

La industria de gestión de desechos es competente en la recolección y gestión de procesos de reciclado bien establecidos, como el compostaje y la digestión anaeróbica; sin embargo, si quiere crecer y diversificar sus operaciones, no puede trabajar de manera aislada. Tendrá que establecer asociaciones con otros sectores complementarios y ampliar sus competencias básicas,

diversificando sus normas de competencia y sus calificaciones, y extender la capacitación a todos los niveles profesionales.

Para aprovechar plenamente las posibles oportunidades que ofrece la fabricación de productos de mayor valor, podrían crearse sinergias mediante la ubicación conjunta de plantas de procesamiento de desechos junto a operaciones de biorrefinería más sofisticadas. La falta de infraestructura de procesamiento existente presenta actualmente una barrera operativa. El nuevo equipo de capital y la nueva infraestructura tendrán que encajar con las capacidades de recolección, procesamiento y fabricación, creando instalaciones integradas en las que se puedan realizar economías de escala y sinergias. Esto tiene el potencial de realizar importantes ahorros de capital y de costos operacionales, lo que permitiría una cascada de recursos más rentable. También sería necesario que el sector desarrollara y mejorara sus aptitudes en materia de comunicaciones y comercialización.

Los mercados de productos de compostaje y digestión de alto volumen y bajo valor están actualmente establecidos, aunque no están en absoluto saturados. El valor nutritivo del abono y el digestato puede calcularse en relación con su equivalente en el caso del fertilizante inorgánico, que se compara con el precio de la energía. Utilizando una calculadora de nutrientes en la web del Reino Unido, en promedio, cada tonelada de abono/digestato tendrá un valor nutritivo de 5,50 dólares (producto fresco). Esto representa sólo los nutrientes disponibles en los cultivos y no los que permanecen en el suelo y se liberan gradualmente en los años siguientes.

Se ha demostrado que la aplicación de abono al suelo a lo largo de varios años aumenta los niveles de materia orgánica, mejorando así las propiedades y la función del suelo, además de contribuir al almacenamiento de carbono a largo plazo. El impacto de las aplicaciones repetidas del digestato es menos conocido y podría beneficiarse de más investigaciones. Al crear productos combinados, en los que el digestato anaeróbico se post-compone con desechos verdes, hay algunas pruebas de que el contenido de ácido húmico aumenta, lo que contribuiría a la formación estable de carbono. Esta práctica se adopta ampliamente en Italia, pero es poco común en la mayoría de los demás países de la OCDE. Una vez más, las sinergias pueden realizarse combinando los procesos de tratamiento biológico aeróbico y anaeróbico.

Aunque el valor nutritivo del abono y el digestato puede calcularse con relativa facilidad, el beneficio del carbono orgánico y su efecto en la materia orgánica del suelo no se valora actualmente en términos monetarios. La materia orgánica del suelo representa un recurso finito y vulnerable, que actúa como un sustancial sumidero de carbono a nivel mundial. Dado que la mayoría de los suelos cultivables muestran signos de pérdida de materia orgánica, esto no sólo tiene el potencial de reducir la productividad, sino que también tiene importantes repercusiones en el cambio climático.

Es preciso evaluar el valor monetario que tiene para los agricultores la mejora de la estructura y la función del suelo mediante la aplicación a largo plazo de abono y digestato, lo que supone, por ejemplo, un ahorro gracias a la reducción/mejora de la labranza, la reducción del riego, la mejora de la utilización de fertilizantes y la reducción de la erosión del suelo. Aunque es intrínsecamente compleja, es una esfera importante que requiere más investigaciones para que el verdadero valor de esos productos pueda utilizarse con fines de comercialización y evaluación de políticas (por ejemplo, los cálculos de evaluación del ciclo de vida). La integración de esos beneficios en las políticas agrícolas nacionales y regionales crearía un poderoso motor.

En conclusión, el valor del carbono y los nutrientes de los residuos orgánicos se está realizando actualmente, al menos en parte. Existe un potencial significativo para maximizar la recolección y recuperación de desechos orgánicos en todos los países de la OCDE, y para utilizarlos en la fabricación de productos biológicos de alto valor, así como para reciclar nutrientes y mejorar los suelos mediante la aplicación de abono y digestato de calidad. Las actuales políticas macroeconómicas, la falta de infraestructura de procesamiento y de normas operacionales impiden efectivamente el desarrollo de este sector. El sector de la gestión de desechos también tiene un papel fundamental que desempeñar, pero necesariamente tendrá que diversificar sus operaciones, competencias básicas y modelos comerciales. Es necesario abordar la cuestión de la colocación de los procesos de tratamiento y fabricación en un solo lugar, la superación de las barreras técnicas y la valoración de los beneficios de la mejora del capital natural.



# Referencias

- <sup>1</sup> Gustavsson, J., Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación & ASME/Conferencia Técnica de la Cuenca del Pacífico y Exposición sobre Integración y Empaquetado de MEMS, N. y Sistemas Electrónicos. Pérdidas y desechos de alimentos en el mundo: alcance, causas y prevención: estudio realizado para el Congreso Internacional "Save Food!" en Interpack 2011 Düsseldorf, Alemania. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2011).
- <sup>2</sup> IPCC. Forzamiento radiativo antropogénico y natural. Dentro: Cambio Climático 2013: La base de la ciencia física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2013).
- <sup>3</sup> MacArthur, E. Hacia la economía circular. (2013). en <[http://www.mvonderland.nl/system/files/m dia/to-wards-the-circular-economy.pdf](http://www.mvonderland.nl/system/files/m%20dia/to-wards-the-circular-economy.pdf)>
- <sup>4</sup> Naciones Unidas, División del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Perspectivas de la Población Mundial: Documento de trabajo de la revisión, aspectos destacados y tablas avanzadas de 2012 No. ESA/P/WP.228. (2013).
- <sup>5</sup> Alexandratos, N., Bruinsma, J. y otros. La agricultura mundial hacia 2030/2050: la revisión de 2012. Trabajo de la ESA. Pap 3, (2012).
- <sup>6</sup> FAO. El suelo es un recurso no renovable. (2015). en <<http://www.fao.org/3/ai4373e.pdf>>
- <sup>7</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Tendencias y perspectivas mundiales de los fertilizantes hasta 2018. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2015).
- <sup>8</sup> Comisión Europea. Comunicación Consultiva sobre el uso sostenible del fósforo. (2013).
- <sup>9</sup> Van Kauwenbergh, S. J. Reservas y recursos mundiales de roca fosfórica. (2010).
- <sup>10</sup> Comisión Europea. Sobre la revisión de la lista de materias primas críticas para la UE y la aplicación de la Iniciativa de Materias Primas. (2014).
- <sup>11</sup> Plataforma Europea del Fósforo Sostenible. en <<http://www.phosphorusplatform.eu/>>
- <sup>12</sup> Estadísticas de la OCDE, Residuos, Residuos municipales - Generación y tratamiento. (2015). en <<http://stats.oecd.org/>>
- <sup>13</sup> Jeong, H., Bagherzadeh, M. & Inamura, M. Desperdicios de comida a lo largo de la cadena alimenticia. (2014). en <[http://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/food-waste-along-the-food-chain\\_5jxrcmftzj36-en](http://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/food-waste-along-the-food-chain_5jxrcmftzj36-en)>
- <sup>14</sup> Eurostat - Explorador de datos. (2015). en <<http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do>>
- <sup>15</sup> Lal, R. Residuos de cultivos y carbono del suelo. (FAO, 2008). en <<http://www.fao.org/ag/ca/Carbn%20Offset%20Consultation/CARBONMEETING/3FULLPAPERSBYCONSULTATIONSPEAKERS/PAPERLAL.pdf>>
- <sup>16</sup> Hoornweg, D. & Bhada-Tata, P. Qué desperdicio: un examen mundial de la gestión de los desechos sólidos. (2012). en <<https://www.wdronline.worldbank.org/handle/10986/17388>>
- <sup>17</sup> OLFATEA. Evaluación de las relaciones carbono/nitrógeno en varias corrientes de desechos de compostaje. (OLFATEADOR, 2011)
- <sup>18</sup> Potter, P., Ramankutty, N., Bennett, E. M. & Donner, S. D. Caracterización de los patrones espaciales de la aplicación global de fertilizantes y la producción de estiércol. Earth Interactions 14, 1-22 (2010).
- <sup>19</sup> OCDE. Edición de 2013 de la Base de Datos sobre el Medio Ambiente de la OCDE: Nutrientes. Estadísticas de la OCDE (2013). en <<http://stats.oecd.org/>>
- <sup>20</sup> Fundación Ellen MacArthur. Delivering the Circular Economy A Toolkit for Policymakers. (2015).
- <sup>21</sup> Tuck, C.O., Perez, E., Horvath, I.T., Sheldon, R.A. y Poliakov, M. Valorización de la biomasa: Derivar más valor de los residuos. Ciencias 337, 695-699 (2012).

- 22 Fonseca, G. G., Fonseca, G. G., de Arruda-Caulkins, J. C. & Vasconcellos Antonio, R. Producción y caracterización del poli-(3-hidroxibutirato) a partir de *Escherichia coli* recombinante cultivado en sustratos de carbono renovables baratos. *Waste Management & Research* 26, 546-552 (2008).
- 23 Nikodinovic-Runic, J. y otros en *Avances en Microbiología Aplicada* 84, 139-200 (Elsevier, 2013).
- 24 Preethi, R., Sasikala, P. & Aravind, J. Producción microbiana de polihidroxialcanoato (PHA) utilizando residuos de frutas como sustrato. *Investigación en Biotecnología* 3, 61-69 (2012).
- 25 Sakai, K., Poudel, P. y Shirai, Y. Sistema de reciclaje total de residuos de comida para la producción de ácido poliláctico. (INTECH Editorial de acceso abierto, 2012). en <[http://cdn.intechopen.com/pdfs/26394/InTech-Total\\_recycle\\_system\\_of\\_food\\_wast\\_for\\_poly\\_l\\_lactic\\_acid\\_output.pdf](http://cdn.intechopen.com/pdfs/26394/InTech-Total_recycle_system_of_food_wast_for_poly_l_lactic_acid_output.pdf)>
- 26 Green Biologics Feedstocks. Green Biologics (2015). en <<http://www.greenbiologics.com/feedstock.php>>
- 27 Bayer, I. S. y otros. Transformación directa de residuos vegetales comestibles en bioplásticos. *Macromoléculas* 47, 5135-5143 (2014).
- 28 Smolarski, N. Oportunidades de alto valor para la lignina: desbloquear su potencial. París: Frost & Sullivan (2012). en <<http://www.greenmaterials.fr/wp-content/uploads/2013/01/High-value-Opportunities-for-Lignin-Unlocking-its-Potential-Market-Insights.pdf>>
- 29 Gosselink, R.J.A. y otros. La lignina como recurso aromático renovable para la industria química. (editor no identificado, 2011). en <[http://www.wageningenur.nl/upload\\_mm/d/7/f/35cbaa28-e1d6-4d6a-88f1-bfa1265b9af0\\_Mini-symp%206-12-2011%20Gosselink\\_Lignin%20as%20a%20renovable%20aromatic%20resoce%20for%20the%20chem%20ind.pdf](http://www.wageningenur.nl/upload_mm/d/7/f/35cbaa28-e1d6-4d6a-88f1-bfa1265b9af0_Mini-symp%206-12-2011%20Gosselink_Lignin%20as%20a%20renovable%20aromatic%20resoce%20for%20the%20chem%20ind.pdf)>
- 30 Quagliotto, P., Viscardi, G., Montoneri, E., Goberro, R. & Adani, F. Compostar materia similar al ácido húmico como surfactante. en *Geophysical Research Abstracts* 7, 10555 (2005).
- 31 Essel, R. ¿Cuál es realmente la mejor fuente de azúcares C5/C6 como materia prima para los procesos biotecnológicos? (2012). en <<http://www.biobased.eu/foodcrops/media/12-09-21Bestsourceforindustry.pdf>>
- 32 Chuayjuljit, S., Su-uthai, S. & Charuchinda, S. Película de poli(cloruro de vinilo) rellena de celulosa microcristalina preparada a partir de residuos de tejidos de algodón: estudio de propiedades y biodegradabilidad. *Gestión de desechos e investigación* 28, 109-117 (2010).
- 33 Fibras de carbono avanzadas de Lignina. Equipo de Investigación del Grupo de Investigación de Compuestos de Polímeros de la Universidad Estatal de Iowa (2015). en <<http://polycomp.mse.iastate.edu/advanced-carbon-fibers-from-lignin/>>
- 34 Plataforma de fósforo - éxito de ventas de Struvite en el Reino Unido. (2015). en <<http://phosphorusplatform.eu/platform/news/681-struvite-sales-success-in-uk.html>>
- 35 La formación de sustancias húmicas. (2015). en <<http://karnet.up.wroc.pl/~weber/powstaw2.htm>>
- 36 Binner, E., Smidt, E., Tintner, J., Bohm, K. & Lechner, P. Cómo mejorar la humidificación durante el compostaje de los desechos biológicos recolectados por separado: impacto de la materia prima y el procesamiento. *Waste Management & Research* 29, 1153-1163 (2011).
- 37 Schievano, A. y otros. Lo que es digerido. La digestión anaeróbica: Oportunidades para la agricultura y el medio ambiente. Regione Lombardia, Milán (Italia) 7-18 (2009).
- 38 Prasad, M. Una revisión de la literatura sobre la disponibilidad de nitrógeno del compost en relación con las regulaciones de los nitratos SI 378 of 2006. *Environ. Agencia de Protección*, Wexford, Irlanda (2009). en <<http://www.cre.ie/docs/Nitrogen%20Review.pdf>>
- 39 WRAP. Uso de digestato anaeróbico de calidad para beneficiar los cultivos. (2012). en <[http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/1567801%20WRAP%20Agri%20Brochure-AW%20Website\\_0.pdf](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/1567801%20WRAP%20Agri%20Brochure-AW%20Website_0.pdf)>
- 40 Prasad, M. Una revisión de la literatura sobre la disponibilidad de fósforo del compost en relación con las regulaciones de los nitratos SI 378 of 2006. Informe de estudio en pequeña escala preparado para el Organismo de Protección del Medio Ambiente por la Asociación de Compostaje de Irlanda, programa STRIVE, República de Irlanda (2013). en <<http://www.rx3.ie/MDGUploadedFiles/file/Phosphorus%20Review.pdf>>
- 41 WRAP. Usando abono de calidad para beneficiar a los cultivos. en <[http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/15678-01%20WRAP%20Agri%20BrochureAW%20Website\\_0.pdf](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/15678-01%20WRAP%20Agri%20BrochureAW%20Website_0.pdf)>
- 42 Noble, R., Pereira, N., Coventry, E. & Whipps, J. Estudio de alcance de la investigación realizada sobre la capacidad de supresión de enfermedades de los materiales compostados en la horticultura, la agricultura y las aplicaciones de césped. (2006).
- 43 FAO. 2015 Año Internacional de los Suelos. 2015 Año Internacional de los Suelos (2015). en <<http://www.fao.org/soils-2015/en/>>
- 44 Amlinger, F. y otros. Efectos beneficiosos de la aplicación del compost en la fertilidad y la productividad de los suelos Estudio de la literatura. (2007).
- 45 Baden-Württemberg, L. R., Haber, N. & Teutsch, G. Sustainable Compost Application in Agriculture. (2008). at <[http://www.compostnetwork.info/wordpress/wp-content/uploads/2011/05/ECN-IN-FO-02-2010\\_Sustainable\\_Use\\_of\\_Compost\\_in\\_Agriculture\\_LTZ-Project.pdf](http://www.compostnetwork.info/wordpress/wp-content/uploads/2011/05/ECN-IN-FO-02-2010_Sustainable_Use_of_Compost_in_Agriculture_LTZ-Project.pdf)>
- 46 Enviro Consulting & Stockbridge Technology Centre. Apoyar el desarrollo de normas para el compost mediante la investigación de los beneficios y la eficacia del uso del compost en diferentes aplicaciones. (2004). en <<http://www2.wrap.org.uk/downloads/LitReviewCompostBenEff1.641b33d4.396.pdf>>

- 47 WRAP. Los experimentos de campo muestran claros beneficios para los agricultores por el uso regular del com-post. (Programa de Acción sobre Residuos y Recursos, 2015). en <<http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/DC-Agri%20-%20Bulletin%207%20-%20Compost%20Benefits.pdf>>
- 48 Van-Camp, L. y otros. Informes de los Grupos de Trabajo Técnicos establecidos en el marco de la Estrategia Temática para la Protección del Suelo. Volumen III Materia orgánica. 872 (Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, 2004). en <[http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB\\_Archive/Polices/STSWeb/vol3.pdf](http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/Polices/STSWeb/vol3.pdf)>
- 49 Prasad, M., Lee, A. & Gaffney, M. Una caracterización química y de nutrientes de la fibra del compost y del digestato anaeróbico, incluyendo una liberación comparativa de nitrógeno y fósforo. (rx3, 2013). en <<http://www.rx3.ie/MDGUploadedFiles/file/rx3%20MDR0598%20Rp0021%20Munoo%20May%202013%20F03.pdf>>
- 50 Bot, A. & Benites, J. La importancia de la materia orgánica del suelo: clave para un suelo resistente a la sequía y una producción alimentaria sostenida. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2005).
- 51 Schmidt, M. W. I. et al. Persistencia de materia orgánica del suelo como una propiedad del ecosistema. *Nature* 478, 49-56 (2011).
- 52 Scharlemann, J. P., Tanner, E. V., Hiederer, R. & Kapos, V. Carbono del suelo global: comprensión y gestión de la mayor reserva de carbono terrestre. *Carbon Management* 5, 81-91 (2014).
- 53 Victoria, R. y otros. Los beneficios del carbono del suelo. Cuestiones emergentes en nuestro medio ambiente mundial. Anuario del PNUMA (2012). en <[http://www.researchgate.net/profile/Hans\\_Joosten2/publication/229088148-The\\_Benefits\\_of\\_Soil\\_Carbon\\_Managing\\_soils\\_for\\_multiple\\_economic\\_societal\\_and\\_environmental\\_benefits/links/0deec5197af3d69f26000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Hans_Joosten2/publication/229088148-The_Benefits_of_Soil_Carbon_Managing_soils_for_multiple_economic_societal_and_environmental_benefits/links/0deec5197af3d69f26000000.pdf)>
- 54 Powlson, D. S., Whitmore, A. P. & Goulding, K. W. T. Secuestro de carbono en el suelo para mitigar el cambio climático: un reexamen crítico para identificar lo verdadero y lo falso. *European Journal of Soil Science* 62, 42-55 (2011).
- 55 Schils, R. y otros. Examen de la información existente sobre las interrelaciones entre el suelo y el cambio climático. (Comisión Europea, 2008). en <[http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb\\_archive/eusoils\\_docs/other/climsoil\\_report\\_dec\\_2008.pdf](http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eusoils_docs/other/climsoil_report_dec_2008.pdf)>
- 56 Progreso en la preparación para el cambio climático 2015 Informe al Parlamento. (2015). en <[https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2015/06/6.736\\_CCC\\_ASC\\_Adaptation-Progress-Report\\_2015\\_FINAL\\_WEB\\_250615\\_RFS.pdf](https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2015/06/6.736_CCC_ASC_Adaptation-Progress-Report_2015_FINAL_WEB_250615_RFS.pdf)>
- 57 Saveyn, H. & Eder, P. End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Propuestas técnicas. (2014). en <<http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC87124.pdf>>
- 58 RMC. Análisis del mercado de productos orgánicos reciclados. (2013). en <<http://www.sustain-ability.vic.gov.au/~media/recursos/doc-documentos/publicaciones%20y%20investigación/investigación/mercado%20análisis/mercado%20análisis%20informe%20orgánicos%20sept%202014.pdf>>
- 59 Comisión Europea. Innovar para el crecimiento sostenible: Una bioeconomía para Europa. (2012). en <[http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/official-strategy\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/official-strategy_en.pdf)>
- 60 La bioeconomía hasta 2030 Diseño de una agenda de políticas Principales hallazgos y conclusiones de política. (2009). en <<http://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/42837897.pdf>>
- 61 King, D. El futuro de las biorrefinerías industriales. (2010). en <[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_FutureIndustrialBiorefineries\\_Report\\_2010.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_FutureIndustrialBiorefineries_Report_2010.pdf)>
- 62 Nita, V. y otros. Bio-economía y sostenibilidad una posible contribución al observatorio de bioeconomía. (Oficina de Publicaciones, 2013).
- 63 Calculadora de compost | WRAP UK. (2013). en <<http://www.wrap.org.uk/content/compost-calculator>>
- 64 Gran Bretaña y Departamento de Medio Ambiente, F. & R. A. Manual de fertilizantes (RB209). (TSO, 2010).
- 65 GUARDAR LA COMIDA: Iniciativa Mundial sobre la Pérdida de Alimentos y la Reducción de Residuos | FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2015). en <<http://www.fao.org/save-food/en/>>
- 66 Annakshetra NGO | Save Food Save Life. (2015). en <<http://www.annakshetra.org/>>
- 67 Ricci, M., Favoino, E., Gilbert, J. & Brogger, M. Food Waste As A Global Issue From the perspective of municipal solid waste management. (Asociación Internacional de Residuos Sólidos, 2013). en <[http://www.iswa.org/media/publications/knowledge-base/?tx\\_iswaknowledgebase\\_search-box\[frase de búsqueda\]=clave%20papel%20papel%20alimentos%20desechos&cHash=9a264e-c5bcaec86c1e1eaea3f1f6fca](http://www.iswa.org/media/publications/knowledge-base/?tx_iswaknowledgebase_search-box[frase de búsqueda]=clave%20papel%20papel%20alimentos%20desechos&cHash=9a264e-c5bcaec86c1e1eaea3f1f6fca)>
- 68 Mills, C. & Andrews, J. Guía para la recogida de residuos alimenticios. (2010). en <<http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/food%20waste%20collection%20guidance%20-%20amended%20Mar%202010.pdf>>
- 69 Coady, D., Parry, I., Sears, L. y Shang, B. ¿Cuán grandes son los subsidios energéticos globales? (2015). en <<http://www.lee-lsa.de/uploads/media/wp15105.pdf>>
- 70 Dalberg. Estudio de viabilidad de la biorrefinería. (2011). en <[http://www.europabio.org/sites/default/files/report/europabio\\_and\\_partners\\_biorefinery\\_feasibility\\_study.pdf](http://www.europabio.org/sites/default/files/report/europabio_and_partners_biorefinery_feasibility_study.pdf)>
- 71 FUSIONES DE LA UE. (2015). en <<http://www.eu-fusions.org/index.php>>

## Agradecimientos

### **Grupo de Referencia y Colaboradores:**

Deseamos expresar nuestra gratitud al Grupo de Referencia del Equipo de Tareas de Gestión de Recursos, al que se consultó continuamente y que proporcionó aportaciones y orientación a los informes. Los miembros del Grupo de Referencia fueron: Elisa Tonda (PNUMA DTIE), Heijo Scharf (Avfalzorg), Jean-Paul Leglise (ISWA), John Skinner (SWANA), Liaz-zat Rabbiosi (PNUMA DTIE), Patrick Dorvil (BEI), Peter Börkey (OCDE), Sarah Sanders Hewett (ERM), Tore Hulgaard (Rambøll). Además, quisiéramos agradecer a los miembros de la Junta de la ISWA y a los miembros del Comité Científico y Técnico sus contribuciones a los resultados del Grupo de Tareas mediante sugerencias, comentarios escritos y en persona y la participación en las sesiones y talleres relacionados con el Grupo de Tareas organizados en septiembre de 2014 en Sao Paulo (Congreso Mundial de la ISWA 2014), y en junio de 2015 en París (taller del Grupo de Tareas sobre la gestión de los recursos). Por último, quisiéramos dar las gracias a los diversos expertos y consultados que hicieron avanzar la calidad del informe con sus valiosas aportaciones.

**Diseño y diagramación:** Ana Loureiro y Deslink Design

**Fotografías y gráficos:** Las fotografías y los gráficos fueron proporcionados y desarrollados por Deslink Design utilizando los gráficos existentes con el permiso de los autores acreditados.

## Miembros del grupo de trabajo de la ISWA sobre la gestión de los recursos

Björn Appelqvist  
Presidente  
Ciudad de Copenhague, Dinamarca

Ana Loureiro  
EGF, Portugal

Andreas Bartl  
Universidad Tecnológica de Viena, Austria

Bettina Kamuk  
Rambøll, Dinamarca

Costas Velis  
Universidad de Leeds, Reino Unido

Gary Crawford  
Veolia, Francia

Jane Gilbert  
Carbon Clarity, Reino Unido

Martin Brocklehurst  
La Institución Colegiada de  
Gestión de desechos, Reino Unido

Kata Tisza  
ISWA General Secretariat

Preparado por el Grupo de Tareas de la  
ISWA sobre la gestión de los recursos  
con el apoyo de:



Asociación Internacional de Residuos Sólidos  
Auerspergstrasse 15, Top 41  
1080 VIENNA - AUSTRIA  
Teléfono +43 (1) 253 6001  
Fax +43 (1) 253 6001 99  
[www.iswa.org](http://www.iswa.org) [iswa@iswa.org](mailto:iswa@iswa.org)