

RESUMEN DEL INVENTARIO DE PRÁCTICAS ACTUALES RELACIONADAS CON EL RECICLAJE DE PRODUCTOS DE YESO EN EUROPA

¹Jiménez Rivero, A.*; de Guzmán Báez, A.; Rodríguez Quijano, M., García Navarro, J.

¹Grupo de Investigación Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria, giSCI-UPM, Universidad Politécnica de Madrid

Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España

e-mail: ana.jimenez@upm.es

Palabras Clave: *Residuo de Yeso; Reciclaje en ciclo cerrado; Prácticas actuales; Proyecto GtoG*

1. Introducción

El yeso - un material de construcción excepcional

El yeso es un mineral ampliamente utilizado en construcción, en productos tales como Placas de Yeso Laminado, elementos de escayola y bloques de yeso.

El proyecto GtoG centra sus esfuerzos en los sistemas ligeros de base yeso, también conocidos como Sistemas de Placa de Yeso Laminado (PYL). Las PYL están formadas principalmente por yeso cuya superficie y ejes longitudinales han sido recubiertos por papel. Estas placas son empleadas en particiones, trasdosados, techos, cubiertas y suelos. La primera planta de fabricación de PYL fue construida en Liverpool en 1917.

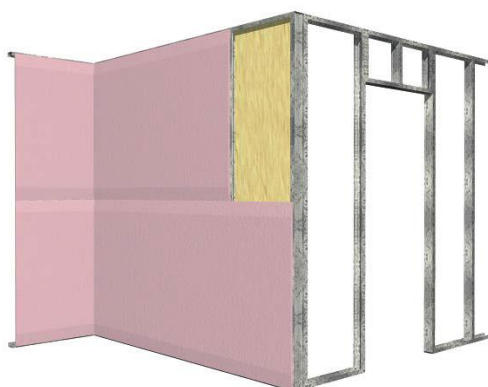


Figura 1. Placa de Yeso Laminado - PYL (en rosa) utilizada en particiones. Fuente: Technical Manual Plasterboard systems, Knauf 2012.

Las principales propiedades que caracterizan a los productos de base yeso son:

- Resistencia al fuego.
- Aislamiento térmico en combinación con otros materiales aislantes.
- Contribución al aislamiento acústico del sistema del que forman parte.
- Resistencia al impacto, que será variable en función del elemento constructivo.

El problema

Se estima que en los 8 países Europeos objeto de estudio del proyecto GtoG (Alemania, Bélgica, España, Francia, Grecia, Países Bajos, Polonia y Reino Unido) se generaron en 2012 alrededor de 1.150.000 toneladas de residuo de PYL. En la mayoría de estos países la tasa de reciclaje de dichos residuos es baja o incluso nula.

Uno de los objetivos del proyecto es la reincorporación de hasta un 30% de yeso reciclado, procedente tanto del producto de rechazo durante su fabricación como de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), en el proceso de fabricación de nuevas PYL.

Principales tipos de yeso

Hasta mediados de los años 80 la mayoría del yeso empleado en la Unión Europea era yeso natural extraído de las canteras. Desde entonces, el yeso FGD también conocido como yeso sintético, un subproducto procedente de la desulfuración de los gases de combustión en las centrales eléctricas, se ha convertido en un suministro importante para la Industria del Yeso. Este tipo de yeso es muy utilizado en Alemania, Bélgica, Países Bajos y en los países nórdicos.

La tabla 1 resume los principales tipos de yeso utilizados según su origen.

RECURSO	ORIGEN
Yeso natural	Se encuentra en la naturaleza y se extrae de canteras.
Yeso FGD	Subproducto procedente de la desulfuración de los gases de combustión de las centrales térmicas.
Yeso reciclado	Obtenido tras el reciclaje de los residuos de yeso de acuerdo a unas determinadas especificaciones.

Tabla 1. Origen de los principales tipos de yeso.

Razones para reciclar las PYL

1. El yeso es un material 100% e infinitamente reciclable, puesto que su composición química no varía a lo largo de su ciclo de vida.
2. El Artículo 4 de la Directiva Marco de Residuos (Directiva 2008/98/EC) establece que la jerarquía de residuos debe aplicarse como prioridad en los estados miembros de la Unión Europea. La prevención de residuos encabeza la jerarquía, seguida de la preparación para su reutilización y el reciclaje, que tiene prioridad frente a otras actividades de valorización y por último, la eliminación en vertedero.



Figura 2. Esquema de la jerarquía de residuos de acuerdo al artículo 4 de la Directiva 2008/98/EC.

3. El artículo 11 de la Directiva 2008/98/EC establece que antes del año 2020 un mínimo del 70% en peso de la mayoría de las categorías definidas en la Lista Europea de Residuos (LER) deberán ser reutilizados, reciclados o valorizados. Este objetivo es aplicable a los RCD no peligrosos (donde se incluye el residuo de yeso), con exclusión de los materiales presentes de modo natural definidos en la categoría 17 05 04 de la lista de residuos.
4. Si los residuos de yeso son aceptados en vertederos de residuos no peligrosos sin preverse un compartimento específico en el que no se admitan residuos biodegradables, su contenido en sulfatos puede descomponerse, entre otras sustancias, en Sulfuro de Hidrógeno (H_2S): un gas inflamable y peligroso con efectos perjudiciales para el medioambiente y para la salud cuando es inhalado, que incluso en pequeñas concentraciones genera problemas de olores.

La Decisión del Consejo 2003/33/EC establece que "Los materiales no peligrosos a base de yeso deberán eliminarse exclusivamente en vertederos de residuos no peligrosos en compartimentos en los que no se admitan residuos biodegradables. Los valores límite de carbono orgánico total (COT) y carbono orgánico disuelto (COD) que figuran en las secciones 2.3.2 y 2.3.1 se aplicarán a los residuos vertidos juntamente con materiales a base de yeso".

5. Con el reciclaje de los residuos de yeso se evita el agotamiento de las materias primas y se preserva el paisaje.



Figura 3. Canteras de yeso. Fuente: Geoprah.ie.

Tipos de residuo de Placa de Yeso Laminado (PYL)

Se pueden distinguir dos grandes tipos de residuo de PYL de acuerdo a su origen:

- Residuo de producción: generado durante el proceso de fabricación de las PYL (rechazo). Su reciclaje forma parte de la política de prevención de residuos de los fabricantes. Un ejemplo son las placas fuera de especificación.
- Residuo de PYL procedente de construcción y demolición: se genera durante la instalación o desmontaje de las PYL. Incluye las placas dañadas y los cortes tras su instalación en obra nueva y rehabilitación, además de las placas desmontadas en obras de deconstrucción.

El proyecto GtoG se centra en el reciclaje y posterior reincorporación en el proceso de fabricación de nuevas placas incorporando ambos tipos de residuo.

El proceso de reciclaje de las placas de yeso

Tras una serie de procesos mecánicos, basados principalmente en la trituración de las placas de yeso y posterior tamizado para la separación del papel y los posibles contaminantes presentes en el residuo, ese obtiene:

- Alrededor de un 92% de yeso reciclado
- En torno a un 8% de residuo de papel
- Menos de un 1% de metal.

El yeso reciclado

En el proyecto GtoG, el término "yeso reciclado" se utiliza para hacer referencia al yeso procedente del tratamiento y procesado de los residuos de PYL, donde el yeso es separado del papel y de los contaminantes presentes, obteniendo un producto de granulometría fina o en forma de polvo.

En la actualidad existen distintas especificaciones para la producción de un yeso reciclado de calidad, siendo uno de los objetivos del proyecto GtoG, durante el desarrollo de los pilotos demostradores, el análisis y determinación de criterios de calidad unificados.

Criterios de fin de condición de residuo

Los criterios de fin de la condición de residuo especifican cuando un determinado residuo deja de ser residuo pasando a considerarse un producto o materia prima secundaria.

De acuerdo con el artículo 6 de la Directiva marco de residuos (trasposición en España en el Artículo 5 de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados) se podrán establecer los criterios específicos que determinados tipos de residuos, que hayan sido

sometidos a una operación de valorización, incluido el reciclado, deberán cumplir para que puedan dejar de ser considerados como tales las siguientes condiciones:

- Que las sustancias u objetos resultantes se usen habitualmente para finalidades específicas;
- Que exista un mercado o una demanda para dichas sustancias u objetos;
- Que las sustancias u objetos resultantes cumplan los requisitos técnicos para finalidades específicas, la legislación existente y las normas aplicables a los productos;
- Que el uso de la sustancia u objeto resultante no genere impactos adversos para el medio ambiente o la salud.

El fin de condición de residuo para productos de base yeso es solo una realidad en Reino Unido, donde el yeso reciclado se considera una materia prima secundaria. Dentro del proyecto GtoG se considera solicitar más adelante el estado de fin de condición de residuo para el residuo de yeso.

Reciclaje en ciclo abierto y cerrado de las Placas de Yeso Laminado (PYL)

- El reciclaje en ciclo abierto de este residuo consiste en el empleo del yeso reciclado en productos y aplicaciones distintas a la fabricación de nuevas placas de yeso laminado, por ejemplo en la manufactura del cemento o para su uso en agricultura para la mejora de los suelos.
- El reciclaje en ciclo cerrado significa utilizar el yeso reciclado como materia prima secundaria en la fabricación de nuevas PYL. Este producto es uno de los pocos en construcción para los que el reciclaje en ciclo cerrado es posible y es por ello que el proyecto GtoG se centra en promover estas prácticas, puesto que eligiendo el reciclaje en ciclo cerrado se fomenta el ahorro de recursos naturales.

El reciclaje en ciclo cerrado requiere una fuerte colaboración entre los agentes que participan en la cadena de valor del producto para la creación de una logística inversa eficiente. Desde la generación del residuo de yeso en obras de construcción o de deconstrucción, su transporte a las plantas gestoras de residuos y empresas recicladoras de yeso hasta la reincorporación del yeso reciclado en el proceso de fabricación de los nuevos productos.

Para que lo anterior sea una realidad, es necesario que la normativa Europea sea correctamente aplicada y se fomente su cumplimiento.

El proyecto GtoG servirá para impulsar la vía del reciclaje en ciclo cerrado en los casos en los que sea posible

Se resumen a continuación las características de una cadena de valor eficiente para cerrar el ciclo de las placas de yeso laminado:

- Demolición selectiva - Deconstrucción: desmontando las PYL en la obra.

Las prácticas de deconstrucción permiten optimizar la calidad y cantidad de residuo reciclable generado, aumentando por tanto la posibilidad de que posteriormente

éstos sean reciclados. Se obtiene así un residuo lo más limpio posible, debido al tiempo y cuidado prestado en su desmontaje.

- Procesado del residuo reciclable de PYL.

Una vez el residuo ha sido separado del resto de RCD, éste es recogido y transportado por un tercero hasta una planta de transferencia de residuos o directamente a la empresa de reciclaje de residuos de yeso (también conocida como proveedor de yeso reciclado).

- Reincorporación del yeso reciclado en el proceso de fabricación de nuevas PYL.



Figura 4. Esquema de la cadena de valor eficiente planteada bajo el proyecto GtoG.

Agentes interesados cubriendo toda la cadena de valor

- Propietarios de edificios, directores de ejecución material en obra, consultores, arquitectos y técnicos.

Como responsables en la toma de decisiones pueden fomentar el reciclaje de los residuos de PYL desde el inicio de la cadena de valor. Por ejemplo con la elección de prácticas de deconstrucción y prescribiendo la utilización de materiales reciclados en las obras.

- Empresas de demolición

El papel que juegan estas empresas a lo largo de la cadena de valor, llevando a cabo de manera eficaz las tareas de deconstrucción y separación en obra, es fundamental.

- Recicladores de yeso.

Su actividad como productor y proveedor de un yeso reciclado de calidad ayuda a promover las prácticas de reciclaje de los residuos de PYL en ciclo cerrado.

- Fabricantes de PYL

A través de acuerdos con los recicladores de yeso y el incremento de la confianza en esta materia prima secundaria, se espera que en los próximos años se produzca un crecimiento en el uso de yeso reciclado en Europa.

Objetivos prioritarios del informe DA1

El informe DA1 (documento "Inventario de prácticas actuales") pretende ser un documento base para las siguientes acciones del proyecto, presentando y analizando las prácticas actuales en los 8 países Europeos objeto de estudio: Alemania, Bélgica, España, Francia, Grecia, Países Bajos, Polonia y Reino Unido. En él se han establecido los factores técnicos, económicos, legislativos y medioambientales que se consideran cruciales para la estimación de la cuota de mercado del yeso reciclado en un determinado país, presentando además un primer análisis económico y medioambiental que incorpora la información recogida de los participantes en el proyecto.

Objetivo general del proyecto GtoG

El objetivo general del proyecto es transformar el mercado del residuo de yeso procedente de demolición, para alcanzar mayores porcentajes de reciclaje, contribuyendo por tanto a lograr una economía eficiente en el uso de los recursos.

2. Metodología

Las actividades de las tareas preparatorias del proyecto GtoG (Acción A1) han sido llevadas a cabo entre enero y septiembre de 2013, de la siguiente manera:

Envío de encuestas a los agentes interesados

- Encuestas enviadas a través de las Asociaciones Nacionales, a los fabricantes de yeso en Europa, relacionadas con la gestión de los residuos de yeso y los criterios de calidad. Se han recibido 35 respuestas de Alemania, Austria, Bélgica, España, Francia, Finlandia, Grecia, Italia, Noruega, Países Bajos, Polonia, Reino Unido y Suecia.
- Encuestas distribuidas entre arquitectos, empresas de demolición, propietarios de edificios, directores de ejecución material en obra y consultores, relacionadas con las prácticas actuales de deconstrucción y la gestión de los residuos de yeso en la renovación y demolición de edificios no residenciales. Se han obtenido un total de 32 respuestas en los 8 países de estudio.

- Encuestas enviadas a recicladores de yeso. Se recibieron respuestas de 5 empresas que operan en Bélgica, Dinamarca, Francia, Noruega, Países Bajos, Suecia y Reino Unido.

El resultado de estas encuestas han sido consolidados y presentados en el informe DA1 en los siguientes grupos o países de manera individual (en función del número de respuestas obtenidas para asegurar la confidencialidad de las mismas):

- Alemania y Austria
- Bélgica y Países Bajos
- Francia
- Grecia, Italia y España
- Polonia
- Reino Unido

Reuniones de coordinación, consultas por vía telefónica e intercambio de correos electrónicos con los diferentes participantes del proyecto GtoG.

El proyecto GtoG ha recogido y consolidado información confidencial de los cinco fabricantes de PYL y de los recicladores de yeso dentro del proyecto. En cumplimiento de las normas de la competencia y para asegurar la confidencialidad de la información aportada por los socios industriales, tareas como el desarrollo del análisis económico de la cadena de valor actual han supuesto un gran desafío.

Análisis de la bibliografía existente

Con el objetivo de proporcionar una visión actualizada y detallada de la situación actual en el sector del yeso reciclado, alrededor de 100 documentos han sido consultados y referenciados a lo largo del informe

Observaciones a tener en cuenta

Los principales hallazgos obtenidos durante el desarrollo de la Acción A1 han sido agrupados en:

- Relacionados con la normativa Europea
- Relacionados con las prácticas actuales de deconstrucción
- Relacionados con las prácticas actuales de reciclaje
- Relacionados con las prácticas actuales de reincorporación de yeso reciclado en la fabricación de las nuevas placas de yeso laminado

Relacionados con la normativa Europea

El reciclaje de los residuos de PYL está lejos de contribuir al objetivo del 70% de valorización (incluyendo preparación para la reutilización, reciclado y otras operaciones de valorización) establecido en la Directiva marco sobre residuos.

En Alemania, España, Grecia y Polonia no se recicla PYL procedente de residuos de construcción y demolición. En el resto de países objeto de estudio se estima que alrededor del 25.8% de los residuos de yeso son reciclados. En media, el porcentaje de reciclaje en los 8 países desciende a un 11%.

	Residuo de yeso reciclado (%)
Alemania	0.0
Benelux*	40.4
España	0.0
Francia	15.2
Grecia	0.0
Polonia	0.0
Reino Unido	21.7

* Benelux: Bélgica, Luxemburgo y Países Bajos. Solo información de Bélgica y Países Bajos ha sido utilizada para el presente estudio. Ambos países son presentados de manera conjunta por razones de confidencialidad entre miembros del proyecto GtoG.

Tabla 2. Porcentaje estimado de yeso reciclado, procedente de RCD, en los 8 países objeto de estudio.

Por otro lado, la Decisión del Consejo 2003/33/EC no ha sido correctamente implementada en 4 de los 8 países estudiados, debido a la inexistencia de celdas específicas para la eliminación de los residuos de yeso en vertedero. Solo en Bélgica, Francia y Reino Unido han sido creadas celdas específicas para la eliminación de los residuos de base yeso en vertedero. Lo ideal sería que solo residuos de base yeso no reciclables (debido a la presencia de contaminantes o a prácticas de desmontaje no apropiadas) siguieran la ruta de eliminación en vertedero. Países como Alemania (aunque con ciertas particularidades), Grecia y Polonia han implementado esta Decisión del Consejo. Sin embargo no se observa cumplimiento de la misma.

País	Trasposición de la Decisión del Consejo 2003/33/EC	Existencia de celdas específicas
Alemania	Diferente trasposición	No
Bélgica (Bruselas)	Completa	Sí
Belgica (Flanders)	Completa	Sí
Bélgica (Valonia)	Completa	Sí
España	Completa	No
Francia	Diferente trasposición	Sí
Grecia	Completa	No

Países Bajos	Aún no traspuesta	No
Polonia	Completa	No
Reino Unido	Completa	Sí

Tabla 3. Trasposición de la Decisión del Consejo y su implementación.

Relacionados con prácticas actuales de deconstrucción

En la actualidad, la mayor parte de los edificios se demuelen

En los países donde la deconstrucción es una práctica habitual (Bélgica, Francia, Países Bajos y Reino Unido) los residuos de base yeso son generalmente separados del resto de residuos de construcción y demolición. Sin embargo, en países donde estas prácticas no son habituales (España, Grecia y Polonia) los residuos de PYL se mezclan con otros RCD.

Las barreras identificadas a la hora de llevar a cabo prácticas de deconstrucción son:

- La mayoría de los arquitectos y las empresas de construcción no prevén el desmontaje de los elementos al finalizar la vida útil del edificio.
- En países donde la demolición es una práctica habitual, la deconstrucción se percibe como una actividad que incrementa los costes. Sin embargo, en los países donde la deconstrucción es una práctica habitual, generalmente se percibe como una manera de optimizar costes.

La Figura 5 muestra las razones por las que eligen prácticas de deconstrucción frente a demolición en Bélgica, Francia, Países Bajos y Reino Unido.

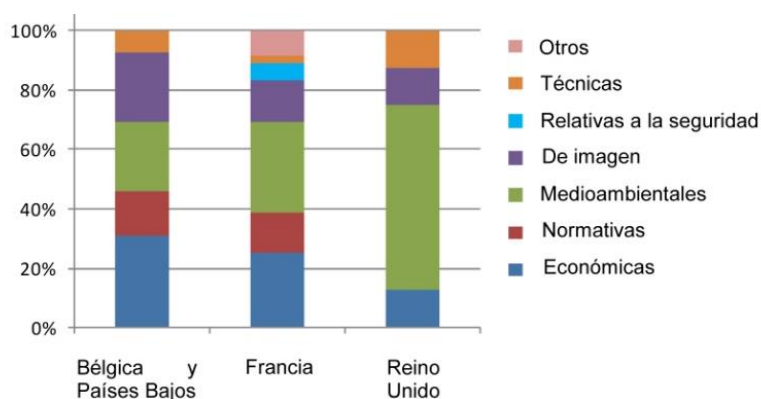


Figura 5. Razones que llevan a la elección de prácticas de deconstrucción, nombradas por los propietarios y empresas de demolición encuestados en Bélgica, Francia, Países Bajos y Reino Unido.

A continuación se describe cada una de ellas:

- Beneficio medioambiental

Si se sigue un sistema de evaluación, se llevan a cabo prácticas más respetuosas con el medioambiente. BREEAM ha sido identificado como el sistema de evaluación más usado en los países objeto de estudio.

- Imagen de los agentes implicados

Esta razón está íntimamente relacionada con la razón medioambiental, debido a que muchas compañías adoptan un enfoque medioambiental para difundir una buena imagen entre la población.

- Beneficio económico

La deconstrucción es una manera de optimizar los costes en los países donde la vía de eliminación en vertedero para los RCD mezclados es más cara que para las distintas fracciones de residuo. Algunos encuestados afirman que si la deconstrucción no fuera más favorable económicamente no elegirían esta opción.

- Normativa

En ninguno de los 8 países objeto de estudio existe obligación normativa sobre la elección de deconstrucción frente a demolición. Sin embargo, algunas normas nacionales están empezando a promover la separación de residuos en obra: por ejemplo en España el Real Decreto 105/2008 introduce la obligación del poseedor de los residuos de separar diferentes fracciones de RCD si se superan las cantidades que se especifican. Sin embargo, solo grandes edificios superarán las cantidades hasta ahora establecidas. Cabe destacar que los residuos de yeso no forman parte de esta lista.

La auditoría de los materiales previa a la demolición en Francia es otro ejemplo de requisito normativo que fomenta la deconstrucción de edificios.

- Correcta gestión de los RCD con contenido de yeso

La mayoría de los países han establecido límites para el contenido de yeso en los RCD destinados a la producción de árido reciclado o a actividades de valorización como rellenos en canteras o minas. Cuando los residuos de yeso se mezclan con otras fracciones de RCD, se dificulta la posterior recuperación y tratamiento, tanto de los residuos de yeso como del resto de fracciones.

- Otras razones

Por ejemplo razones técnicas, puesto que la demolición de un edificio no es siempre posible.

Relacionados con las prácticas actuales de reciclaje

En Europa, solo existe mercado de yeso reciclado en Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Países Bajos, Reino Unido y Suecia.

Las prácticas de reciclaje en ciclo abierto están ampliamente extendidas en Reino Unido, pero no se observan en el resto de países Europeos. La mayoría de los recicladores

británicos suministran a agricultores, algunos de ellos reconocidos compostadores. En otros casos se suministra yeso reciclado a cementeras.

En 7 de los 14 países Europeos encuestados, existen recicladores de yeso que han sido identificados como proveedores de las plantas de fabricación de PYL.

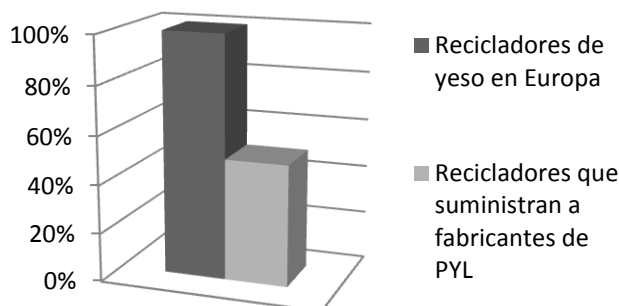


Figura 6. Recicladores de yeso que trabajan para el reciclaje en ciclo cerrado frente al total de recicladores de yeso.

- Arrow Gypsum Recycling, Countrystyle Group and Roy Hatfield Ltd desarrollan su actividad en Reino Unido. La principal actividad de Roy Hatfield Ltd.'s parece ser el uso de yeso reciclado en su propia planta de fabricación de hormigón. No se ha conseguido información sobre la principal actividad de Arrow Gypsum Recycling ni de Countrystyle Group.
- Gypsum Recycling International A/S opera en Dinamarca, Suecia, Noruega y Países Bajos, trabajando para el reciclaje en ciclo cerrado.
- Nantet Locabennes y Ritleng Revalorisations, situados en Francia y trabajando para el reciclaje en ciclo cerrado.
- New West Gypsum Recycling opera en Bélgica, Francia y Reino Unido, trabajando solo para reciclaje en ciclo cerrado.

La tabla 4 resume las principales fortalezas y debilidades identificadas entre los recicladores.

FORTALEZAS	DEBILIDADES
Las máquinas de reciclaje pueden procesar hasta 30 t/h de residuo de yeso	El procesado de paneles tipo: Fermacell®, de cemento y otros paneles rígidos.

De los residuos de placa de yeso laminado se obtiene hasta un 94% en yeso reciclado	Algunos recicladores limitan el contenido de humedad del residuo de yeso ya que reduce la calidad del yeso reciclado. Sin embargo en ocasiones el contenido de humedad se puede equilibrar al mezclar el residuo húmedo con una fracción de residuo seco
Presencia de menos de un 1.0% de papel en el yeso reciclado.	La cantidad de polvo emitido por las máquinas durante el proceso de reciclaje del residuo de yeso.

Tabla 4. Principales fortalezas y debilidades identificadas entre los recicladores

La localización de las plantas de reciclaje en cada país se detalla en la tabla 5.

País	Localización	Recicladores
BE	La planta de NWGR se encuentra vinculada a la planta de fabricación de placa de yeso laminado de Saint Gobain - Gyproc en Källo (región de Flandes)	NWGR
FR	La planta de NWGR se encuentra vinculada a la planta de fabricación de placa de yeso laminado de Saint Gobain - Placoplatre en Vaujours (París). La planta de fabricación de placa de yeso laminado de Siniat tiene su propia planta de reciclaje para yeso proveniente de residuos de construcción y demolición. Nantet Locabennes suministra yeso reciclado a SG Placoplatre en Chambéry. Ritleng Revalorisations (RR) suministra yeso reciclado a Siniat en Alsacia	NWGR SINIAT FR Nantet RR
NL	La planta móvil de Gypsum Recycling International (GRI) recoge residuos de yeso de las obras. Las plantas fijas de reciclaje de GRI se localizan en Werkendam and Delfzijl.	GRI
UK	El fabricante de placa de yeso laminado British Gypsum recolecta y recicla el residuo de yeso reincorporándolo en su proceso de fabricación. La planta de reciclaje de NWGR se localiza en Avonmouth Rotherham Worcester Kent	British Gypsum NWGR Roy Hatfields Arrow Countrystyle

Tabla 5. Recicladores que suministran yeso reciclado a las plantas de fabricación de placa de yeso laminado en los distintos países.

Relacionados con las prácticas actuales de reincorporación de yeso reciclado en la fabricación de las nuevas placas de yeso laminado

Se identifican siete razones principales para la reincorporación de yeso reciclado por parte de los fabricantes de PYL.

El nivel de impacto que representan se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Razones para la reincorporación del yeso reciclado, identificadas entre las respuestas recibidas a la encuesta dirigida a los fabricantes de placa de yeso laminado.

- Reducción de costes

El yeso reciclado se adquiere a un menor precio que el yeso natural. En algunos casos, los ahorros también pueden provenir del menor coste de transporte debido a la proximidad del suministrador y la reducción de los costes de almacenaje.

- Demanda por parte del cliente

Normalmente está influenciada por la Contratación Pública Verde y los sistemas de evaluación de la edificación como pueden ser BREEAM, DGNG, LEED, VERDE y HQE.

- Contratación Pública Verde

Se trata de un instrumento con carácter voluntario por el que las autoridades públicas adquieren productos y servicios que presentan un reducido impacto medioambiental a lo largo de su ciclo de vida en comparación con los productos y servicios que aportando la misma función inicial se hubieran adquirido sin tener en cuenta este criterio.

En 2010, la Industria del Yeso desarrolló junto con la Comisión Europea, los criterios para la Contratación Pública Verde de las PYL. El proyecto GtoG es una oportunidad para revisar estos criterios, particularmente aquellos relativos al porcentaje de yeso reciclado en la PYL actualmente fijado en un 2% para criterios básicos y un 5% si se opta por cumplir con criterios más exhaustivos.

- Acuerdos Voluntarios

Se utilizan como herramientas reguladoras para alcanzar objetivos específicos. Ejemplos de acuerdos voluntarios son:

- “Covenant” en Países Bajos.
- “La Chartesur le Gestion des déchets” en Francia.
- “The Ashdown Agreement” en el Reino Unido.
- En Bélgica el compromiso de la Asociación Belga del Yeso (BLGV) con los agentes interesados, está llevando a algunas compañías a mejorar el reciclaje del residuo de yeso.

- Comercialización de los productos

Las PYL que incorporan una cierta cantidad de yeso reciclado aportan una nueva ventaja competitiva a las diferentes compañías.

- Eficiencia de los recursos

La reincorporación de yeso reciclado reduce la cantidad de yeso natural extraído de la corteza terrestre.

- Compromiso de sostenibilidad medioambiental.

Este compromiso conlleva la minimización de la generación de residuos y la maximización, entre otros, del uso de materiales reciclados en nueva producción.

La Tabla 6 muestra las razones más nombradas para el reciclaje del residuo de yeso en los países objeto de estudio.

	Países objeto de estudio	Razón más nombrada para el reciclaje
PAISES DE ESTUDIO EN EL PROYECTO GtoG	Bélgica	Eficiencia de los recursos, demanda del cliente y requerimientos por la Contratación Pública Verde.
	Francia	Reducción de costes.
	Alemania	Eficiencia de los Recursos.
	Grecia	Demanda del cliente y reducción de costes.
	Polonia	Mejora de la calidad de la materia prima.
	España	Eficiencia de los recursos.
	Países Bajos	Eficiencia de los recursos
	Reino Unido	Acuerdos voluntarios de la Industria con el Gobierno.
OTROS	Austria	Reducción de costes y sostenibilidad.
	Italia	Demanda del cliente y reducción de costes.

Tabla 6. Razones más nombradas, por países, para el reciclaje del residuo de yeso

Se espera que, tras la finalización del proyecto, razones como la Contratación Pública Verde y los Acuerdos Voluntarios de la Industria se conviertan en las principales razones para el reciclaje de los productos de yeso.

3. Principales resultados obtenidos en la Acción A1 y de utilidad para las siguientes acciones del proyecto

A través de las distintas fases que componen las dos alternativas y que se presentan en la Figura 8, se han identificado los principales parámetros económicos a considerar a la hora de elegir la vía para el reciclaje de los residuos frente a su eliminación en vertedero (Tabla 7).

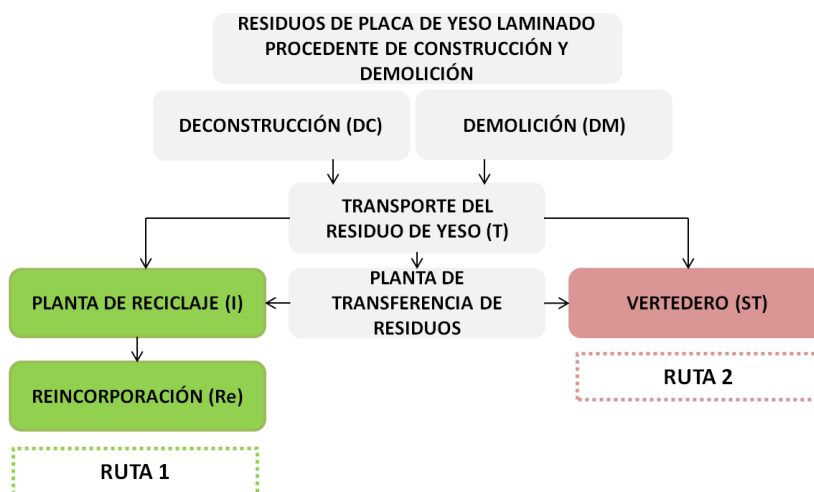


Figura 8. Fases de las dos vías: Reciclaje frente a eliminación en vertedero.

FASES	PARAMETROS ECONOMICOS CRUCIALES
DECONSTRUCCIÓN (DC) <i>Deconstrucción (DC) = Desmontaje (D) + Separación y acopio (S₁) + Carga (L₁)</i>	Desmontaje (D) Operaciones de separación y acopio en obra (S ₁) Carga de los contenedores por tipos de residuo (L ₁)
DEMOLICION (DM) <i>Demolición (DM) = Trituración, derrumbe (C) + Acopio (S₂) + Carga (L₂)</i>	Trituración y derrumbe (C) Operaciones de acopio en obra (S ₂) Carga de los contenedores del residuo mezclado (L ₂)
TRANSPORTE DEL RESIDUO (T) <i>Transporte (T) = coste variable (depende de V,N y D) + Transportista subcontratado (H)</i>	Volumen de residuos (V) Volumen por viaje (N) Distancia (D) Transportista subcontratado (H)
PLANTA DE RECICLAJE <i>Ingresos mínimos requeridos por el reciclador por tonelada (€/t) = Tarifa de entrada (G) + Precio de venta (S) - Transporte del yeso reciclado (T_M) - Coste del procesado del residuo en caso de que no esté incluido en la tarifa de entrada (P)</i>	Tarifa de entrada del residuo a la planta de reciclaje (G) Precio de venta del yeso reciclado (S) Coste del transporte de yeso reciclado (T _M) Coste del procesado del residuo de yeso (P)
VERTEDERO <i>Coste estándar ST (€/t) = Impuesto de vertido (LT) + Tarifa de entrada (G)</i>	Impuesto de vertido (LT) Tarifa de entrada del residuo al vertedero (G)
REINCORPORACION DEL YESO RECICLADO <i>Re (€/t) = Control de calidad (Q) + Trituración y tamizado (CS) + Almacenaje del yeso reciclado (ST)</i>	Costes del control de calidad (Q) Costes de la trituración y tamizado del yeso reciclado (CS) Costes del almacenaje del yeso reciclado (ST)

Tabla 7. Resumen de los parámetros económicos cruciales relativos a las dos vías.

— *Análisis económico: Ecuaciones para la comparación de la vía del reciclaje (vía 1) frente a la eliminación en vertedero (vía 2).*

Los costes de ambas vías se pueden estimar fácilmente mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Costes totales de la vía 1-RECICLAJE* (€/t) = DC+T+I}$$

*No incluye la fase de reincorporación del yeso reciclado con el fin de facilitar la comparación con la vía 2.

$$\text{Costes totales de la vía 2-VERTEDERO (€/t) = DM+T+ST}$$

La Tabla 8 muestra los resultados obtenidos en el cálculo de los costes totales al introducir en las ecuaciones datos de casos de estudios aportados por los socios del Proyecto GtoG:

	VÍA 1	VÍA 2	
Deconstrucción (DC)	335.93	335.93	Demolición (DM)
Transporte del residuo de yeso (T)	42.86	43.39	Transporte del residuo mezclado (T)
Ingresos mínimos requeridos por el reciclador (I)			
I: Tarifa de entrada (G) + precio de venta (S) – coste del transporte del yeso reciclado (T _M)	49	60	Coste Estándar (ST): Tarifa de entrada + Impuesto de vertido
	427.79 €/t	439.32 €/t	
El coste de la vía 1-RECICLAJE en este caso resulta un 3% menor que el coste de la vía 2-ELIMINACIÓN EN VERTEDERO.			

Tabla 8. Costes totales relativos a las vías del reciclaje (1) y eliminación en vertedero (2).

— *Estudio Medioambiental: emisiones debidas al reciclaje frente a la eliminación en vertedero.*

Un estudio medioambiental adecuado desglosa la energía embebida en cada proceso, mostrando aquellos puntos en los que surgen las diferencias e identificando los factores que ejercen mayor impacto medioambiental

Durante la Acción A1, se han establecido las bases para el desarrollo de la evaluación medioambiental. Esta evaluación se llevará a cabo en la futura Acción C del proyecto.

Las emisiones identificadas para cada una de las vías objeto de estudio se detallan a continuación:

VÍA 1

GWP Potencial de Calentamiento Global
(kg CO₂ -Eq./m²) = DC+T+R+T_M +RP

DC_e: Deconstrucción

T_e: Transporte del residuo de yeso

R_e: Proceso de Reciclaje

T_{Me}:Transportedel yeso reciclado

RP_e: Reincorporación

VIA 2

GWP Potencial de Calentamiento Global
(kg CO₂ -Eq./m²) = DM+T+L

H₂ S emissions (kg H₂ S Eq./m²) = L_{M H₂ s}

DM_e: Demolición

T_e: Transporte del residuo mezclado

L_e: Eliminación en vertedero

L_{M H₂ s}: Emisiones de H₂ S en vertedero

Introduciendo los datos en las ecuaciones se obtendrán los resultados sobre el impacto medioambiental (en cuanto a emisiones se refiere) que ejerce cada una de las vías. Se evaluará durante la Acción C por medio de un análisis exhaustivo y la introducción de datos en las ecuaciones para el cálculo del Potencial de Calentamiento Global.

	VÍA 1	VÍA 2
Deconstrucción (DC _e)		Demolición (DM _e)
Transporte del residuo de yeso (T _e)		Transporte del residuo mezclado (T _e)
Proceso de Reciclaje (R _e)		Eliminación en vertedero (L _e)
Transporte del yeso reciclado (T _{Me})		Emisiones de H ₂ S en vertedero (L _{M H₂ s})
Reincorporación (RP _e)		
	CO ₂ /m ²	CO ₂ & H ₂ S/m ²

Tabla 9.Emisiones totales de las vías de reciclaje y eliminación en vertedero.

— Modelo integral para el cálculo de la cuota de mercado del reciclaje de yeso

Se ha desarrollado un modelo para la estimación de la cuota del mercado de los sistemas de reciclaje de yeso en un país determinado. Se puede utilizar como una herramienta analítica que facilite a los recicladores, fabricantes de PYL, autoridades nacionales y la Comisión Europea la identificación de las causas que limitan el índice de reciclaje del residuo de yeso en un país concreto así como las soluciones que llevan a la mejora de la situación. Se han definido un total de seis factores que combinados en una ecuación matemática determinan la cuota de yeso que se recicla y sobre la que ni los recicladores ni la Industria de la PYL en Europa pueden influir de forma directa.

Los seis factores definidos se han agrupado en cuatro categorías: técnicas, económicas, legislativas y medioambientales y se resumen brevemente a continuación.

FACTORES TÉCNICOS

- Alcance de los sistemas de reciclaje (R_{RS})

R_{RS} describe la cuota del mercado del residuo de yeso que queda cubierta por el sistema de reciclaje establecido en el Mercado.

- Grado de separación del residuo de PYL de otros residuos de construcción y demolición (S_S)

S_S , es la cantidad de residuo de PYL que se puede separar del resto de residuos de construcción y demolición generados.

FACTOR ECONÓMICO

- Competitividad de la vía del reciclaje comparada con la eliminación en vertedero (C_{RS})

C_{RS} , es la competitividad relativa del reciclaje de yeso en un país determinado en comparación con la eliminación en vertedero.

FACTORES LEGISLATIVOS

- Grado de cumplimiento con la legislación existente (C_o)

C_o , es la cuota del mercado del residuo de yeso que cumple con la legislación existente.

- Alternativas legales más económicas de destino de los residuos (A_S)

A_S es un factor determinante que describe la cuota del mercado del residuo de yeso para la que existen alternativas legales más económicas que la eliminación en vertedero.

FACTOR MEDIOAMBIENTAL

- Enfoque medioambiental (E_S)

E_S describe la cuota del mercado del residuo de PYL, donde el destino del residuo queda determinado más por factores medioambientales que por factores económicos.

El modelo se ha probado en los 8 países objeto del estudio, estimando cada uno de los factores desde un punto de vista académico, empleando los datos e información aportados por los socios del proyecto GtoG. En próximas acciones y con el fin de mejorar esta estimación, se debería seguir una metodología Delphi a través de un panel representativo de expertos formado por participantes del proyecto GtoG. De la figura 9 a la 14, se presentan los resultados obtenidos a través de diferentes países y por medio de diagramas radar.

Países Bajos

Tasa estimada de reciclaje de residuo de yeso: 40.4% (Benelux).

Factor determinante: Existencia de alternativas de eliminación legales para los residuos de yeso (A_S), debido a los altos índices de exportación de residuo a Alemania.

Todo el territorio está cubierto por empresas de reciclaje de residuos de yeso (R_{RS}) y se observa un alto grado de segregación (S_S) así como del cumplimiento con la legislación existente (C_O).

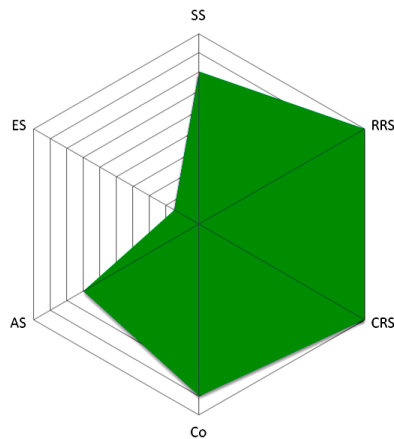


Figura 9. Diagrama en radar para el caso de los Países Bajos

Alemania

Tasa estimada de reciclaje de residuo de yeso: 0.0%

Factor determinante: Existencia de alternativas de eliminación legales para los residuos de yeso (A_S), como es el relleno para la recuperación de canteras.

Un grado medio de segregación de los residuos de PYL en obra (S_S) así como del cumplimiento con la regulación existente (C_O), establecen un buen punto de partida para el reciclaje de los residuos de PYL procedentes de los residuos de construcción y demolición en un futuro próximo.

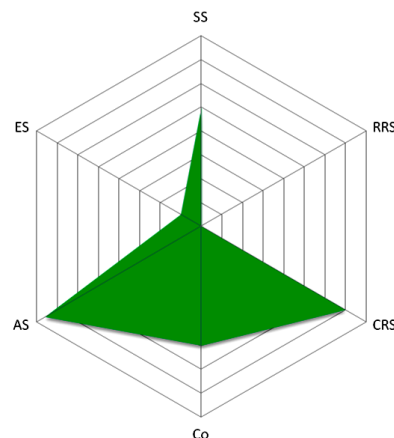


Figure 10. Diagrama en radar para el caso de Alemania.

Reino Unido

Tasa de reciclaje del residuo de yeso estimada en: 21.7%

Factor determinante: Existencia de alternativas de eliminación legales para los residuos de yeso (A_S), debido a la gran cantidad de residuo de yeso reciclable utilizado con fines de ciclo abierto principalmente en el sector agrícola. Este país presenta la tasa de vertido más alta en comparación con los otros 7 países objeto de estudio. Además presenta una correcta transposición de la regulación específica para los residuos de base yeso con la existencia de celdas individuales en vertederos (C_O). La cobertura del territorio nacional por parte de los recicladores (R_{RS}) y el nivel de separación del residuo de PYL en obra (S_S) están por encima de la media Europea.

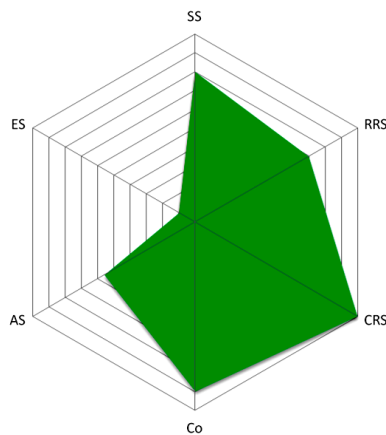


Figure 11. Diagrama radar para el caso de Reino Unido.

Francia

Tasa de reciclaje del residuo de yeso estimada en: 15.2%

Es uno de los países en los que no se observa la posibilidad de destino legal alternativo (A_S). La principal causa de presentar un cumplimiento parcial de la regulación existente (C_O) es tener incompleta la transposición de la Decisión del Consejo 2003/33/EC. Se separa gran cantidad de residuo de placa de yeso en obra pero se estima que solo el 40% del país queda cubierto por empresas recicladoras (R_{RS}).

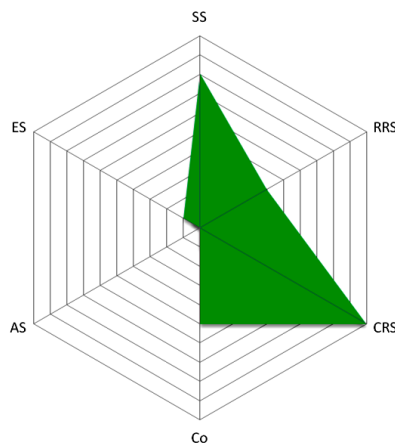


Figura 12. Diagrama radar para el caso de Francia.

Bélgica

Se observan diferencias significativas entre las regiones de Valonia y Flandes. El destino final para el residuo de PYL en Flandes es el reciclaje, mientras que en Valonia la mayor parte de este residuo se envía a vertedero. Tampoco se han establecido empresas de reciclaje en la región de Valonia, por lo que la cobertura en esta área se estima en un 20% (R_{RS}). La separación del residuo en obra (S_S) es una práctica habitual en la región de Flandes, mientras que en Valonia no se implementa. Probablemente, esto es debido a la alta exportación de los residuos de base yeso de esta región a Alemania (C_O).

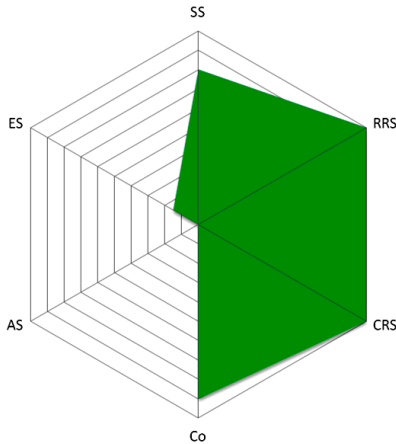


Figura 13. Diagrama radar para el caso de la región de Flandes.

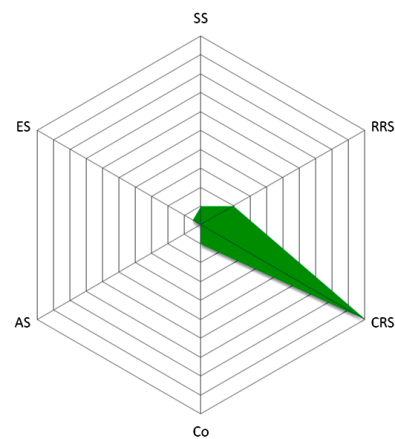


Figura 14. Diagrama radar para el caso de la región de Valonia.

*Nótese que la competitividad de la solución de reciclaje se ha estimado en 1 para una mejor representación del diagrama.

Grecia, Polonia y España

Debido a la falta de prácticas de reciclaje de los residuos de base yeso en los tres países, la mayoría de los factores presentan valor cero. Como consecuencia, no se lleva a cabo la separación del específico del resto de los RCD en la obra.

El grado de cumplimiento con la normativa europea existente en relación con los residuos de yeso es muy bajo, al no contar con celdas individuales en los vertederos para este tipo de residuo e incluso por la falta de trasposición de la Decisión del Consejo como en el caso concreto de España.

4. Conclusiones

- Solo 4 de los 8 países objeto de estudio reciclan residuos de PYL procedentes de RCD: Bélgica, Francia, Países Bajos y Reino Unido.
- La Decisión del Consejo 2003/33/EC se ha traspuesto en 7 de los 8 países de estudio:
 - Países Bajos no ha traspuesto la Decisión del Consejo 2003/33/EC. Pero no se permite el depósito en vertedero de RCD mezclados.

- España, Grecia y Polonia han traspuesto esta Decisión pero no se observa ninguna obligación de cumplimiento.
- Francia y Alemania han traspuesto la Decisión de forma que no conlleva la existencia de celdas individuales para el depósito de los residuos de yeso, separados de los residuos orgánicos, en vertederos.
- Únicamente en Bélgica y Reino Unido los residuos de yeso se vierten principalmente en vertederos para residuos no peligrosos en celdas específicas donde no se aceptan residuos biodegradables.
- La existencia de un mercado para el reciclaje de yeso se ve influenciada por seis factores identificados bajo un modelo desarrollado.
 - Cobertura territorial del sistema de reciclaje (R_{RS})
 - Grado de separación del residuo de PYL de otros residuos de construcción y demolición (S_S)
 - Competitividad de las soluciones de reciclaje en comparación con los vertederos locales (C_{RS})
 - Grado de cumplimiento con la regulación existente (C_O)
 - Alternativas legales más económicas para el destino del residuo (A_S)
 - Enfoque medioambiental (E_S)

Los siguientes se han identificado como factores determinantes:

- La existencia de alternativas legales para la eliminación y otras operaciones de valorización (A_S) para el residuo de yeso reciclable, limita en gran medida e incluso deshabilita el reciclaje del residuo de PYL y/o el uso de yeso reciclado en ciclo cerrado. Los destinos alternativos identificados son:
 - Operaciones de relleno para la recuperación de canteras (ej. Alemania).
 - Fines agrícolas (ej. Reino Unido).
- El grado de cumplimiento con la regulación existente (C_O), significando una correcta implementación y obligación estricta de cumplimiento de la Directiva Marco de Residuos y la Decisión del Consejo 2003/33/EC.

También queda patente que una tasa alta de vertido (como en el Reino Unido) o una multa por depósito en vertedero de los residuos mezclados (Bélgica y Países Bajos) ayudan a fomentar el reciclaje de los residuos de PYL.

En la mayoría de los países objeto de estudio, el régimen de tasas está fomentando actualmente la vía del vertedero frente a la del reciclaje incluso en algunos casos, los diferentes flujos de residuos están siendo trasladados de un país a otro.

- El desmontaje y la separación de los residuos de PYL del resto de residuos de Construcción y Demolición en obra está íntimamente ligado con la existencia de un mercado para el reciclaje de yeso en un país determinado.

Sin embargo, en Alemania, se observa un grado medio de separación del residuo a pesar de no existir un mercado para su reciclaje.

- Debido a la falta de estadísticas fiables y diferenciables, es difícil evaluar el porcentaje de residuos de base yeso que es valorizado y reciclado en la UE.

Sin embargo se ha hecho una estimación durante esta primera fase de la Acción A1, que concluye que la cantidad de yeso reciclado para los 8 países objeto del estudio se puede estimar en un 11%, lo cual está lejos de alcanzar el objetivo del 70% establecido por la Directiva Marco de Residuos para el 2020 (incluyendo la preparación para la reutilización, el reciclaje y otras operaciones de valorización).

- En 4 de los países (Alemania, Grecia, Polonia y España) el índice de reciclaje de los residuos de yeso es 0.0%.
- En 3 de los países (Francia, Reino Unido y Países Bajos) existen sistemas dereciclaje pero su éxito se ve limitado por todo lo mencionado anteriormente.
- Únicamente en la región de Flandes, en Bélgica, el sistema de reciclaje aborda la mayor parte de los residuos de yeso, siendo la competitividad del mismo comparado con el precio de la eliminación en vertedero el factor determinante. El cómo esta región ha conseguido implementar de forma completa y correcta las directivas de la UE en materia de residuos y su vertido, se puede tomar como modelo para promover el reciclaje del residuo de yeso en el resto de países de la UE.

Europa tiene un largo camino que recorrer en cuanto a prácticas de reciclaje de residuos de base yeso de refiere.

5. Recomendaciones

- La elaboración de una auditoria de los materiales de base yeso previa a las obras debería ser de obligado cumplimiento para cualquier operación de demolición y renovación que alcance una determinada superficie o presupuesto (a determinar según el tipo de edificio, residencial o no residencial).

Un resultado de la auditoria debería ser un informe detallado sobre la cantidad, calidad y potencial de reciclaje de los productos de base yeso.

- La separación de los residuos de base yeso del resto de residuos de Construcción y Demolición debe ser una obligación en cualquier caso, distinguiendo entre dos categorías: residuos de base yeso reciclables y no reciclables.
- El completo seguimiento documental de los residuos de base yeso así como la obligación de calcular y presentar la tasa de reciclaje y valorización detallada debería estar regulado a nivel europeo.

- El objetivo del 70% establecido por la Directiva Marco de Residuos debería revisarse con el fin de definir un objetivo específico para el reciclaje, excluyendo otras operaciones de valorización y relleno.
- La jerarquía de residuos tiene que seguir un orden relacionado con una serie de parámetros a definir. Estos parámetros (sociales, técnicos, económicos) se deben ajustar a las circunstancias locales. Se debe elaborar una metodología que los mida con el objetivo de confirmar el orden establecido a la jerarquía.
- La legislación actual referente al vertido de residuos de base yeso no es lo suficientemente restrictiva y debe seguir progresando.

Cada Estado Miembro debería ir más allá de los límites establecidos por la Decisión del Consejo 2003/33/EC, al no existir evidencias científicas que avalen dichos límites. En consecuencia, el residuo de base yeso no reciclable debería, en todo caso, enviarse sistemáticamente a celdas controladas en vertederos de residuos no inertes y no peligrosos.

- Las estadísticas a nivel europeo no están armonizadas lo que enlentece los incentivos para un reciclaje efectivo.

Se recomienda incluir un desglose de los diferentes flujos de residuos en la base de datos de Eurostat, diferenciando al menos entre: plásticos, metales, hormigón y escombros, yeso y madera. Esto se podría hacer fácilmente para países donde la deconstrucción es una práctica común, como pueden ser Bélgica, Francia, Países Bajos y el Reino Unido.

Referencias

Eurogypsum. *Living with Gypsum : From Raw Material to Finished Products*.

Eurogypsum. *Plaster and Plasterboard. The sustainable construction materials for the 21st century*.

Eurogypsum. (2013). GtoG LIFE 11 ENV/BE/001039.

http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=4191 (Fecha de último acceso: 10/03/2015)

European Parliament and the Council of the European Union. (2008). DIRECTIVE 2008/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Retrieved from

Gypsum to Gypsum project, LIFE11 ENV/BE/001039. (2013). *DA.1: Inventory of current practices. GtoG : From production to recycling : a circular economy for the European Gypsum Industry with the Demolition and Recycling Industry*.

The Commission of the European Communities. COMMISSION DECISION of 3 May 2000 replacing Decision 94/3/EC establishing a list of wastes pursuant to Article 1(a) of Council Directive 74/442/EEC on waste and Council Decision 94/904/EC establishing a

list of hazardous waste pursuant to Article 1(4) of C (2000). European union: Official Journal of the European union.

The Council of the European Union. (2003). Council Decision of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex to Directive 1999/31/EC (2003/33/EC). *Official Journal of the European Communities*, L 11/27.

WRAP. (2008). Technical Report: Life Cycle Assessment of Plasterboard.

WRAP, & BSI. (2013). *PAS 109:2013. Specification for the production of reprocessed gypsum from waste plasterboard.*

WRAP, & Environment Agency. (2013). Quality Protocol. Gypsum. End of waste criteria for the production and use of recycled gypsum from waste plasterboard.