

1. Introducción

1.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS

El desarrollo social en las últimas décadas, a nivel industrial y económico, ha incrementado la generación de residuos de distinta naturaleza (urbanos, industriales, de construcción, etc.), a pesar de la política de gestión de residuos adoptada a nivel internacional y nacional.

La producción total de residuos por parte de las actividades económicas y los hogares en el año 2010 en la Unión Europea (UE-27) fue de 2570 millones de toneladas, según datos de la European Environment Agency (EEA) y Eurostat. Esta cifra fue ligeramente superior a la de 2008, pero inferior a las de 2004 y 2006. Las cifras relativamente bajas correspondientes a 2008 y 2010 reflejan, al menos en parte, la desaceleración de la actividad económica derivada de la crisis económica y financiera internacional. Respecto a España, cabe señalar que ostenta el séptimo puesto en la generación de residuos dentro de la UE-27, con una producción de 137 millones de toneladas en 2010, lo que supone aproximadamente 3 t/habitante y año (8,20 kg/habitante y día); encontrándose por detrás de países como Alemania, país que encabeza la lista, seguido de cerca por Francia, Reino Unido, Rumania, Bulgaria, Polonia e Italia.

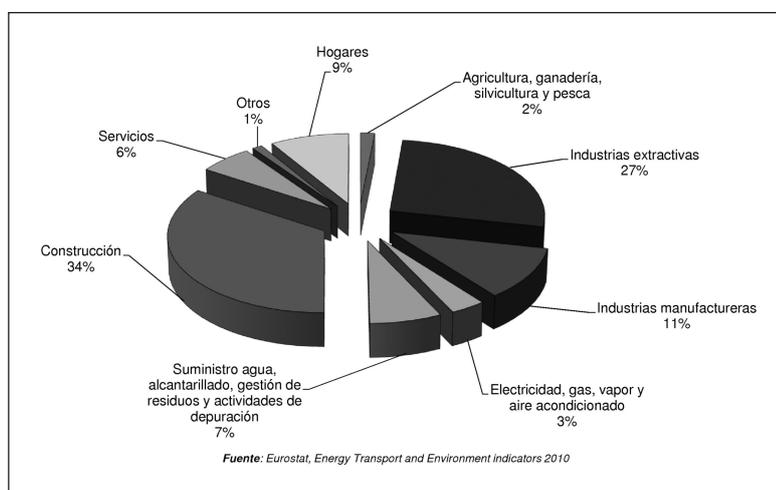


Figura 1. Generación de residuos en la UE-27 por actividad económica.

En la figura 1 se muestra el origen de los residuos generados desglosado por actividad económica, observándose claramente que la construcción y la industria extractiva

manifiestan unos niveles de residuos especialmente altos en toda la EU-27 en 2010, representando un 34% y 27% del total, respectivamente. La gran mayoría de los residuos generados por estas actividades están compuestos por residuos minerales o de los suelos (tierra excavada, residuos de la construcción y demolición, lodos de drenaje, rocas residuales, residuos mineros, etc.). Con un menor porcentaje se encuentran los residuos procedentes de las industrias manufactureras (industria textil, cerámica, etc.) y de los hogares.

La fabricación de cualquier producto implica inevitablemente la generación de restos sólidos, líquidos y/o gaseosos que mayormente corresponden a pérdidas de materias primas y de energía del proceso productivo. Es decir, la producción de residuos es indicador directo del grado de ineficacia de un proceso productivo, cuántos más residuos se generan, más recursos se derrochan y menor es la producción.

El abandono y/o la gestión inadecuada de los residuos procedentes de las distintas actividades productivas produce impactos notables en los medios receptores, que pueden provocar la contaminación del agua, suelo y aire, contribuyendo al cambio climático, afección de los ecosistemas y a la salud humana; así como ruido y otras molestias que induzcan problemas medioambientales y provocan costes económicos. Sin embargo, cuando los residuos se gestionan de forma adecuada se convierten en recursos que contribuyen el ahorro de materias primas, a la conservación de los recursos naturales, del clima y al desarrollo sostenible, estando en consonancia con la estrategia de desarrollo sostenible de la Unión Europea y española.

El desarrollo sostenible se define en el Informe Brundtlandt (1987) como «el desarrollo que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones, para satisfacer sus propias necesidades» (1) (2). Este término se puede llevar a nivel local adoptando la siguiente definición «el desarrollo sostenible es aquel que ofrece servicios ambientales, sociales y económicos básicos a todos los miembros de una comunidad sin poner en peligro la viabilidad de los sistemas naturales, construidos y sociales de los que depende la oferta de estos servicios».

La gestión de los subproductos y residuos se ha convertido así en una de las necesidades más urgentes de la sociedad actual requiriendo actuaciones concretas, encaminadas a la minimización de la generación de los mismos en los procesos de fabricación, en las materias primas y en los hábitos de fabricación, así como el fomento de los sistemas de valorización (reutilización, reciclado y valorización energética), como forma de aprovechar los recursos que contienen los residuos, que de otro modo serían eliminados, disminuyendo así los efectos ambientales.

En la figura 2, se representa el nivel de implantación de los distintos sistemas de gestión de los residuos en los países integrantes de la Unión Europea en el año 2010. En ella se aprecia como la media de eliminación a vertedero para la UE-27 se sitúa en un 45%, ligeramente por encima de la tasa existente en España, que alcanza un valor del 37% del total de residuos generados, así como de otros países punteros de la UE como Dinamarca y Alemania entre otros. Además, se puede apreciar cómo la gestión de residuos es muy heterogénea entre los distintos países pertenecientes a la UE debido a que el grado de reciclaje de cada país depende de una serie de factores tales como: la disponibilidad de materias primas, el volumen generado de residuo, el impacto medioambiental que suponga el depósito en vertedero, culturales-sociales y administrativos, siendo este último uno de los factores que juega un papel fundamental en el desarrollo de una adecuada gestión de residuos (3).

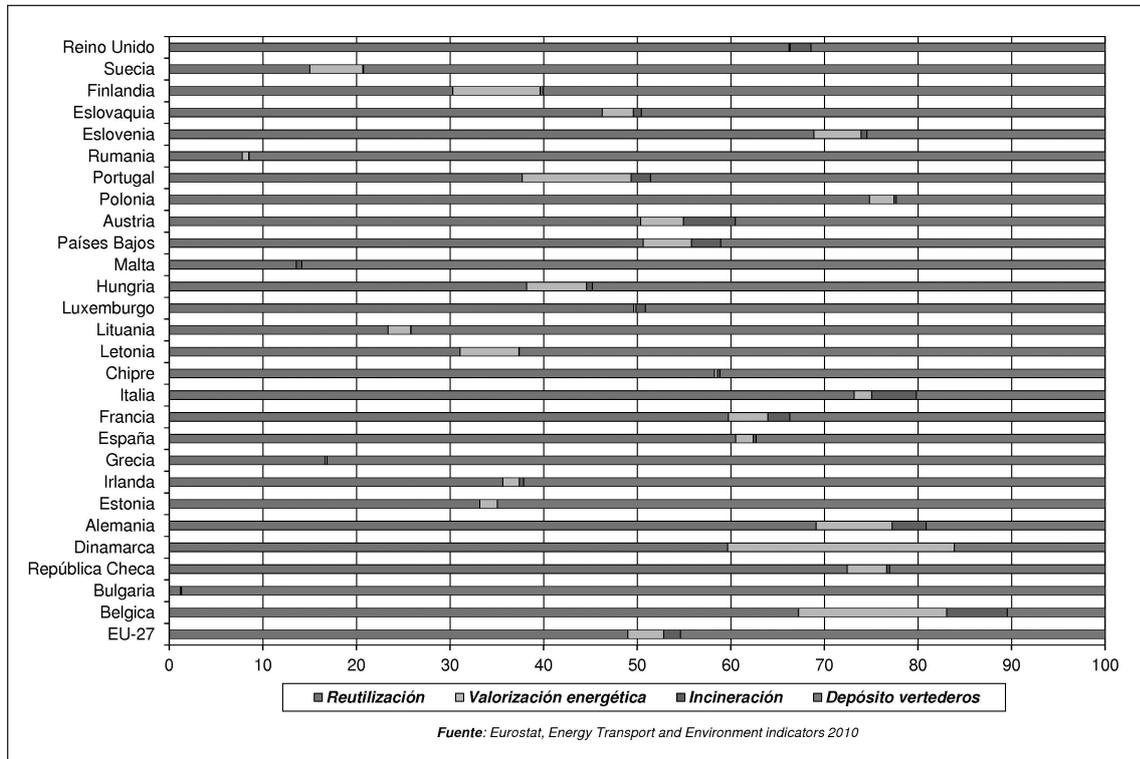


Figura 2. Gestión de residuos en la UE-27.

El actual contexto internacional en el que nos encontramos inmersos, donde el reciclado de los materiales es práctica cada vez más habitual, permite acercarse cada día más al concepto de material eco-eficiente (4) (5), definido como aquel material que no perjudica al medio ambiente a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas necesarias, su fabricación, transporte y aplicación, hasta su reciclado o reutilización cuando su ciclo de vida útil se considere finalizado.

En consonancia con la anterior definición, las políticas de gestión-reutilización de residuos pretenden presentar algunos grandes atractivos frente a la utilización de materias primas naturales. La ventaja más destacada es la eliminación de residuos, junto a que mediante el aprovechamiento de estos se obtiene una nueva materia prima, que supone una reducción de la cantidad de recursos naturales primarios a extraer, traduciéndose en un aumento de la vida útil de las explotaciones de dichas materias primas.

Centrándose en los productos de origen pétreo, otros beneficios asociados a la voluntad de gestionar los subproductos de una forma ecológica son los de reducir tanto el espacio destinado a escombreras, como el número de explotaciones mineras necesarias para suministrar la materia prima original, minimizando el impacto medioambiental y favoreciendo la protección de unos recursos naturales siempre limitados. Al mismo tiempo, se permite un aumento de la eficiencia energética por la disminución del transporte de materiales, reducción de procesos, menor consumo de materiales fósiles y unas menores emisiones a la atmósfera. Por último, cabe señalar que a las industrias generadoras de los residuos les supone importantes ahorros de tratamiento y de tasas de vertedero.

El sector más adecuado para absorber los residuos procedentes de las distintas actividades productivas es el sector de la construcción y edificación. Este hecho se basa

en dos motivos: el primero de ellos corresponde a las cuantiosas cantidades de residuos que puede absorber, y el segundo motivo se debe a la gran panorámica que tiene en la confección de materiales.

La utilización de los residuos como materia prima en el desarrollo de nuevos e innovadores cementos, morteros, hormigones, mezclas asfálticas, etc., permite introducir el concepto de *sostenibilidad* en este sector, lo que favorecerá de forma sustancial a eliminar los tópicos o perjuicios de una gran parte de la sociedad, que ven a este sector como una amenaza hacia el medioambiente. La sostenibilidad es un concepto dinámico en el espacio y en el tiempo, y se consigue exclusivamente cuando existe un equilibrio entre los aspectos sociales, económicos y ambientales.

La posibilidad de introducir y mantener la evolución positiva experimentada en los últimos años por parte del sector del reciclado depende, en gran parte, de su capacidad para superar el obstáculo que supone el bajo precio, tanto de los materiales de construcción tradicionalmente empleados, como del traslado a vertedero de los posibles residuos generados. Se debe indicar que es previsible que, en un futuro no muy lejano, el empleo de estos residuos en el sector de la construcción como productos sustitutivos a los convencionales sea un hecho real, haciendo posible el desarrollo sostenible, al mismo tiempo que permitirá desarrollar nuevas actividades que sean económicamente interesantes y abran nuevos mercados y negocios.

Finalmente, señalaremos que del análisis de los datos mostrados anteriormente se observa que, a pesar de una mayor sensibilización de la sociedad por la gestión de los residuos y del incremento en el nivel de reciclado de los mismos, no ha sido suficiente para frenar y disminuir el volumen total de residuos vertidos debido principalmente al gran desarrollo experimentado por parte del sector de la construcción y edificación. Este hecho da una idea de la dimensión del problema existente en la gestión de los residuos, tratándose en la actualidad de un verdadero desafío medioambiental, social y económico para las sociedades modernas.

Para conseguir el objetivo de reducir al máximo la eliminación de residuos en los vertederos se requiere un compromiso real de todos los agentes involucrados: Administración pública, generadores de residuos, empresas y sectores receptores y centros de investigación y universidades (6).

1.2. RESIDUOS UTILIZABLES EN LA EDIFICACIÓN Y OBRA CIVIL

1.2.1. Residuos industriales

La valorización de los residuos industriales dentro del sector de la construcción ha constituido un gran esfuerzo técnico y científico en las últimas décadas, tratando de buscar nuevas materias primas que sustituyan en mayor o menor grado los recursos naturales utilizados tradicionalmente.

La tabla 1 muestra el estado de las diferentes aplicaciones en el sector de la construcción de cada tipo de residuo recogido en algún reglamento o norma Europea Armonizada y española en la actualidad, que regulan su uso y especifican las prestaciones, requisitos y características que deben cumplir, indicándose asimismo la normativa de aplicación.

TABLA 1
Normativa nacional aplicable (7)

Residuo	Aplicación	Normativa nacional existente
Cenizas volantes	Adición al cemento	RC-08
		UNE-EN 197-1
	Adición al hormigón	EHE-08
		UNE-EN 450-1
		UNE 83414:1990 EX
		UNE 83420:1991 EX
	Finos para hormigón	UNE-EN 12620
Áridos para morteros	UNE-EN 13139	
Cenizas de hogar	Árido para hormigón	UNE-EN 12620
	Áridos para morteros	UNE-EN 13139
Humo de sílice	Adición al cemento	RC-08
		UNE-EN 197-1
	Adición al hormigón	EHE-08
		UNE 83460 UNE-EN 13263-1
Escorias granuladas de horno alto	Adición al cemento	RC-08
		UNE-EN 197-1
		UNE-EN 15167-1
		UNE-EN 15167-2
	Adición al hormigón	UNE-EN 15167-1 UNE 83481:1996 EX
Escorias cristalizadas de horno alto	Árido para morteros	UNE-EN 13139
	Árido para hormigón	EHE-08
		UNE-EN 12620 UNE 146121
Escorias negras de horno eléctrico	Árido para hormigón	EHE-08
		UNE-EN 12620
		UNE 146121
Hormigón fresco	Árido para morteros	UNE 13139
	Árido para hormigón	UNE-EN 12620
	Agua para hormigón	EHE-08 UNE-EN 1008
Residuos de construcción y demolición (RCD)	Árido para hormigón y/o carreteras	EHE-08 / PG-3
		UNE-EN 12620

Los residuos indicados en la tabla 1 no están recogidos adecuadamente en la actualidad, observándose que, en la mayoría de los casos, las normas relacionadas simplemente mencionan el residuo en un campo de aplicación, añadiendo que pudieran necesitarse especificaciones adicionales no contempladas en el desarrollo de la propia norma. Por ello se han sombreado en la tabla 1 aquellas aplicaciones en las que verdaderamente puede considerarse que la normativa es completa y proporciona garantías técnicas en la utilización del residuo. Aquellas aplicaciones no sombreadas necesitarían, por tanto, normativa específica complementaria para garantizar su utilización.

Finalmente, cabe indicar que los niveles más altos de reciclado se corresponden con los residuos que se encuentran cubiertos por una reglamentación nacional o europea. De ahí, nace la gran importancia de desarrollar, a partir de los trabajos de investigación que se están realizando, una normativa que recoja los requisitos que debe cumplir un residuo para una aplicación concreta del mismo.

1.2.2. Residuos de la construcción y demolición (RCD)

Desde la década de los cincuenta se han llevado a cabo tanto a nivel internacional como nacional innumerables trabajos de investigación con el objetivo de investigar la posibilidad de reciclar los residuos de hormigón procedentes de la construcción y demolición. Los estudios realizados inicialmente se centraron principalmente en analizar el procedimiento más adecuado para obtener los áridos reciclados, el diseño de las dosificaciones de estos nuevos hormigones; comprobando la validez de los métodos existentes hasta el momento; y el análisis de distintos aspectos relacionados con el comportamiento mecánico y aspectos de durabilidad de estos nuevos hormigones. En la actualidad, en el estudio de estos hormigones reciclados se ha incluido el aspecto económico de utilizar este tipo de hormigones (3).

Como resultado de estas investigaciones se redactaron a nivel internacional en una serie de normas (proyecto de norma japonesa (8), alemana (9), inglesa (10), etc. y recomendaciones (11), belga (12), Hong-Kong (13), francesa (14) y danesas (15), que establecen los límites máximos o mínimos de los componentes que constituyen los áridos reciclados, así como las propiedades físicas (densidad y absorción de agua), mecánicas y químicas que deben ser controladas en los áridos reciclados cuando estos se utilicen en la fabricación de hormigones, debido a la incidencia que tienen estas características en las propiedades de los hormigones, tanto en su elaboración como en estado fresco y endurecido.

A nivel nacional, en el 2008 se incluye por primera vez en la Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08) (16) aspectos novedosos referentes a la construcción sostenible, regulando por primera vez la utilización de árido reciclado procedente de hormigón en hormigón estructural y no estructural en los Anejos 15 *Recomendaciones para la utilización de hormigones reciclados* y 18 *Hormigones de uso no estructural* respectivamente de la EHE-08. En estos anejos se establece una serie de limitaciones al uso de árido reciclado, entre las que destacan principalmente por su importancia las siguientes:

- a) El árido reciclado debe obtenerse del machaqueo de hormigón convencional, excluyendo el reciclaje de hormigones especiales tales como hormigones ligeros,

hormigones con fibras o aquellos fabricados con cemento aluminoso, etc., así como la utilización de árido reciclados mixtos y cerámicos.

- b) Se establece la utilización de la fracción gruesa del árido reciclado sustituyendo en un 20% en peso la grava natural en hormigones estructurales y en un 100% en hormigones no estructurales, siempre que cumplan los requisitos establecidos en el Anejo 15.

En cuanto a la influencia del porcentaje de sustitución en el comportamiento mecánico de los hormigones, se está observando que el límite de sustitución se encuentra en un 50% en peso (17-18), porcentaje con el que se consiguen unas características mecánicas y físicas similares a los hormigones convencionales siendo necesario aumentar el contenido de cemento original en un 6,2%, manteniendo constante la relación agua / cemento (a / c). Para porcentajes de sustitución mayores se requieren incrementos de cementos que hacen que los hormigones reciclados dejen de ser económicamente viables (19).

Los áridos mixtos reciclados procedentes de RCD no están recogidos actualmente en la EHE-08. A nivel internacional, existen algunas recomendaciones sobre su utilización para la fabricación de hormigones en función de su composición, y se establecen unos límites en el contenido máximo de los componentes (hormigón, áridos no ligados, asfalto, material cerámico, partículas flotantes, etc.) presentes en este tipo de materiales reciclados. Esta tipología de áridos ha sido objeto de un menor número de investigaciones a nivel mundial, debido a la gran dificultad que implica trabajar con un material heterogéneo a nivel composicional, con lo que se pone de relieve el efecto que tiene su incorporación como sustituto de los áridos gruesos convencionales en las prestaciones del hormigón en estado fresco y endurecido.

Adicionalmente, han sido muy pocos los investigadores que han estudiado el efecto que producen los distintos componentes de los áridos reciclados mixtos (material cerámico, asfalto, partículas flotantes, etc.) en los hormigones reciclados, existiendo solamente a nivel internacional los trabajos realizados por Park y Noguchi (20), Ferreira y col. (21) y Sheen y col. (22), así como a nivel español por Medina y col. (23). Estos autores analizaron el efecto que tiene la presencia de metales (aluminio), plástico, asfalto, madera y material cerámico en las propiedades físicas, mecánicas y durables de los nuevos hormigones, respectivamente.

En la tabla 2, se muestra de forma sintetizada las aplicaciones en las que actualmente se están utilizando este tipo de residuos o se está investigando para llevarlo posteriormente a la práctica.

TABLA 2
Aplicaciones de los RCD en el ámbito del sector de la construcción

Material	Áridos para hormigón	Mortero	Árido ligero	Cemento
RCD	▲	☀	▲	☀
<p>▲ Utilización reducida pero con posibilidades reales ☀ Se han hecho o se están realizando la experimentación oportuna en laboratorio</p>				