



Facultad de Ingeniería Industrial

ICAI

PLAN DE NEGOCIOS
PLANTA DE RECICLAJE
DE RCDs

Autor: Jaime Ramos Tierno

Director: Carlos Fuertes

MADRID | Mayo 2025

1. Índice

1. Índice	2
2. Introducción	7
2.1. Contexto y motivación del trabajo.....	7
2.2. Objetivo del trabajo	7
2.3. Metodología de trabajo.....	8
3. Marco teórico.....	9
3.1. Definición y clasificación de los residuos de construcción y demolición (RCDs).....	9
3.2. Problemática y oportunidades en la gestión de RCDs	11
3.3. Normativa vigente	13
3.4. Políticas europeas y tendencias internacionales	14
4. Análisis del entorno y del mercado	16
4.1. Situación actual de la industria en la Comunidad de Madrid.....	16
4.2. Análisis del volumen y características de los RCDs generados	17
4.1. Identificación de actores clave: competidores, proveedores y clientes potenciales ..	19
4.3. Análisis DAFO	23
4.4. Identificación de nichos de mercado y oportunidades de negocio	28
5. Plan de negocio	33
5.1. Propuesta de valor de la empresa	33
5.2. Modelo de negocio y estructura organizativa	35
5.3. Localización y descripción de las instalaciones	38
5.4. Procesos operativos: flujo de gestión de residuos y valorización	42
5.5. Equipamiento necesario: características técnicas y costos	44

5.6. Plan de marketing y estrategia de comunicación	46
6. Análisis financiero	48
6.1. Estimación de costes iniciales: Inversión en infraestructura y equipamiento	48
6.2. Financiación de la inversión inicial.....	49
6.3. Proyección de ingresos: tarifas por servicios y valorización de residuos	51
6.4. Costes operativos y mantenimiento	54
6.5. Presupuesto de tesorería: flujo de caja proyectado.....	56
6.6. Punto de equilibrio y rentabilidad esperada.....	59
6.7. Análisis de ratios financieros	60
6.8. Evaluación de riesgos financieros	62
7. Estudio de valorización de residuos.....	64
7.1. Métodos de valorización disponibles	64
7.2. Materiales reciclables y su reutilización en la industria	66
7.3. Innovaciones tecnológicas en el tratamiento de RCDs.....	68
8. Impacto ambiental y social	69
8.1. Beneficios medioambientales del reciclaje de RCDs	69
8.2. Contribución a la economía circular	70
8.3. Impacto social: generación de empleo y sensibilización ciudadana.....	71
8.4. Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	72
9. Recomendaciones y conclusiones.....	73
9.1. Resultados del análisis	73
9.2. Limitaciones del estudio.....	75
9.3. Recomendaciones futuras	76
10. Bibliografía	77

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

PLAN DE NEGOCIO PLANTA DE RECICLAJE DE RCDs

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2024/2025 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada

de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Jaime Ramos Tierno

Fecha: 10/ 07/ 2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Carlos Fuertes Kronberg

Fecha: 10/07/2025

Resumen

Este Trabajo Fin de Máster presenta un plan de negocio para la creación de una empresa dedicada al reciclaje y valorización de Residuos de Construcción y Demolición (RCDs) en la Comunidad de Madrid. El proyecto surge como respuesta a la creciente necesidad de gestionar de forma sostenible uno de los flujos de residuos más importantes en Europa, cuya generación representa en torno al 30% del total de residuos.

A través de un análisis detallado del contexto normativo, económico y ambiental, se identifican las oportunidades de mercado derivadas de las políticas de economía circular y las nuevas exigencias regulatorias. El trabajo evalúa también las tecnologías más eficientes para la valorización de RCDs, como la trituración, cribado, clasificación automatizada y valorización in situ, proponiendo un modelo de planta tecnológicamente viable y alineado con los estándares europeos.

Se propone localizar la planta en El Casar (Guadalajara), debido a su proximidad a Madrid, buen acceso logístico y coste competitivo del suelo industrial. Se desarrolla una estructura operativa completa, una estrategia de comercialización enfocada en sectores clave (construcción, obra pública, fabricantes) y un análisis financiero que demuestra la viabilidad económica del proyecto a medio plazo.

Finalmente, se valora el impacto ambiental y social positivo del modelo planteado, en términos de reducción de residuos en vertedero, disminución de emisiones y generación de empleo en el sector de la economía circular. El proyecto se posiciona como una solución integral e innovadora ante un problema urgente, con gran potencial de desarrollo y escalabilidad en el entorno actual.

Abstract

This Master's Thesis presents a business plan for the creation of a company dedicated to the recycling and recovery of Construction and Demolition Waste (CDW) in the Community of Madrid. The project arises in response to the growing need for sustainable management of one of the largest waste streams in Europe, accounting for approximately 30% of total waste generation.

Through a comprehensive analysis of the regulatory, economic, and environmental context, the study identifies market opportunities resulting from circular economy policies and new legal requirements. The project also evaluates the most efficient technologies for CDW recovery, including crushing, screening, automated sorting, and on-site valorization, proposing a technologically feasible plant model aligned with European standards.

The proposed location for the plant is El Casar (Guadalajara), due to its proximity to Madrid, good logistical access, and competitive industrial land costs. The thesis outlines a complete operational structure, a marketing strategy targeting key sectors (construction,

public infrastructure, manufacturing), and a financial analysis that demonstrates the project's economic viability in the medium term.

Finally, the study assesses the positive environmental and social impact of the proposed model, in terms of reducing landfill waste, lowering emissions, and creating jobs in the circular economy sector. The project stands as an innovative and comprehensive solution to a pressing issue, with high potential for development and scalability in the current context.

2. Introducción

2.1. Contexto y motivación del trabajo

La creciente preocupación por el impacto ambiental que generan las actividades humanas durante las últimas décadas está impulsando la transición hacia unos modelos económicos más responsables y sostenibles. De entre los sectores más dinámicos y fundamentales para el desarrollo económico, la industria de la construcción es también una de las que más residuos genera en Europa. Según la comisión europea en 2020, los residuos de construcción y demolición (RCDs) representan entre el 25 y el 30% de los residuos totales generados en la Unión Europea, lo que pone de manifiesto la urgencia de desarrollar soluciones efectivas para su gestión y valorización.

Si nos centramos en España, y más concretamente en la Comunidad de Madrid, la situación tiene especial relevancia debido al auge de grandes proyectos de infraestructura como el soterramiento de vías y la remodelación del Nudo Norte. Estas obras están generando una gran cantidad de escombros y materiales que, si no se gestionan adecuadamente, pueden provocar un daño significativo al medio ambiente y significar un desperdicio de recursos valiosos. Actualmente, las estimaciones de los informes de Estrategia de Gestión Sostenible de Residuos dicen que se gestionan aproximadamente 3000 contenedores de residuos de obra diarios, lo que señala la necesidad de implementar sistemas más eficientes y sostenibles en el tratamiento de residuos.

Establecer una empresa dedicada al reciclaje de RCDs no solo responde a las necesidades descritas, sino que también comparte las políticas de economía circular promovidas en el ámbito nacional y europeo. Dichas políticas pretenden minimizar el uso de recursos naturales, fomentar la reutilización de materiales y así reducir la generación de residuos. Además, con el reciclaje de RCDs viene la oportunidad de generar empleo y desarrollar tecnologías innovadoras, contribuyendo al desarrollo económico y social de la Comunidad.

En este contexto, este trabajo tiene como objetivo desarrollar un plan de negocio para una empresa que pueda posicionarse como líder en la valorización y gestión de RCDs en la Comunidad de Madrid. Mediante un análisis exhaustivo de la normativa vigente, el mercado y las necesidades técnicas, el proyecto buscará demostrar la viabilidad económica y ambiental de este modelo de negocio.

2.2. Objetivo del trabajo

Este Proyecto tiene como principal objetivo desarrollar un plan de negocio para la creación de una empresa dedicada al reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición en la comunidad de Madrid. Dicho objetivo se desglosa en los siguientes apartados:

1. Realizar un estudio de mercado: analizar la situación actual del sector de la construcción en Madrid, para identificar la generación de RCDs, oportunidades del sector existente y los actores clave involucrados en su gestión.

2. Analizar la normativa vigente: revisar regulaciones y leyes aplicables a la gestión de RCDs a nivel europeo y nacional, asegurando que la empresa cumpla con las obligaciones legales y aproveche los incentivos disponibles.

3. Estudiar las técnicas de valoración de RCDs: investigar sobre los métodos más eficientes y sostenibles para la reutilización de los residuos de obra o su reciclaje, evaluando la viabilidad económica y técnica.

4. Determinar el equipamiento necesario: identificar y seleccionar la maquinaria y tecnología necesaria para el procesamiento de RCDs, teniendo en cuenta los costes, eficiencia y rentabilidad.

5. Desarrollar un análisis financiero detallado: elaborar proyecciones financieras que incluyan estimaciones de inversión inicial, ingresos y costos esperados y análisis de rentabilidad, con el fin de evaluar la viabilidad económica del proyecto.

6. Diseñar un plan de marketing y comunicación: establecer estrategias para posicionar a la empresa en el mercado, promoviendo los servicios y concienciando a los posibles clientes sobre la importancia de reciclar estos residuos.

7. Evaluar el impacto ambiental y social: analizar los beneficios que la empresa aportará al medio ambiente y a la sociedad, en términos de conservación de recursos naturales, generación de empleo y reducción de residuos.

2.3. Metodología de trabajo

El desarrollo de este proyecto sigue una metodología basada en recopilar información, analizar datos y formular un plan de negocio viable para una empresa de reciclaje de RCDs. Para lograr los objetivos descritos, se han definido las siguientes fases.

1. Revisión bibliográfica y normativa

Se realizará una revisión de normativas, documentos y estudios previos relacionados con la gestión y valoración de RCDs en España y Europa. Para ello se consultarán fuentes gubernamentales, publicaciones científicas y reportes de organismos especializados en sostenibilidad y gestión de residuos. Las principales fuentes que se consultará serán:

- Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (MITECO).
- Estrategia de Gestión Sostenible de Residuos.
- Normativa europea sobre residuos y economía circular.
- Artículos y estudios académicos sobre reciclaje de RCDs.

2. Análisis del mercado de RCDs en la Comunidad de Madrid

Se analizará las cantidades de residuos que se generan en la región, actores claves involucrados (constructores, gestores de residuos, empresas recicladoras), y la demanda potencial de materiales reciclados. Los métodos para hacerlo serán:

- Analizar informes de mercado sobre la industria de la construcción y gestión de residuos.
- Identificación de empresas y competidores del sector
- Estudio de tendencias en valorización de residuos

3. Evaluación de tecnologías y procesos de valorización de RCDs

Se investigarán las tecnologías más eficientes para el reciclaje de los RCDs como lo son la trituración, cribado y clasificación de materiales como ladrillos, hormigón, metales y madera. Para ello se utilizarán estudios técnicos sobre tecnologías de reciclajes y se compararán de equipos y procesos utilizados en plantas de tratamiento de residuos.

4. Definición del modelo de negocio y estructura operativa

Se desarrollará un plan de negocio que incluirá la propuesta de valor, modelo de ingresos, costos operativos, inversión inicial y estructura organizativa de la empresa. Para ello se aplicará el modelo Canvas para estructurar el negocio, el análisis financiero para evaluar la rentabilidad del proyecto y se estimaran costos de implementación y operativos.

5. Evaluación de impacto ambiental y social

Se realizará un análisis de los beneficios ambientales y sociales del proyecto como la reducción de residuos enviados a vertederos y la generación de empleo en el sector del reciclaje.

6. Conclusiones y recomendaciones

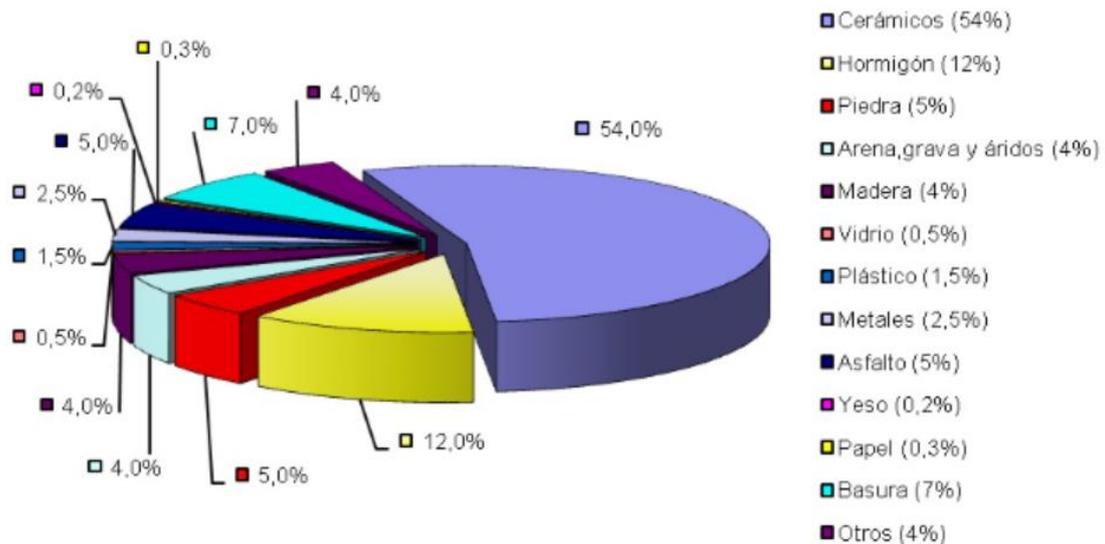
Se sintetizarán los hallazgos obtenidos a lo largo del estudio y se propondrán estrategias para la implementación efectiva del negocio.

3. Marco teórico

3.1. Definición y clasificación de los residuos de construcción y demolición (RCDs)

Los residuos de construcción y demolición (RCDs) son aquellos materiales generados en obras de construcción, rehabilitación y demolición de infraestructuras y edificaciones, conforme a la definición dada por el Real Decreto 105/2008. Estos residuos representan una de las principales fuentes de desechos a nivel mundial, y su gestión adecuada es

esencial para reducir el impacto ambiental y fomentar la economía circular en el sector de la construcción. Como se puede ver en la imagen a continuación, según la Gestión del Amianto, de los RCDs el 12% es hormigón, 54% material cerámico, 5% piedra, un 4% arena, grava y áridos, un 4% madera y el resto otros residuos, de donde el 7% está clasificado como residuos peligrosos.



Los RCDs deben separarse en la propia obra, o llevarlo a una planta de reciclado y luego pasarlo por procesos para su valoración. La clasificación se puede hacer por su origen o su naturaleza.

Clasificación de los RCDs según su origen

- **Residuos procedentes de la extracción o de movimientos de tierra:** pertenecen aquellos que consista en movimientos de tierra sin elementos constructivos u obtención de áridos. Son residuos limpios sin ninguna contaminación ya que son de origen natural o pétreo.
- **Residuos de construcción:** pertenecen aquellos que provienen de obras de construcción. El 75% de ellos son escombros, restos de hormigón o cerámicos y el otro 25% son residuos compuestos por papel, vidrio, madera y residuos peligrosos como pintura o disolventes.
- **Residuos de demolición:** suelen estar compuestos por los mismos materiales que los residuos de construcción, pero su principal diferencia de que la separación y clasificación de los materiales es más difícil porque se mezclan hierros, hormigón, ladrillos y hierros.

Clasificación de los RCDs según su naturaleza

- **Residuos inertes:** pertenecen aquellos que no son peligrosos para el ser humano ni contaminan el medio ambiente. No tienen características biodegradables ni solubles y no generan reacciones químicas o físicas con otras sustancias. La mayoría de los RCDs pertenecen a este grupo, como por ejemplo el hormigón, ladrillo, tejas y vidrios.
- **Residuos peligrosos:** pertenecen aquellos que son peligrosos para el ser humano o contaminan el medio ambiente, por lo que están regulados. Al poder contaminar su alrededor, es importante su separación y clasificación en la misma obra principalmente, ya que sino contaminaría los residuos inertes. Algunos ejemplos son la pintura, el disolvente o el plomo.
- **Residuos no peligrosos:** Pertenecen aquellos que no son peligrosos, pero al transformarse puede producir algún tipo de sustancia perjudicial para el ser humano o el medio ambiente, como lo serian el papel, yesos o plástico.

En España se generan 40 millones de toneladas de RCDs al año, que representa el 30% de los residuos totales generados. Solo en la Comunidad de Madrid se producen unos 3000 contenedores diarios de escombros, por lo que un manejo ineficiente podría llevar a:

- Sobreexplotación de recursos naturales si no se reutilizan materiales.
- Contaminación de suelo y aguas subterráneas debido al vertido incontrolado.
- Emisiones de CO₂ debido a la producción de nuevos materiales en vez de reciclar.
- Saturación de vertederos.

3.2. Problemática y oportunidades en la gestión de RCDs

Los RCDs representan uno de los mayores flujos de residuos en la Unión Europea, alcanzando un 35% de los residuos generados (Comisión Europea, 2024). La gestión inadecuada de los residuos genera impactos económicos y ambientales significativos, lo que supone las siguientes problemáticas:

Altos volúmenes de generación y baja valorización

Como ya se ha dicho en la Comunidad de Madrid se generan unos 3000 contenedores de escombros al día. Sin embargo, un gran porcentaje de estos residuos aun termina en vertederos, sin aprovechar su potencial de reutilización o reciclaje. España estableció el objetivo de alcanzar el 70% de valorización de los RCDs, pero la realidad es que es difícil alcanzar ese porcentaje, sobre todo en obras menores, donde la separación en origen no tiene la relevancia que debería.

Falta de concienciación y separación en origen

Como se ha comentado en el problema anterior, la falta de separación en origen hace difícil el posterior reciclaje de los RCDs y su gestión. Muchos residuos terminan mezclándose con materiales contaminantes, lo que encarece los procesos de valorización,

por ejemplo, reduciendo la calidad de los áridos reciclados. Esto se debe sobre todo a la falta de incentivos económicos y normativos para que las constructoras hagan una correcta gestión de sus residuos.

Vertido ilegal y falta de control

El vertido ilegal de RCDs sigue siendo un problema en España. Entre el 15 y 20% de los RCDs acaban en vertederos o escombreras ilegales, generando impactos negativos en el medioambiente y la salud pública. Según Laforga (2019), este problema tiene su origen en que los costes del vertido ilegal son mucho más baratos que los de tratamiento adecuado de residuos.

Escasez de plantas de reciclaje especializadas

Aunque la demanda de materiales reciclados en la construcción está al alza, las infraestructuras para reciclar los residuos siguen siendo insuficiente. En la Comunidad de Madrid hay varias plantas de reciclaje, pero la mayoría no cuenta con tecnologías adecuadas para procesar materiales como plástico, yeso o madera proveniente de la construcción. Esto limita la capacidad de valorización y aprovechamiento de materiales reciclados en nuevas construcciones.

A pesar de los desafíos mencionados, la gestión de estos residuos también ofrece oportunidades en términos ambientales, económicos y regulatorios.

Impulso de la economía circular y nuevos modelos de negocio

Mediante la promoción de la reutilización y reciclaje de materiales de construcción, el marco legislativo español y europeo estas impulsando la transición hacia una economía circular. La demanda de áridos reciclados y otros materiales reutilizables están en aumento, y es por ello que las empresas que se especializan en la valoración de los RCDs tienen una gran oportunidad de crecimiento.

Uso de tecnología en la gestión de residuos

La digitalización y el uso de nuevas tecnologías ayuda a mejorar la gestión de los RCDs. Aplicaciones y plataformas digitales, como las desarrolladas por empresas como Cocircular, permiten rastrear y optimizar la gestión de RCDs en tiempo real, simplificando el cumplimiento normativa y reduciendo costes.

Crecimiento del mercado de áridos reciclados

Con la creciente demanda de materiales sostenibles para la construcción, los áridos reciclados se están convirtiendo en una alternativa viable a los áridos naturales. En

Alemania y Holanda ya se utilizan estos áridos en el 80% de los proyectos de construcción, mientras que en España aún hay margen de crecimiento en el sector.

Mayor apoyo institucional y normativo

Las instituciones gubernamentales están estableciendo nuevos requisitos para la gestión sostenible de los RCDs. En la Comunidad de Madrid, el Proyecto de Decreto sobre RCDs quiere reforzar las obligaciones de separación en origen y fomentar la valorización de residuos. Esto supone una oportunidad para aquellas empresas que invierta en tecnologías para mejorar el reciclaje y gestión de residuos.

3.3. Normativa vigente

La gestión de los RCDs en España está regularizada por un conjunto de normativas que buscan garantizar una gestión sostenible y adecuada de estos residuos, con el objetivo de minimizar su impacto ambiental y promover su valorización y reciclaje. En este punto se recogen las principales normativas que se aplican a nivel nacional y en la Comunidad de Madrid.

Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular

Esta ley establece el marco legal para la gestión de residuos en España, incluyendo principios de la economía circular y adecuando la normativa española a las directrices europeas. En sus objetivos se incluyen la promoción de la reutilización y el reciclaje, la prevención de la generación de residuos y la reducción del impacto ambiental que generan los residuos. La ley también introduce medidas específicas para distintos tipos de residuos.

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

En este real decreto se establecen las condiciones para la producción y gestión de los RCDs, para fomentar su prevención, reutilización, reciclaje y otras formas de valoración, para garantizar que su eliminación se realiza de forma segura para la salud humana y el medioambiente. Es aquí donde se define las obligaciones de los productores y poseedores de RCDs, y los gestores autorizados, y se establecen los requisitos para la elaboración de estudios de gestión de residuos en proyectos de construcción y demolición.

Ley 5/2003, de 20 de marzo, de Residuos de la Comunidad de Madrid

Esta ley es específica para la Comunidad de Madrid, estableciendo el régimen jurídico para la producción y gestión de los residuos en la comunidad. Al igual que el real decreto, incluye disposiciones específicas para los RCDs, promoviendo su reducción en origen,

reutilización y reciclaje, y establece las competencias para las entidades locales en la gestión de residuos.

Proyecto de Decreto por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición en la Comunidad de Madrid

Con el objetivo de actualizar y completar la normativa existente, la Comunidad de Madrid desarrolló un proyecto de decreto que establece los requisitos para la producción y gestión de RCDs. Para ello, el proyecto fue sometido a consulta pública para recabar opiniones y aportaciones de ciudadanos, organizaciones y asociaciones interesadas. En diciembre de 2024 se publicó el Decreto 110/2024, que regula los requisitos de utilización y usos admitidos de áridos reciclados procedentes de operaciones de valorización de RCD en la Comunidad de Madrid. Este decreto complementa el marco normativo para la gestión de RCD, estableciendo criterios técnicos para la utilización de áridos reciclados en condiciones que garanticen la protección de la salud y del medio ambiente.

Directiva 2008/98/CE, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos

Esta directiva establece el marco legal para la gestión de residuos en la Unión Europea, introduciendo el concepto de jerarquía de residuos (para priorizar la prevención), y la preparación para la reutilización, reciclaje, otras formas de valoración y por último la eliminación. Establece objetivos específicos sobre la preparación para la reutilización y reciclaje de RCDs no peligrosos, fijando una meta del 70% para el año 2020.

3.4. Políticas europeas y tendencias internacionales

La UE genera aproximadamente 800 millones de toneladas anuales de RCD, lo que representa el 32% de los residuos europeos. Países como Alemania, Austria o Suecia están a la cabeza en términos de reciclaje superando el 70%, mientras que España tiene tasas de reciclaje inferiores al 35%, lo que podría acarrear sanciones por parte de la UE. La gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) es una prioridad en las políticas europeas y en las tendencias internacionales hacia la sostenibilidad y la economía circular. A continuación, se detallan las principales iniciativas y tendencias en este ámbito:

Políticas europeas

1. Directiva 2008/98/CE sobre los residuos

Introdujo la jerarquía de residuos, estableciendo una prioridad en la prevención, reutilización, reciclaje y valorización antes de la eliminación en vertederos. También exige que los Estados miembros adopten planes de gestión de residuos y fomenten el uso de materiales reciclados. Mas tarde, la Directiva 2018/851/CE, modificaría esta para reforzar los objetivos de reciclaje y establecer el mínimo del 70% de reutilización de los RCDs.

2. Directiva 2018/850/CE sobre vertido de residuos

Modificó la Directiva 1999/31/CE imponiendo medidas más estrictas sobre la eliminación de residuos para reducir el impacto medioambiental, y así depender menos de los recursos naturales usándolos más eficientemente y avanzar hacia una economía circular.

3. Protocolo de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición de la UE

Publicado en 2016, este protocolo busca aumentar la confianza en los procesos de gestión de RCD y promover el uso de materiales reciclados. Este protocolo se enmarca en la Estrategia de Construcción 2020 y el Paquete de Economía Circular de la Comisión Europea, donde se establecen incentivos económicos para la reutilización de materiales y reducción de residuos.

Tendencias internacionales

1. Economía circular en la construcción

RCD Project (2025) establece que la economía circular está ganando protagonismo a nivel global en el sector de la construcción ya que los residuos no se consideran desechos, sino recursos naturales que se pueden transformar en nuevos materiales, reduciendo la necesidad de extraer recursos naturales y reduciendo la huella de carbono.

2. Digitalización y tecnología en la gestión de RCD

Según World Bank en su informe sobre la “Gestión Mundial de residuos tendencias del mercado” la digitalización está revolucionando la gestión de RCD. El uso de tecnologías avanzadas permite hacer un mejor seguimiento de los residuos, optimizando su recolección, transporte, reciclaje y eliminación. Esto mejora la eficiencia y sostenibilidad en la gestión de residuos a nivel global. Algunos ejemplos son el uso de inteligencia artificial y los robots clasificadores que se están empezando a utilizar en Alemania y Estados Unidos.

3. Eventos internacionales sobre reciclaje de RCD

La comunidad internacional cada vez está más comprometida con el reciclaje de RCD. Un ejemplo de ello es que el pasado noviembre de 2024 II Congreso Internacional de Reciclaje de Residuos de la Construcción y Demolición, en donde más de 400 expertos de 15 países se reunieron en Zaragoza para hablar en torno a 3 temas: experiencias relacionadas con la economía circular y sobre la correcta gestión de los residuos, retos y oportunidades, especialmente vinculados con las nuevas tecnologías y las exigencias de la normativa actual.

4. Demolición selectiva

Países como Japón han implementado estrictos sistemas de separación de residuos en obra, maximizando la reutilización de materiales. Esto es posible ya que la demolición selectiva, que consiste en secuenciar las actividades de demolición para que sea más sencillo la separación y clasificación de los materiales de construcción.

5. Revisión normativa

En el contexto internacional se están promoviendo cambios significativos en los códigos técnicos de edificación, con el fin de fomentar la incorporación de materiales reciclados en nuevas construcciones. Esta tendencia se está consolidando en los países de la UE, donde los estándares normativos están siendo revisados para permitir el uso de hormigón reciclado, asfalto reciclado y áridos procedentes de los RCDs, sin comprometer la calidad estructural ni la durabilidad de las obras. Estas prácticas forman parte de un movimiento más amplio de innovación constructiva sostenible, en el que se integran principios de ecodiseño, análisis de ciclo de vida y economía circular como criterios técnicos exigibles en licitaciones públicas y grandes desarrollos urbanísticos.

4. Análisis del entorno y del mercado

4.1. Situación actual de la industria en la Comunidad de Madrid

La Comunidad de Madrid es uno de los principales motores económicos de España, y aunque la industria madrileña no es tan dominante como en otras comunidades con mayor tradición manufacturera, sigue siendo un pilar clave en términos de inversión, valor añadido y empleo.

Según la Consejería de Economía, Hacienda y Empleo de la Comunidad de Madrid y el Instituto Nacional de Estadística (INE), el sector industrial representa aproximadamente el 10% del PIB regional, con una facturación mayor a los 8000 millones de euros anuales. En 2022, la producción industrial en Madrid aumentó un 5.7% doblando el 2.4% de la media nacional. Además, este último año el empleo en la industria aumento un 2.3% alcanzando niveles superiores a los de antes de la pandemia. En 2024, se destinaron 5.5 millones de euros para que las pymes madrileñas para que introduzcan IA en sus procesos productivos. Estos indicadores colocan a Madrid como una de las regiones más dinámicas en términos industriales, aunque siga detrás de Cataluña y País Vasco.

El sector de la construcción es uno de los pilares de la economía madrileña, y más en la actualidad donde se están desarrollando proyectos emblemáticos:

- **Reforma del nudo norte:** Uno de los proyectos de infraestructura más grandes de Madrid, cuyo objetivo es mejorar la conectividad del norte de Madrid. Genera una gran cantidad de RCDs que requieren una planificación para su gestión.
- **Operación Chamartín:** Es considerada la mayor operación urbanística de España y una de las más grandes de Europa. Se espera la construcción de 10500 viviendas,

con una gran producción de residuos derivados de la demolición y movimientos de tierra.

- **Soterramiento de la A-5:** Este proyecto está destinado a reducir la contaminación acústica y ambiental en la entrada de Madrid y también implicará grandes volúmenes de excavación y generación de escombros.

A pesar de los avances, el sector enfrenta desafíos significativos, como la escasez de profesionales cualificados. Iniciativas como Aula Emplea buscan identificar y abordar la falta de personal en diferentes áreas industriales, colaborando con la Red de Oficinas de Empleo de la Comunidad de Madrid y el COE Madrid. Según Ávila (2025) en el sector mecánico se necesitan 2000 profesionales en la región.

En resumen, el sector industrial madrileño está en la fase de crecimiento y modernización, impulsada por una economía regional robusta y políticas de apoyo. Sin embargo, es importante continuar abordando desafíos como la formación y retención de talento para asegurar el desarrollo sostenible en el futuro.

4.2. Análisis del volumen y características de los RCDs generados

La cantidad y tipo de RCDs varía según múltiples factores, como el tipo de obra, materiales empleados y la regulación vigente. En la Comunidad de Madrid la generación de RCDs ha aumentado en los últimos años debido a la reactivación del sector de la construcción y las grandes infraestructuras en desarrollo.

Volumen de generación de RCDs en la Comunidad de Madrid

Según el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) y el Instituto Nacional de Estadística (INE), España genera 40 millones de toneladas de RCDs al año, lo que representa aproximadamente el 35% del total de residuos generados en el país.

En la Comunidad de Madrid:

- Se generan anualmente entre 3.5 y 4.5 millones de toneladas de RCDs.
- El 60% proviene de proyectos de demolición, el 30% de la construcción de obra nueva y el 10% de reformas y rehabilitaciones.
- La cantidad de residuos generados varía según la intensidad de la actividad constructiva y el tipo de obra.

Madrid se diferencia de otras regiones de España ya que tiene un alto porcentaje de generación de RCDs debido a la gran cantidad de proyectos de remodelación de infraestructura existente y al crecimiento urbano.

Caracterización de los RCDs generados

Según el MITERD y el IDAE los principales componentes de los RCDs en Madrid son:

1. Materiales inertes (75%)

- Hormigón (35%): provienen de demolición de estructuras y pavimentos.
- Ladrillos y cerámica (25%): provienen de demolición de edificios y muros.
- Piedras y áridos (15%): provienen de excavaciones y desmontes.

2. Materiales no peligrosos (20%)

- Madera (10%): proviene de marcos de puertas y ventanas y encofrados.
- Metales (5%): chatarra de acero, aluminio y cobre.
- Plásticos (3%): proviene de envases, tuberías y aislamientos.
- Vidrio (2%): Restos de ventanas, fachadas y particiones interiores.

3. Materiales peligrosos (5%)

- Amianto: proviene de tuberías, tejados antiguos y aislamientos.
- Pinturas y disolventes: utilizados en acabados y revestimientos.
- Residuos electrónicos y luminarias: provienen de instalaciones antiguas

Factores que afectan la cantidad y composición de los RCDs

La generación y el tipo de RCDs dependen de varios factores, entre los que destacan:

1. Tipo de obra

- Las demoliciones de edificios antiguos generan gran cantidad de hormigón, ladrillos y cerámica.
- Las reformas producen más residuos metálicos, plásticos y de madera.

2. Edad de los edificios

- En construcciones anteriores a los años 80 es más común encontrar materiales peligrosos como amianto y pinturas con plomo.
- Los edificios modernos tienen una mayor proporción de materiales reciclables, como plásticos de alto rendimiento.

3. Regulación y control

- Desde que se aprobaron normativas como la Ley de Residuos y Suelos Contaminados de 2022, se ha promovido una mayor separación en origen, lo que influye en la caracterización de los de los RCDs

4. Avances tecnológicos en la construcción

- Con la introducción de materiales modulares y prefabricados se ha reducido la generación de algunos residuos como hormigón y ladrillos.
- La demolición selectiva también ayuda a mejorar la clasificación y reciclaje de los materiales.

Relación entre la gestión de RCDs y la economía circular

La tendencia de apostar por la economía circular en la construcción ha generado un mayor interés en el reciclaje de los RCDs. Algunas de las estrategias utilizadas son

- Uso de áridos reciclados para fabricar hormigón y asfalto.
- incorporación de materiales reutilizados en nuevas edificaciones, como por ejemplo madera recuperada y metales reciclados.
- Sistema de demolición selectiva para separar y recuperar un mayor porcentaje de materiales reciclados.

Según el Plan de Acción de Economía Circular 2021-2023, se espera que en los próximos años aumente el uso de materiales reciclados en el sector de la construcción, lo que podría reducir la generación de RCDs en origen.

Como se explicará mas adelante, este proyecto está alineado con los ODS 8, 9, 11, 12, 13 y 15.

4.1. Identificación de actores clave: competidores, proveedores y clientes potenciales

Competidores: Empresas gestoras y recicladoras de RCDs

En la Comunidad de Madrid, los RCDs se gestionan principalmente a través de tres tipos de instalaciones autorizadas:

1. Plantas de transferencia: encargadas del almacenamiento temporal y la clasificación de los residuos antes de enviarlas a plantas de reciclaje o vertederos.
2. Plantas de reciclaje: encargadas de procesar los residuos para obtener materiales reutilizables como áridos reciclados.
3. Vertederos: encargados de recibir los RCDs no valorizables, aunque el objetivo es reducir su uso.

En esta región, el sector de la gestión de RCDs está compuesto por empresas autorizadas que operan en la recogida, tratamiento y reciclaje de los materiales. A continuación, se detallan las principales compañías:

FCC Medio Ambiente

Esta empresa, parte del grupo Fomento de Construcciones y Contratas (FCC), gestiona múltiples plantas de reciclaje en la región. Según CincoDias (2025), FCC en consorcio con Acciona, presentó un recurso contra la adjudicación de un contrato de tratamiento de residuos a Urbaser, valorado en más de 1000 millones de euros.

Urbaser

Especializada en servicios medioambientales, Urbaser se ha adjudicado importantes contratos en la Comunidad de Madrid. En enero de 2025, obtuvo provisionalmente un contrato significativo para el tratamiento de residuos en la Mancomunidad del Noreste de Madrid, aunque dicha adjudicación ha sido objeto de recursos por parte de competidores como Valoriza, FCC y Acciona.

Valoriza Servicios Medioambientales

Esta empresa, filial del grupo Sacyr, tiene gran presencia en Madrid en los servicios de gestión de residuos y limpieza viaria. En diciembre de 2024, fue adjudicataria del contrato de limpieza y recogida de residuos urbanos en Torrejón de la Calzada, con el objetivo de ampliar y mejorar los servicios del municipio.

Acciona

Aunque su actividad principal se centra en la energía y construcción, Acciona participa en el sector de la gestión de residuos a través de consorcios y alianzas estratégicas. Un ejemplo destacado es la adquisición de la planta de reciclaje de residuos de construcción de GRV AMBIENT en Santa Quiteria, Barcelona. Esta instalación trata aproximadamente 100.000 toneladas anuales de residuos, de las cuales el 80% se reutiliza como materias primas para nuevas infraestructuras.

TRAGSA

El Grupo TRAGSA, de titularidad pública, se dedica a servicios medioambientales, incluyendo la gestión de residuos. En enero de 2025, fue adjudicatario de un proyecto para la retirada de 120.000 toneladas de residuos ilegales entre Valdemoro y Ciempozuelos según Garcia (2025)

Proveedores: Empresas generadoras de RCDs

1. Empresas constructoras y promotoras

Este segmento son los que más RCDs generan debido a la gran cantidad de proyectos de infraestructura, edificación y rehabilitación que se desarrollan en la Comunidad de Madrid. Según los datos de la Asociación de Empresas Constructoras y Concesionarias de Infraestructuras (SEOPAN) en 2023 se aumentó en un 6.1% el volumen de licitaciones públicas de construcción.

Algunas de las empresas más importantes de Madrid son:

- *Ferrovial Construcción* → responsable de grandes obras urbanas e infraestructura como la M-30 y la ampliación del aeropuerto de Barajas.
- *ACS (Dragados, CLECE, Vías y Construcciones)* → desarrolla obras tanto de edificación como de infraestructuras, generando altos volúmenes de residuos.
- *Acciona* → se especializa en infraestructura sostenible promoviendo la valorización de residuos en sus proyectos.
- *OHL* → presente en proyectos urbanos y ferroviarios, con grandes cantidades de escombros y materiales reutilizables.
- *Sacyr Construcción* → encargada de proyectos como el soterramiento de la A-5 y el desarrollo de viviendas en Madrid Nuevo Norte.

Estas empresas suelen generar áridos, hormigón y ladrillos procedentes de excavaciones y estructuras; residuos metálicos de encofrados y tuberías y madera y plástico de andamios y estructuras temporales.

2. Empresas de demolición y excavación

Este conjunto es otro actor clave en la generación de residuos. En Madrid, la demolición de edificios antiguos y la excavación para nuevas infraestructuras generan grandes cantidades de residuos, que deben ser gestionados adecuadamente.

Las principales empresas de demolición en Madrid son:

- *dMol* → Líder en el sector, con una reputación impecable por su profesionalismo y calidad. Es miembro de la Asociación Española de Empresarios de Demolición (AEDED) y se especializa en desmontaje industrial.
- *Marpe* → Destaca por su enfoque personalizado y capacidad de adaptación a cada proyecto. Ofrece precios competitivos y un servicio eficiente y profesional.
- *Napisa* → Especializada en la demolición de naves industriales, combina experiencia e innovación con un fuerte compromiso con la seguridad y la calidad.
- *Recuperaciones Dermo* → Reconocida por su eficiencia y precios accesibles, cuenta con un equipo altamente capacitado y un servicio orientado al cliente.

Los residuos que suelen generar son el hormigón triturado (que se reutiliza en rellenos o fabricación de áridos reciclados) ladrillos y cerámicos (que a veces se reutilizan para nuevos materiales de construcción), metales (como chatarra reciclable en la industria siderúrgica) y otros residuos peligrosos que requieren una gestión especial.

Cientes potenciales: Mercado para los productos reciclados de RCDs

El reciclaje de los RCDs, además de contribuir a la reducción de residuos en vertederos, genera materiales reutilizables con gran demanda impulsada por la economía circular y las exigencias medioambientales en la construcción. Los clientes potenciales incluyen:

1. Empresas constructoras y promotoras

Las constructoras son los principales compradores de áridos reciclados que se utilizan como sustituto de los naturales en asfaltos y hormigones. Los factores que impulsan su uso son las exigencias normativas, los costos competitivos que hacen que los áridos reciclados sean hasta un 20% más baratos que los naturales y la reducción de la huella de carbono, que hace que empresas como Ferrovial o Sacyr empiecen a incorporar materiales reciclados.

2. Administraciones públicas

El sector público es un actor clave en el mercado de los productos reciclados de RCDs, ya que las administraciones regionales y municipales están obligadas a cumplir las directivas de economía circular y minimizar el uso de recursos naturales. Las oportunidades en obras públicas incluyen la construcción de carreteras y pavimentos donde se utiliza áridos reciclados de capa base y subbase, la rehabilitación de edificios públicos usando hormigón reciclado y materiales reutilizados o en proyectos de urbanismo sostenible empleando los áridos reciclados en caminos o drenajes en áreas verdes.

3. Fabricantes de materiales de construcción

Los materiales reciclados se pueden incorporar en la fabricación de nuevos productos de construcción, lo que supone una oportunidad para las industrias de prefabricados y cementeras. Los materiales reciclados más demandados en la industria son los áridos reciclados, el vidrio reciclado que se utiliza para fabricar aislantes térmicos, la madera reciclada que se transforma en tableros aglomerados y biomasa para energía y el yeso reciclado.

Empresas como Cementos Portland Valderrivas, Knauf y LafargeHolcim están incorporando cada vez más materiales reciclados en sus procesos productivos.

4. Cementeras y plantas de áridos

Las cementeras pueden aprovechar los materiales como sustitutos de áridos naturales para fabricar cemento y hormigón. También pueden aprovechar algunos residuos como combustibles alternativos en hornos cementeros, reduciendo la necesidad de combustibles fósiles. Algunas plantas de áridos también utilizan los áridos reciclados para restaurar zonas degradadas en la regeneración de canteras. CEMEX es una cementera que ya está implementando estas estrategias en sus fábricas.

5. Empresas de paisajismo y jardinería

Ya se ha comentado en el punto las administraciones públicas, pero utilizar áridos reciclados en caminos peatonales y parques, madreas recicladas en mobiliario urbano y vallado o vidrio reciclado en sistemas de drenaje o filtración de agua ayudaría a los proyectos de paisajismo a conseguir certificaciones ecológicas como LEED o BREEM.

4.3. Análisis DAFO

El análisis DAFO ayuda a evaluar factores internos y externos que afectan a la viabilidad de una empresa dedicada al reciclaje de los RCDs en la Comunidad de Madrid.

Debilidades (factores internos negativos)

1. Altos costes de inversión inicial

La puesta en marcha de una planta de reciclaje de RCDs requiere una inversión significativa en la adquisición de terrenos adecuados, construcción de infraestructura y compra de maquinaria especializada para la trituración, cribado y clasificación de residuos. Además de los costes directos de implementación, hay que considerar gastos extra como los asociados a la obtención de permisos municipales, licencias ambientales o certificaciones de calidad, los cuales pueden aumentar el capital necesario y retrasar el inicio de la actividad

2. Dependencia del volumen de residuos generados

La rentabilidad de la empresa está directamente relacionada con la cantidad de RCDs disponibles para su tratamiento, lo que significa que cualquier reducción de la actividad de construcción y demolición en Madrid afectará negativamente a los ingresos.

En periodo de crisis económica o ralentización del mercado inmobiliario, la generación de RCDs se reduce, disminuyendo la materia prima disponible y generando fluctuaciones en la facturación de las plantas de reciclaje.

3. Dificultades en la separación y clasificación de residuos

Muchos RCDs llegan a las plantas de reciclaje sin una separación correcta en origen, por lo que materiales como ladrillo, madera y hormigón estarán mezclados con elementos no reciclados, que aumenta el coste de su procesamiento. Las tecnologías de clasificación automatizada es cara y requiere inversión constante para su mantenimiento y mejora, además se requiere de operarios capacitados para una gestión y valoración adecuadas.

4. Competencia con vertederos y soluciones tradicionales

Aunque cada vez hay más normativas que fomentan el reciclaje de los residuos, muchos de estos aun acaban en vertederos debido a los menores costes asociados a su disposición final, lo que significa una competencia desleal para empresas de valorización.

Algunos gestores de residuos prefieren utilizar soluciones más tradicionales como la venta de materiales vírgenes o el depósito en escombreras, lo que dificulta la consolidación del mercado de materiales asociados.

5. Falta de cultura y concienciación en el sector

A pesar de las campañas de sensibilización y los avances normativos, muchas constructoras y promotoras siguen sin priorizar el uso de materiales reciclados, percibiéndolos como menos fiables o de peor calidad que los materiales nuevos. La falta de formación y de incentivos para los profesionales del sector hace que en muchas obras no se realice de forma adecuada la separación y reutilización, limitando los residuos que pueden ser correctamente reciclados y comercializados.

Amenazas (factores externos negativos)

1. Cambios en la normativa y requisitos administrativos

La legislación ambiental en España y la Unión Europea está en constante evolución, lo que supone un desafío para las empresas que deben adaptarse a nuevas regulaciones sobre la gestión de residuos, niveles de valorización y restricciones en el vertido de RCDs.

La obtención de licencias para operar una planta de reciclaje de RCDs conlleva una burocracia compleja, que puede tardar meses o años, dependiendo de los requisitos automáticos, afectando el calendario de implementación del negocio.

2. Fluctuaciones en el mercado de la construcción

El sector de la construcción es extremadamente cíclico y depende de factores macroeconómicos como la inversión pública en infraestructura, los tipos de interés y la demanda mobiliaria, lo que hace que la cantidad de RCDs generados varíe según el momento del ciclo económico. Como se ha comentado en las debilidades, durante una crisis económica se reducen la demanda de materiales reciclados y la generación de residuos, afectando a la rentabilidad de las plantas de reciclaje.

3. Competencia de grandes empresas del sector

Empresas ya consolidadas como FCC, Urbaser y Valoriza cuentan con recursos financieros y tecnológicos mucho mayores que plantas de reciclaje pequeñas y medianas, lo que les permite absorber una gran parte del mercado de los RCDs mediante contratos exclusivos con constructoras y administraciones públicas. Muchas de estas compañías poseen sus propias plantas de reciclaje o han diversificado su actividad en la gestión integral de residuos, por lo que son capaces de ofrecer precios más competitivos y dificultando la entrada a nuevos competidores en el sector.

4. Costes de transporte elevados

Los RCDs son materiales voluminosos y pesados, por lo que su transporte conlleva un coste significativo, en especial si las plantas de reciclaje están alejadas de los centros urbanos o de las zonas donde se generan los residuos. El precio del combustible y las restricciones medioambientales en zonas urbanas pueden encarecer más aun el transporte, haciendo que sea más rentable para las constructoras llevar los residuos a vertederos cercanos en lugar de a una planta de reciclaje.

5. Calidad y aceptación de los materiales reciclados

A pesar de que los áridos reciclados y otros materiales que provienen de reciclaje de RCDs cumplen con las normativas de calidad, algunos clientes, sobre todos los de obras nuevas, prefieren materiales vírgenes debido a la percepción de mejores propiedades mecánicas y durabilidad. La falta de una demanda consolidada y de incentivos para el uso de materiales reciclados puede hacer que los precios de estos productos sean menos competitivos, dificultando su comercialización a gran escala.

Fortaleza (factores internos positivos)

1. Alineación con la normativa y políticas ambientales

La legislación española y europea establece un mínimo del 70% de valoración de estos residuos según la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos y el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR). Esto representa una ventaja para las empresas que apuestan por soluciones sostenibles e innovadoras en la gestión de residuos. Además, la Comunidad de Madrid está promoviendo nuevas regulaciones, el Proyecto de Decreto sobre Gestión de RCDs, que refuerzan la obligación de separar y reciclar residuos en origen, reduciendo la competencia con los vertederos y facilitando el acceso a materias primas secundarias.

2. Reducción de costes en obra con el uso de materiales reciclados

Los áridos reciclados pueden ser hasta 20% más barato que los áridos naturales, lo que los convierte en una opción económicamente viable para las constructoras y promotoras inmobiliarias que buscan reducir sus costes sin comprometer la calidad de sus proyectos. La incorporación de materiales reciclados en la construcción también puede dar acceso a subvenciones y generar beneficios fiscales, ya que muchos programas de financiación pública priorizan proyectos con criterios de sostenibilidad y economía circular.

3. Crecimiento del mercado de la economía circular

Con el creciente interés en la reutilización de materiales de construcción y la reducción de la huella de carbono en el sector inmobiliario, el mercado de la economía circular está en plena expansión. Además, las constructoras buscan cada vez más certificaciones LEED y BREEAM, que incentivan el uso de materiales reciclados en los proyectos de

construcción sostenible, aumentando la demanda de áridos reciclados y otros productos derivados de RCDs.

4. Posicionamiento como empresa sostenible e innovadora

Ser una empresa de reciclaje de RCDs permite diferenciarse en el mercado al ofrecer una propuesta de valor alineado con las políticas ambientales y la tendencia hacia la construcción sostenible. Una empresa enfocada en la valorización de residuos puede beneficiarse de una imagen corporativa más responsable y alineada con los ODS, a nivel de marketing y comunicación, lo que facilita alianzas estratégicas con clientes que buscan mejorar su impacto medioambiental.

5. Reducción del impacto ambiental y beneficios sociales

El reciclaje de los RCDs contribuye a la reducción de la cantidad de residuos que terminan en vertederos, disminuyendo la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas, además de reducir las emisiones de CO2 derivadas de la producción de materiales de construcción nuevos. La implantación de plantas de reciclaje de RCDs genera empleo en el sector de la economía circular y fomenta la formación en nuevas tecnologías de valorización de residuos, contribuyendo al desarrollo sostenible de la región.

Oportunidades (factores externos positivos)

1. Impulso legislativo y subvenciones

A parte de las normativas ya descritas, existen subvenciones y líneas de financiación pública a nivel europeo, nacional y autonómico para empresas que inviertan en tecnologías de reciclaje y economía circular. Programas como el PERTE de Economía Circular y fondos de la UE destinan recursos para proyectos innovadores en la gestión de residuos.

2. Crecimiento del sector de la construcción en Madrid

La comunidad autónoma está experimentando un gran crecimiento en el sector de la construcción, con grandes proyectos de infraestructura y desarrollo urbano que generan un alto volumen de RCDs. Grandes Obras como Madrid Nuevo Norte, el soterramiento de la A-5 y la ampliación del aeropuerto de Barajas supondrán un incremento en la generación de residuos y una mayor necesidad de soluciones de reciclaje.

A medida que se intensifican las políticas de construcción sostenible y rehabilitación urbana, el uso de materiales reciclados en obra privada y pública se está convirtiendo en un requisito obligatorio, lo que incrementa el mercado potencial para las empresas de valorización de RCDs.

3. Mayor exigencia en la gestión sostenible de residuos

La descarbonización del sector de la construcción y la transición hacia una economía circular está impulsando la adopción de criterios de sostenibilidad en la gestión de residuos. Normativas como el Real Decreto 105/2008 sobre RCDs establecen requisitos específicos sobre la separación, reutilización y reciclaje de estos materiales. Además las promotoras y constructoras cada vez están más obligadas a justificar su compromiso con el medioambiente para acceder a contratos públicos y privados, favoreciendo y la colaboración con empresas especializadas en su valorización y la integración de materiales reciclados en sus proyectos.

4. Desarrollo de nuevas tecnologías en reciclaje

Las innovaciones tecnológicas en el sector de los residuos están permitiendo mejorar la eficiencia en la separación y valorización de RCDs. Algunos ejemplos son los sistemas de clasificación automatizada mediante IA, trituración avanzada y reciclaje químico, que están optimizando la recuperación de materiales, aumentando la calidad de los productos reciclados. Por otro lado, los áridos reciclados tratados térmicamente, el hormigón reciclado con nanotecnología y la reutilización de plásticos de construcción están generando nuevos usos para los residuos de demolición, ampliando las posibilidades de negocio en este sector.

DEBILIDADES	AMENAZAS
Altos costes de inversión inicial	Cambios en la normativa y requisitos administrativos
Dependencia del volumen de residuos generados	Fluctuaciones en el mercado de la construcción
Dificultades en la separación y clasificación de residuos	Competencia de grandes empresas del sector
Competencia con vertederos y soluciones tradicionales	Costes de transporte elevados

Falta de cultura y concienciación en el sector	Calidad y aceptación de los materiales reciclados
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
Alineación con la normativa y políticas ambientales	Impulso legislativo y subvenciones
Reducción de costes en obra con el uso de materiales reciclados	Crecimiento del sector de la construcción en Madrid
Crecimiento del mercado de la economía circular	Mayor exigencia en la gestión sostenible de residuos
Posicionamiento como empresa sostenible e innovadora	Desarrollo de nuevas tecnologías en reciclaje
Reducción del impacto ambiental y beneficios sociales	

4.4. Identificación de nichos de mercado y oportunidades de negocio

El reciclaje de los RCDs en la Comunidad de Madrid presenta distintas oportunidades de negocio, sobre todo en nichos de mercado que no han sido plenamente explotados aun. Con el impulso normativo hacia la economía circular y la creciente demanda de soluciones sostenibles, aparecen áreas estratégicas donde las empresas del sector pueden especializarse y generar valor.

Reciclaje avanzado de materiales específicos

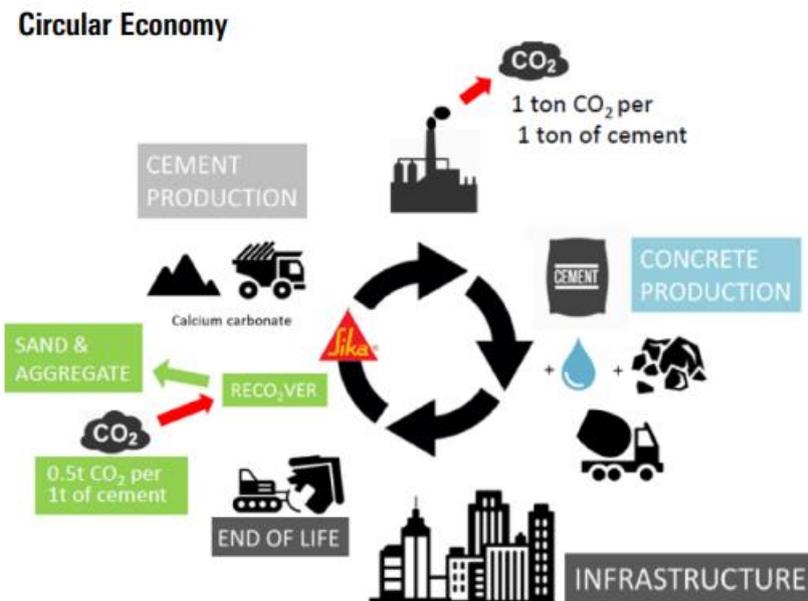
1. Hormigón reciclado y uso en prefabricados

El hormigón es la fracción más abundante de los RCDs, y al reciclarlo se pueden obtener áridos naturales, sin embargo, su aprovechamiento depende de varios factores.

El hormigón reciclado requiere de procesos de trituración, cribado y eliminación de impurezas (como refuerzos metálicos) para conseguir material de calidad. En Madrid hay plantas capaces de hacer esto, pero se podrían mejorar con sistemas de clasificación inteligente.

Los áridos reciclados provenientes del hormigón se pueden utilizar en la fabricación de elementos estructurales prefabricados, bloques o bordillos, para aplicarlos en obras públicas o urbanismo.

El uso de este hormigón en estructuras portantes es limitado debido a que las regulaciones exigen altos estándares de resistencia y durabilidad. Aun así, en aplicaciones no estructurales, su uso cada vez es más común.



2. Reciclaje de yeso y su valorización en nuevos productos

El yeso es un material fácil de reutilizar, pero su recuperación se enfrenta a retos. Hasta 2016. En Madrid no había instalaciones adecuadas para su reciclaje, limitando su aprovechamiento.

Si el yeso se mezcla con residuos pétreos, como hormigón o ladrillo, su reciclaje se dificulta ya que puede afectar a la calidad del árido reciclado. A esto se le suma que en muchas obras no se clasifica bien el yeso, por lo que su recuperación se dificulta aumentando los costes de procesamiento.

Con este yeso, empresas especializadas pueden producir nuevas placas de construcción, reduciendo el uso de yeso natural. En algunos casos, el yeso reciclado se puede aplicar como acondicionador de suelos de agricultura, mejorando su estructura y drenaje.

3. Mezclas bituminosas recicladas en asfalto

Las mezclas bituminosas, utilizadas en pavimentos y carreteras, representan una fracción significativa de los RCDs. Hasta hace poco no existían suficientes instalaciones para su reciclaje, pero en la actualidad se están desarrollando soluciones para su valorización.

El asfalto reutilizado se obtiene mediante el fresado de capas de pavimento, permitiendo su reutilización en nuevas mezclas bituminosas. A esto se le suma que la industria de la construcción de carreteras está implementando nuevas formulaciones de asfalto que incorporan hasta un 30% de material reciclado, para así reducir el uso de betún virgen y mejorando la sostenibilidad del sector.



Demolición selectiva y valorización in situ

La demolición tradicional genera una gran cantidad de residuos mezclados, lo que dificulta su reciclaje. En cambio, la demolición selectiva permite separar los materiales en origen, facilitando la reutilización y aumentando la tasa de valorización. Este enfoque es clave para cumplir con las normativas de la economía circular y reducir el impacto ambiental de las obras.

1. Beneficios de la demolición selectiva

Al separar residuos como hormigón, metal, yeso o madera antes de su procesamiento, se obtienen materiales más limpios y aptos para su reutilización. Al disminuir la mezcla de residuos, se reducen los costes de su tratamiento y transporte a plantas de reciclaje. Además, la normativa europea y española exige la separación de ciertos residuos de construcción y demolición para minimizar el vertido en escombreras.

2. Valorización in situ de RCDs

Una alternativa innovadora es la valorización in situ, que consiste en procesar los residuos directamente en la obra para su reutilización inmediata. Entre sus aplicaciones esta la trituración de hormigón y ladrillos en obra para generar áridos reciclados que pueden utilizarse en rellenos o bases de carreteras. La recuperación de acero estructural y metales para su venta o reutilización en nuevas construcciones es otra de sus aplicaciones, junto con la reutilización de elementos de madera y vidrio en rehabilitaciones o fabricación de mobiliario urbano

3. Desafíos o barreras

Entre los desafíos se destaca, que es necesario realizar un inventario de materiales antes de la demolición para organizar su separación y reutilización También conlleva un mayor tiempo de ejecución que la demolición tradicional, lo que impacta en los plazos de la obra. Para la valorización in situ se necesitan trituradoras y equipos móviles, lo que supone una inversión inicial para las empresas del sector.

Producción de materiales ecológicos y economía circular

El sector de la construcción está evolucionando hacia un modelo más sostenible, donde los materiales ecológicos y reciclados juegan un papel clave en la reducción del impacto ambiental. La valorización de RCDs permite obtener nuevos productos con aplicaciones en la edificación, urbanismo e infraestructura vial, alineándose con la economía circular.

1. Ladrillos y paneles prefabricados

Los escombros triturados se pueden utilizar para fabricar ladrillos y paneles prefabricados, reduciendo la extracción de recursos naturales. Además, algunos ladrillos prefabricados con RCDs mejoran el aislamiento térmico y acústico, optimizando el consumo energético en los edificios. El uso de estos materiales facilita la obtención de sellos ambientales como LEED, BREEAM y WELL, cada vez más demandados en la edificación sostenibles.

2. Áridos reciclados para urbanismo y paisajismo

Se utilizan en la construcción de caminos peatonales, mobiliario urbano y pavimentos drenantes que mejoran la gestión de aguas pluviales. Los áridos reciclados se pueden reemplazar por grava natural en jardines o espacios verdes, promoviendo el modelo ecológico. Además, las administraciones publicas están empezando a exigir el uso de materiales reciclados en proyectos de urbanismo y obra civil.

3. Desafíos y barreras

Algunos clientes siguen prefiriendo materiales vírgenes por desconocimiento de las propiedades de los reciclados. Otra barrera es que aunque los materiales ecológicos cumplen con estándares de calidad, su aplicación en algunos proyectos estructurales está limitada por regulaciones tradicionales. Además, el coste inicial de la innovación siempre

es elevado, ya que desarrollar y certificar nuevos materiales reciclados requiere inversión en investigación y desarrollo

Tecnología e innovación en la gestión de RCDs

El sector del reciclaje de RCDs está evolucionando gracias a la integración de tecnologías avanzadas que optimizan la separación, valorización y trazabilidad de los residuos. La automatización de procesos y la digitalización están mejorando la eficiencia operativa de las plantas de reciclaje y reduciendo el impacto ambiental de la gestión de RCDs.

1. Clasificación automatizada y sensores inteligentes

La implementación de sensores avanzados como los espectrómetros de infrarrojo cercanos (NIR), permite la clasificación de residuos más precisa, mejorando la calidad de los materiales reciclados. También se están desarrollando robots con visión artificial que identifican y separan materiales como hormigón, metales y plásticos, aumentando la eficiencia de las plantas de reciclaje y reduciendo la necesidad de intervención humana.

2. Blockchain y trazabilidad de residuos

La tecnología blockchain permite el registro inmutable de los residuos generados en cada obra, para así garantizar su trazabilidad desde su origen hasta su valoración final. De esta forma se puede evitar el desvío ilegal de residuos a vertederos no autorizados, asegurando la correcta valorización de RCDs y facilitando el cumplimiento normativo.

3. Aplicaciones de la industria 4.0 en reciclaje de RCDs

Las plantas de reciclaje inteligentes cuentan con sensores IoT (Internet of Things) para poder monitorizar a tiempo real la composición y calidad de los residuos, y así ajustar automáticamente los procesos de separación y trituración. Con el análisis de datos se mejoran las rutas de recogida de RCDs y prevén la demanda de materiales reciclados en función de la actividad del sector de la construcción.

4. Desarrollo de materiales innovadores a partir de RCDs

Para mejorar la durabilidad y resistencia del hormigón fabricado con áridos reciclados, se están desarrollando aditivos basados en nanopartículas. También, la combinación de materiales áridos provenientes de RCDs con plásticos reciclados permiten fabricar materiales de construcción con propiedades mecánicas y térmicas mejoradas.

Gestión de residuos de obras menores y reformas

Las obras menores y reformas domiciliarias son otro nicho de mercado, donde su gestión de los RCDs sigue siendo deficiente en muchas ciudades. A diferencia de las grandes obras, estos residuos suelen dispersarse y no contar con una clasificación adecuada, dificultando su reciclaje y valorización.

1. Problemática en la gestión de residuos de obras menores

En la mayoría de las reformas domésticas, los residuos se mezclan sin clasificación, reduciendo la posibilidad de valorización. Muchos residuos de estas pequeñas obras terminan abandonados en espacios públicos o gestionados por empresas no autorizadas, lo que tienen impactos ambientales negativos. Aunque existen puntos limpios, su número es insuficiente y no siempre están adaptados para recibir grandes volúmenes de RCDs provenientes de las obras.

2. Estrategias para mejorar la gestión de estos residuos

Se podría implementar contenedores inteligentes con sensores de llenado que permitan optimizar la recogida, evitando desbordamientos y reduciendo el abandono de residuos en la vía pública. Estos contenedores pueden integrarse con sistemas de gestión digital para notificar a los gestores de los residuos cuando es necesario vaciarlos, mejorando la logística de recogida.

Mediante aplicaciones móviles se podría conectar gestores de residuos autorizados con pequeñas empresas de construcción y reformas, facilitando la recogida y reduciendo los costes operativos. Estas plataformas también podrían incluir información sobre puntos de recogida cercanos y normativas locales.

Incrementar la cantidad de puntos limpios diseñados específicamente para residuos de construcción de pequeñas obras facilitaría la entrega de estos materiales por parte de particulares y empresas de reformas. En zonas rurales y pequeñas poblaciones se podrían establecer servicios de recogida itinerantes, que permitan a los ciudadanos depositar residuos en fechas programadas.

3. Desafíos y barreras para la correcta gestión

Muchos pequeños contratistas y propietarios desconocen las regulaciones sobre la gestión de RCDs y la ubicación de los puntos de recogida. A diferencia de las grandes constructoras, las reformas y pequeñas obras no cuentan con presupuestos específicos para la correcta gestión de los residuos. Además, se requiere de una mayor vigilancia por parte de los ayuntamientos para asegurar que los residuos se gestionen en instalaciones autorizadas y evitar el vertido ilegal.

5. Plan de negocio

5.1. Propuesta de valor de la empresa

La propuesta de valor de la empresa de reciclaje de RCDs se basará en la eficiencia operativa, el cumplimiento normativo y la sostenibilidad. En un contexto donde las regulaciones ambientales exigen un mayor reciclaje y valorización de residuos, la

empresa se posiciona como una alternativa innovadora y responsable, ofreciendo soluciones adaptadas a las necesidades del sector de construcción.

1. Valor diferencial en el sector

La empresa garantizará que su actividad se ajusta al Real Decreto 105/2008, que regula la producción y gestión de los RCDs, así como la Directiva 2008/98/CE de Residuos, que establece el objetivo de alcanzar un 70% de valorización de RCDS en la UE. Además, se anticipará a futuras regulaciones como la Directiva 2018/851, que promueve la demolición selectiva y el establecimiento de sistemas de clasificación de RCDs en obra.

La empresa implementará estándares de calidad y certificación en sus productos para mejorar la aceptación de los materiales reciclados en el mercado, asegurando que cumplan con las normativas aplicables para su uso en la construcción. También se promoverá la certificación de áridos reciclados bajo criterios de sostenibilidad, garantizando su uso en obra pública y privada.

2. Soluciones innovadoras en reciclaje de RCDs

Mediante diferentes tecnologías avanzadas se puede optimizar la clasificación y valorización de estos residuos, mejorando la recuperación de materiales y reduciendo la cantidad de desechos destinados a vertederos.

La visión hiperespectral es una técnica que captura y procesa información a lo largo de un amplio espectro de luz, lo que permite identificar materiales según sus características espectrales únicas. Esta tecnología es aplicable a la clasificación de RCD para distinguir entre diferentes tipos de materiales. Por ejemplo, el Proyecto ICEBERG ha demostrado la viabilidad de usar visión espectral para identificar y separar automáticamente los residuos de construcción, logrando clasificaciones precisas de materiales como agregados de hormigón y cerámicos.

Empresas como Tomra Sorting Recycling han desarrollado sistemas de clasificación que emplean sensores avanzados para detectar y separar materiales específicos dentro de los RCD. Estas tecnologías permiten maximizar la recuperación de recursos de alta calidad y reducir los costos asociados al procesamiento y eliminación de residuos. La mejora en la resolución de los sensores en la última década ha permitido avances cualitativos en la clasificación automatizada de estos materiales.

El uso de Building Information Modeling (BIM) facilita la gestión de información detallada sobre los materiales utilizados en una construcción, desde su diseño hasta su demolición. Integrar BIM con sistemas de análisis de datos permite planificar de manera más efectiva la recuperación y reutilización de materiales, optimizando los procesos de demolición y minimizando la generación de residuos. Esta integración ayuda a conseguir una demolición de precisión que se basa en el acceso a información precisa para todos los actores involucrados, mejorando la eficiencia en los procesos y recuperación de materiales.

3. Impacto ambiental y social positivo

Mediante prácticas eficientes de reciclaje, se reducirá significativamente la cantidad de RCDs que terminan en vertederos, disminuyendo la contaminación ambiental. Además, la reutilización de materiales reciclados disminuirá la necesidad de extraer nuevos recursos, reduciendo la huella de carbono en la industria y preservando el medioambiente.

Con el crecimiento de la empresa se impulsará la generación de empleos en el sector de reciclaje y la gestión sostenible de residuos, contribuyendo al desarrollo económico local. Para ello se ofrecerán programas de formación para empleados, enfocándose en técnicas avanzadas de reciclaje y gestión de residuos fortaleciendo, el capital humano y promoviendo prácticas laborales responsables.

5.2. Modelo de negocio y estructura organizativa

Modelo de negocio

El modelo de negocio de la empresa se centra en la gestión integral de RCDs, abarcando desde la recepción de residuos en obras de construcción y demolición hasta su procesamiento y comercialización como materiales reciclados, centrándose en los áridos. Este enfoque no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también genera valor económico a través de la economía circular. Los componentes clave del modelo de negocio son:

1. Recepción y clasificación de RCDs

La empresa establecerá instalaciones para la recepción de RCD, asegurando un control de calidad desde la entrada del material. Cuando se reciban los residuos, se separarán los materiales no aptos para el reciclaje como madera, metales o plástico, enfocándose en residuos de hormigón, ladrillos y cerámicas.

Se incentivará que los residuos lleguen clasificados desde la obra mediante programas de sensibilización con los clientes o rebajando la tarifa. Si no, se usarán sistemas de cribado y separación magnética para retirar impurezas como plásticos, metales y madera.

2. Procesamiento de áridos

La empresa contará con maquinaria especializada para reducir el tamaño de los residuos y clasificarlos según granulometrías específicas. Tras esto se aplicarán técnicas para remover contaminantes y asegurar la pureza del árido reciclado. Las fases de procesamiento incluirán:

- *Trituración primaria*: reducción del tamaño de los materiales mediante trituradoras de impacto o de mandíbula.
- *Cribado y clasificación*: separación de los áridos según su tamaño y características.

- *Eliminación de contaminantes*: extracción de partículas no deseadas (yesos, restos de cerámica o madera).
- *Lavado y refinado (si es necesario)*: mejora de la calidad del árido para ciertas aplicaciones.

Los tipos de árido se clasificarán en árido fino (0-4 mm) utilizado en morteros y rellenos, árido medio (4-20 mm) utilizado en hormigón no estructural y bases de carreteras y árido fino (>20 mm) utilizado en subbases de pavimentos y cimentaciones. El producto final se someterá a pruebas de calidad para garantizar el cumplimiento de normativas como la UNE-EN 12620 para áridos reciclados.

3. Control de calidad

Se harán verificaciones de propiedades físicas y mecánicas de los áridos reciclados para cumplir con normativas vigentes. Además, se obtendrán las acreditaciones que respalden la calidad y aptitud de los productos para su uso en construcción. Algunos ejemplos de pruebas serán los ensayos de resistencia y durabilidad donde se medirán las propiedades mecánicas para asegurar su uso en construcción o las pruebas de absorción de agua y densidad, para evaluar la porosidad del material reciclado.

4. Comercialización y distribución

Se hará un enfoque en los sectores que demanden áridos reciclados, como obras viales, urbanizaciones y proyectos de infraestructura. Los canales de venta se harán a través de acuerdos comerciales con empresas constructoras y de infraestructuras o mediante una red de intermediarios para ampliar el alcance de los productos reciclados. También se podría desarrollar un sistema online para ampliar el alcance de los productos reciclados.

La empresa gestionará la entrega de los áridos reciclados mediante su propia flota de camiones o acuerdos con transportistas externos. Se optimizarán rutas para reducir costes y minimizar el impacto ambiental del transporte.

5. Asesoramiento técnico

El soporte a clientes brindará información sobre las aplicaciones y beneficios de los áridos reciclados, fomentando su adopción en nuevos proyectos.

Estructura organizativa

La estructura organizativa está diseñada para optimizar la producción y comercialización de áridos reciclados, garantizando eficiencia operativa y calidad en el servicio

1. Dirección general

Definirá las estrategias empresariales, supervisará operaciones y asegurará el cumplimiento de objetivos. Constará de **1 director general**.

2. Departamento de operaciones

Supervisará el funcionamiento de las instalaciones de procesamiento, mantenimiento de equipos y cumplimiento de estándares de producción. También coordinar la recepción de RCD.

Para la gestión de la planta se contará con **1 jefe de planta y 3 operarios de planta** encargados de operar la maquinaria y realizar tareas de procesamiento de áridos.

3. Departamento de calidad y medio ambiente

Realizará pruebas y ensayos para garantizar que los productos cumplan con las especificaciones técnicas requeridas. Además, se encargará de implementar prácticas sostenibles y asegurar el cumplimiento de normativas ambientales. Para ello se contará con **1 técnico de calidad y 1 técnico ambiental**.

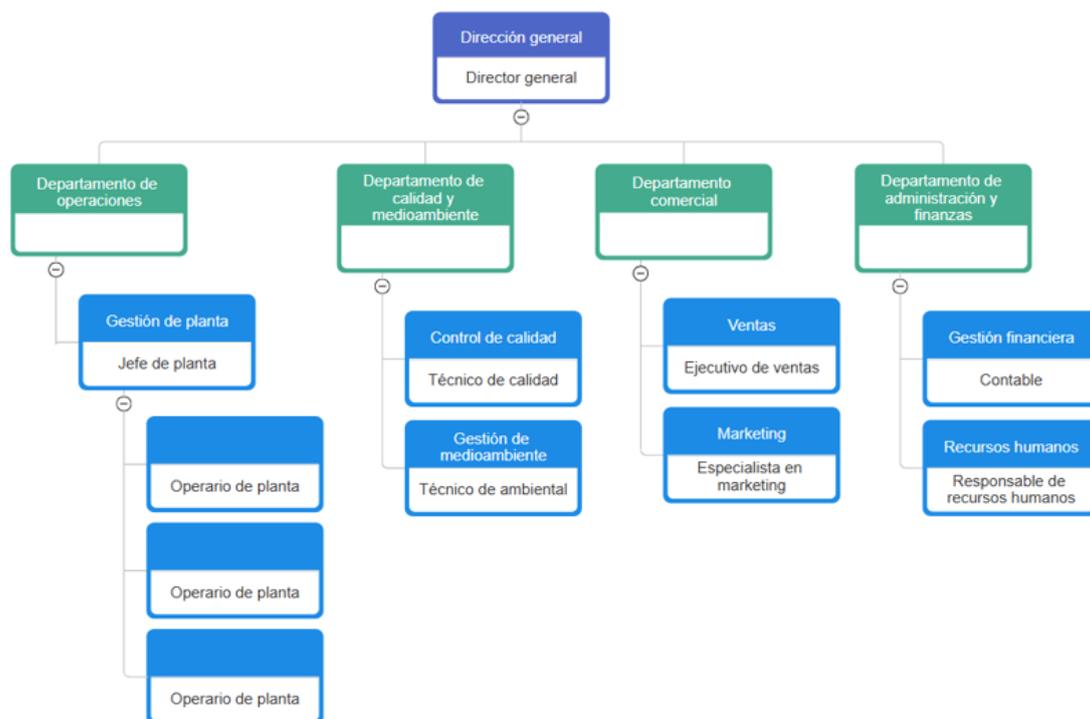
4. Departamento comercial

Desarrollará estrategias comerciales, gestionar relaciones con clientes y explorará nuevos mercados. También promoverá los productos y servicios de la empresa, destacando los beneficios de los áridos reciclados. Este departamento constará de **1 ejecutivo de ventas y 1 especialista en marketing**.

5. Departamento de administración y finanzas

Se encargará de controlar presupuestos, flujo de caja y análisis financiero, a la vez que gestiona contrataciones, formaciones y bienestar del personal. Estas labores las desempeñará **1 responsable de recursos humanos y 1 contable** que será el director general.

En resumen, la empresa contará con 13 empleados



5.3. Localización y descripción de las instalaciones

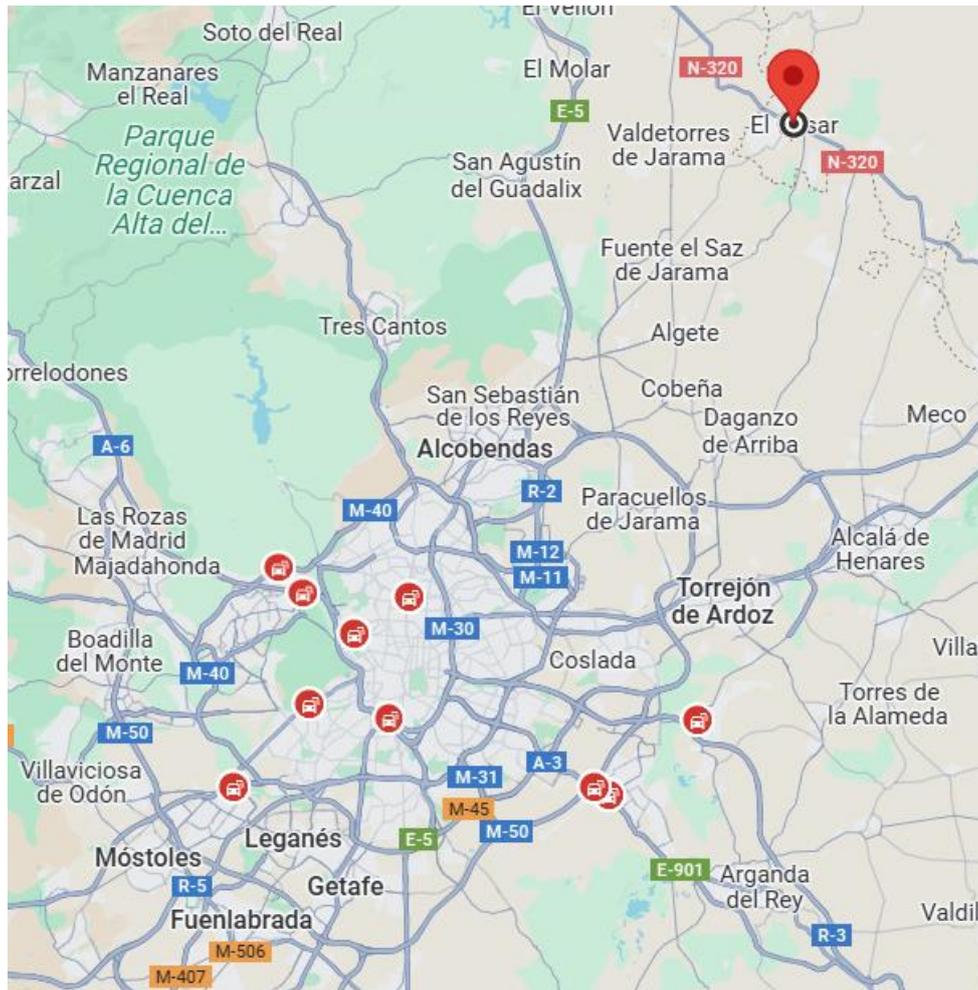
La elección de la ubicación y el diseño de las instalaciones son factores determinantes para el éxito de una planta de reciclaje de áridos. A continuación, se detallan la propuesta de localización y las características esenciales que deben reunir las instalaciones.

Localización propuesta

Se ha seleccionado El Casar, en la provincia de Guadalajara, como la ubicación ideal para la planta de reciclaje de áridos. Este municipio reúne una serie de características que lo convierten en una opción estratégica idónea para la implantación del negocio.

1. Proximidad a Madrid

Al estar a unos 60 km de Madrid permite atender a la demanda creciente de áridos reciclados en la capital y su área metropolitana, donde la construcción sostenible es su prioridad. Además, al estar ubicada en el Corredor de Henares, una zona muy dinámica en términos industriales y logísticos contará con un alto volumen de obras que generen residuos de construcción y demolición. A su vez, tiene fácil acceso a infraestructuras clave como la A-2 y la R-2, facilitando el transporte de residuos y productos reciclados.



2. Disponibilidad de suelo industrial a coste competitivo

En comparación al suelo industrial en Madrid, los terrenos del Casar son más competitivos, permitiendo una inversión inicial as eficiente. En El Casar existen áreas industriales con espacios adecuados para la implantación de la planta, como los polígonos de Cabanillas del Campo y Azuqueca de Henares.

3. Creciente demanda de áridos reciclados en la región

Como ya se ha comentado en otras secciones, la Comunidad de Madrid está promoviendo el uso de áridos reciclados en proyectos de infraestructura, urbanización y rehabilitación. La legislación exige que un porcentaje creciente de los materiales utilizados en la construcción provenga de fuentes recicladas.

4. Regulaciones medioambientales y permisos

El Casar cuenta con normativas municipales y autonómicas favorables para la instalación de plantas de gestión de residuos. Existen programas de incentivos para empresas que promuevan la economía circular, como la convocatoria de subvenciones para proyectos

que promuevan la sostenibilidad y circularidad en procesos industriales y empresariales. Facilitando la obtención de permisos y financiación.

5. Reducción de costes logísticos

El transporte de RCDs representa una parte significativa de los costes operativos en el sector de reciclaje. Al ubicarse en un punto intermedio entre los generadores de RCDs y los clientes finales, la empresa reducirá los costes asociados al traslado de materiales. Al estar cerca de las principales constructoras y empresas de infraestructura en Madrid y Guadalajara, se minimiza los tiempos de entrega y recogida y se aumenta el mercado disponible.

Descripción de las instalaciones

Las instalaciones deben estar diseñadas para optimizar el flujo de materiales, cumplir las normativas ambientales y garantizar la seguridad. A continuación, se detallan las áreas y características principales.

1. Área de recepción de residuos

En esta sección habrá primeramente una plataforma de descarga que consistirá en una zona amplia y pavimentada donde los camiones depositaran los RCD. Deberá tener suficiente espacio para maniobras y estacionamiento temporal. También deberá contar con un sistema de pesaje como una báscula industrial para registrar el peso de los residuos entrantes, esencial para el control de inventario y facturación

2. Zona de preclasificación

Aquí habrá un área donde los operarios retiraran manualmente materiales no aptos para el reciclaje como plásticos, metales o madera. Esto a posteriori se podrá automatizar con los métodos descritos en el punto 4.1. Tras esto habrá unos contenedores específicos para depositar los materiales separados, que posteriormente serán gestionados según la normativa vigente.

3. Línea de procesamiento de áridos

La línea de procesamiento estará formada por un equipo de trituración que reduce el tamaño de los RCD hasta obtener la granulometría deseada, un sistema de cribado que tendrá maquinaria para clasificar los materiales triturados en diferentes tamaños, según las especificaciones del producto final, y dispositivos que eliminan partículas metálicas y otros contaminantes, asegurando la pureza del árido reciclado.

4. Área de almacenamiento de productos finales

Esta sección contará con una zona de acopio para almacenar los diferentes tipos de áridos reciclados, protegidos de la intemperie para mantener su calidad y silos y tolvas, estructuras para almacenar materiales finos facilitando su carga y distribución

5. Laboratorio de control de calidad

Contará con un equipamiento de ensayo, instrumental para realizar pruebas de granulometría, resistencia y otras propiedades físicas de los aridos, garantizando el cumplimiento de las normativas aplicables. También contará con un área de análisis químico, donde se evaluará la composición química de los materiales, asegurando la ausencia de contaminantes perjudiciales.

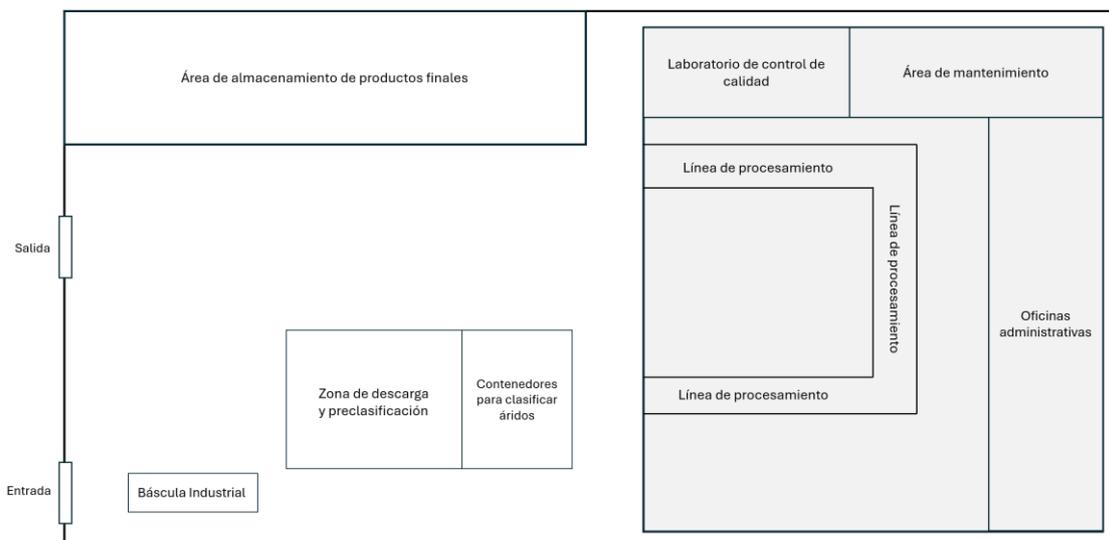
6. Oficinas administrativas

Aquí estarán las oficinas para el personal administrativo, con áreas de reuniones y formación; y las zonas de descanso, vestuarios y comedores, para proporcionar un ambiente laboral adecuado.

7. Área de mantenimiento

Las instalaciones deberán contar con espacio equipado para el mantenimiento preventivo y correctivo de la maquinaria y vehículos de la planta. También habrá un depósito organizado de piezas y componentes necesarios para asegurar la continuidad operativa.

Como consideraciones adicionales es necesario obtener las autorizaciones pertinentes de las autoridades locales y regionales, asegurando el cumplimiento de la legislación y urbanística. La planta debe contar con accesos adecuados para vehículos pesados, facilitando la logística de entrada y salida de materiales.



5.4. Procesos operativos: flujo de gestión de residuos y valorización

La planta de reciclaje de arios propuesta en el Casar se dedicará al tratamiento de RCDs para producir áridos reciclados de alta calidad. A continuación, se detalla el proceso operativo desde la recepción de los residuos hasta la obtención del producto final.

1. Fuentes de residuos y transporte

Los RCDs provendrán de obras de demolición (mayores volúmenes de hormigón, ladrillos y cerámicos), excavaciones (tierras y piedras con potencial de reutilización) y reformas y pequeñas obras (residuos heterogéneos con menor nivel de pureza). Estos residuos llegarán a la planta a través de camiones propios de la empresa (recogida directa), empresas de gestión de residuos externas o por transportistas contratados por clientes (constructoras o municipios).

2. Proceso de recepción y control

Habrà un registro de bascula industrial donde los camiones sean pesados antes y después de la descarga. Tras esto un operario revisará el contenido para detectar residuos no admisibles (yesos, plásticos, materiales peligrosos). Luego se asignará el material a una zona de acopio según su potencial de reciclaje y se registrará la procedencia, tipo de residuo y peso total en el sistema de control.

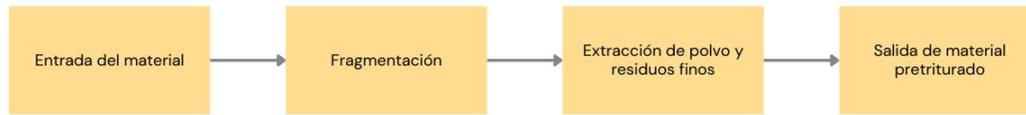
3. Métodos de separación

Una vez descargados, los residuos pasan a la fase de preclasificación donde se eliminan materiales no aptos para el reciclaje. Esta etapa es crucial para que el producto final no este contaminado. Estos métodos consistirán en:

- Separación manual: los operarios retiran elementos no procesables (plásticos, madera, metales grandes)
- Separación magnética: un sistema de imanes extrae los restos metálicos pequeños.
- Cribado mecánico: se eliminan partículas finas (<5 mm) que podrían afectar la calidad del árido reciclado.

4. Trituración primaria

El material preclasificado pasa por un triturador de mandíbulas que reduce su tamaño a 80-150 mm. Esta fase facilita el siguiente procesamiento y ayuda a liberar impurezas atrapadas. El proceso técnico se muestra a continuación:



5. Trituración secundaria

Se usa un molino de impacto para reducir aún más el tamaño del material. Se eliminan partículas no deseadas mediante cribas vibratorias y así obtener una granulometría óptima para su reutilización en construcción.

6. Lavado y eliminación de contaminantes

Dependiendo de los estándares requeridos, se puede someter a los áridos a lavado con agua a presión para eliminar polvo y residuos adheridos, flotación en agua para separar partículas ligeras indeseables y secado y cribado final para eliminar la humedad antes de almacenarlo

7. Ensayo de calidad

Los áridos reciclado se someterán a pruebas de:

- *Resistencia mecánica*: para determinar su idoneidad en hormigón o carreteras.
- *Granulometría*: se analiza la distribución de tamaños de partículas.
- *Absorción de agua*: importante para aplicaciones en hormigón estructural.
- *Presencia de impurezas*: se descartan lotes con alto contenido de yeso o material orgánico.

Los lotes aprobados recibirán un certificado de calidad antes de su comercialización

8. Acopio de áridos reciclados

Una vez que los productos han pasado los exámenes de calidad, se almacenan en zonas de acopio separadas según su granulometría y tipo:

- *Árido fino (0-4 mm)*: Para morteros y mezclas bituminosas.
- *Árido medio (4-20 mm)*: Uso en hormigón no estructural y carreteras.
- *Árido grueso (>20 mm)*: Aplicación en rellenos y cimentaciones.

El almacenamiento se realizará en tolvas cubiertas y silos, evitando que el polvo o la humedad contaminen los áridos.

9. Expedición y venta

Los clientes podrán recoger los áridos en la planta o recibirlos a través del servicio de transporte propio de la venta. Cada pedido será documentado con un certificado de conformidad, factura y guía de transporte y ficha técnica del árido reciclado.

10. Gestión de rechazos y residuos no valorizables

Durante el proceso, se generan residuos que no pueden ser reutilizados en esta planta, como plásticos mezclados con cemento, yeso y otros materiales solubles y fragmentos de madera contaminada. Estos residuos se almacenarán en contenedores específicos y se gestionarán a través de empresas especializadas en su eliminación, para minimizar el volumen de desechos enviados a vertederos, alineándose con las regulaciones ambientales.

5.5. Equipamiento necesario: características técnicas y costos

Para establecer una planta de reciclaje de áridos eficiente y rentable, es fundamental seleccionar el equipamiento adecuado que garantice un producto óptimo. A continuación, se detallan las máquinas esenciales, sus características técnicas y costos estimados.

Bascula industrial para pesar camiones

Este aparato medirá con precisión el peso de los residuos que entran y los productos reciclados que salen de la planta, para asegurar un control eficiente de inventarios y cumplimiento de normativa. Las características técnicas serán:

- Capacidad de carga: 60 toneladas.
- Dimensiones de la plataforma: 3 x 18 metros.
- Material de construcción: acero estructural con tratamiento anticorrosivo para resistir condiciones ambientales adversas.
- Célula de carga: fabricadas en acero inoxidable, con protección IP68, garantizando precisión y durabilidad en entornos industriales exigentes
- Indicador de peso: pantalla digital de alta visibilidad.
- Costo estimado: **26.650€**

Tolva de recepción y alimentador primario

Su función será recibir y dosificar los residuos de construcción y demolición que ingresen en la planta, asegurando un flujo constante hacia las etapas posteriores del proceso. Las características técnicas serán:

- Capacidad de la tolva: 40.000 kg
- Tipo de alimentador: vibrante con precibado para eliminar materiales finos y evitar obstrucciones en la trituradora.
- Material de construcción: Acero reforzado para soportar el desgaste por abrasión
- Costo estimado: **5.500€**

Triturador de mandíbulas

Su función es reducir el tamaño de los RCD a dimensiones manejables para su posterior procesamiento. Las características técnicas serán:

- Capacidad de procesamiento: Hasta 100 toneladas por hora
- Tamaño de entrada máximo: 800 x 500 mm.
- Ajuste de apertura de salidad: 50 x 150 mm
- Potencia del motor: 75 kW
- Costo estimado: **85.000€**

Separador magnético

Su función es extraer materiales metálicos ferrosos de los RCD después de la trituración primaria, garantizando la pureza del árido reciclado. Las características técnicas:

- Tipo: Overband electromagnético
- Ancho de banda: 800 mm
- Potencia: 5 kW
- Costo estimado: **15.000€**

Criba vibrante

Su función es clasificar el material triturado en diferentes tamaños según las necesidades del mercado. Las características técnicas son:

- Superficie de cribado: 6 m²
- Numero de niveles: 2-3 decks para distintas granulometrías
- Frecuencia de vibraciones: 1000 rpm
- Coste estimado: **40.000€**

Triturador de impacto secundario

Realizar una trituración secundaria para obtener áridos con la granulometría y forma deseada. Las características técnicas son:

- Capacidad de procesamiento: 80 toneladas por hora
- Tamaño de entrada: 400 mm
- Potencia del motor: 90 kW

- Coste estimado: **95.000€**

Sistema de lavado de áridos

Su función es eliminar impurezas y partículas finas del árido reciclado, mejorando su calidad. Las características técnicas son:

- Capacidad de lavado: 50 toneladas por hora
- Consumo de agua: 15 m³/h, con sistema de recirculación
- Costo estimado: **60.000€**

Sistema de control y automatización

Su función es supervisar y controlar el funcionamiento de toda la planta, garantizando eficiencia y seguridad. Las características técnicas son:

- Interfaz: pantalla táctil HMI
- Software: SCADA para monitoreo en tiempo real
- Sensores: de vibración, temperatura y nivel.
- Costo estimado: **30.000€**

Infraestructura complementaria

- Cintas transportadoras: para trasladar los materiales entre equipos.
- Tolvas de almacenamiento: para acopio temporal de áridos clasificados.
- Sistema de gestión de residuos: para el manejo adecuado de desechos no reciclables.
- Palas cargadoras: para transportar residuos y áridos de un lugar a otro.
- Costo estimado: **100.000€**

5.6. Plan de marketing y estrategia de comunicación

Estrategia de marketing

1. Marketing digital

Esto consistirá en desarrollar un sitio web que detalle los servicios que se ofrecen, beneficios del reciclaje y casos de éxito. También se mejorará la visibilidad en motores de búsqueda para atraer a clientes potenciales interesados en servicios de reciclaje. Además, se utilizarán plataformas como LinkedIn y Facebook para compartir contenido relevante, noticias y promover prácticas sostenibles.

2. Marketing de contenidos

Se publicarán artículos sobre la importancia del reciclaje de RCD, beneficios ambientales y económicos, y tendencias en la industria en blogs educativos. También se tomarán fotos y videos para explicar procesos y mostrar el impacto positivo de nuestras operaciones en el medioambiente.

3. Relaciones públicas y alianzas

Para ello será necesario establecer acuerdos con empresas constructoras, asociaciones ambientales y entidades gubernamentales para promover el uso de áridos reciclados. También asistirá a ferias, seminarios y conferencias relacionadas con la construcción y el medioambiente para aumentar la visibilidad y establecer contactos clave.

4. Publicidad y promociones

Se diseñarán anuncios en medios especializados que resalten nuestros servicios y compromiso con la sostenibilidad y se implementarán descuentos o condiciones favorables para clientes que contraten servicios durante periodos específicos o en proyectos de gran envergadura.

Estrategia de comunicación

1. Mensajes clave

Transmitir nuestro compromiso con la reducción de residuos y la conservación de recursos naturales además de destacar la excelencia de nuestros productos y servicio, así como nuestra capacidad para cumplir con los plazos y expectativas de los clientes.

2. Canales de comunicación

A través de medios digitales como correo electrónico, sitio web y redes sociales para mantener una comunicación constante y efectiva con nuestros públicos. También se pueden utilizar medios tradicionales como publicaciones en revistas especializadas, boletines y participación en programas de televisión de radio para llegar a audiencias más amplias.

3. Evaluación y ajustes

Se utilizarán herramientas analíticas para medir el impacto de las estrategias y campañas. También se recogerán opiniones y sugerencias para mejorar continuamente nuestros servicios y comunicación y a partir de ellos se realizarán cambios en las tácticas y enfoques según los resultados obtenidos y las tendencias del mercado.

6. Análisis financiero

6.1. Estimación de costes iniciales: Inversión en infraestructura y equipamiento

El establecimiento de la planta de reciclaje de áridos requiere una inversión inicial significativa para la adquisición de equipamiento la adecuación del terreno y otros costos relacionados con la puesta en marcha del proyecto. A continuación, se detallan los principales elementos de infraestructura y sus respectivos costes.

1. Inversión en equipamiento

El equipamiento es esencial para garantizar la eficiencia operativa y la calidad del producto final. Los costos de cada maquina han sido previamente definidos y se resumen en la siguiente tabla.

1. Inversión en equipamiento	
Bascula industrial	26.650,00 €
Tolva de recepción y alimentador primario	5.500,00 €
Triturador de mandíbulas	85.000,00 €
Separador magnético	15.000,00 €
Criba vibrante	40.000,00 €
Triturador de impacto secundario	95.000,00 €
Sistema de lavado de áridos	60.000,00 €
Sistema de control y automatización	30.000,00 €
Infraestructura complementaria	100.000,00 €
TOTAL	457.150,00 €

2. Inversión en infraestructura

Además del equipamiento, hay que invertir en la adecuación del terreno, construcción de naves industriales y otras infraestructuras necesarias para el correcto funcionamiento de la planta. El principal coste de este concepto es la compra del terreno donde se establecerá

la planta. Se ha buscado un local de unos 10.000 m² y se encontró uno en la localización designada por **172.400€**.

2. Infraestructura	
Compra de terreno (12280 m2)	172.400,00 €
Movimiento de tierras y adecuación del terreno	50.000,00 €
Construcción de la nave industrial (2000 m2)	250.000,00 €
Oficinas administrativas	50.000,00 €
Instalaciones eléctricas y agua	40.000,00 €
Sistema de tratamiento de aguas	35.000,00 €
Seguridad y señalización	20.000,00 €
TOTAL	617.400,00 €

3. Costes de puesta en marcha y otros costos iniciales

Además de la inversión en equipamiento e infraestructura, existen otros costes que deben considerarse antes de iniciar operaciones.

3. Coste de puesta en marcha y otros gastos iniciales	
Permisos, licencias y estudios ambientales	30.000,00 €
Seguros de responsabilidad civil y de maquinaria	15.000,00 €
Gastos notariales y constitución de la empresa	10.000,00 €
Capital de trabajo inicial (materias primas, mantenimiento, imprevistos)	50.000,00 €
Publicidad y marketing inicial	20.000,00 €
TOTAL	125.000,00 €

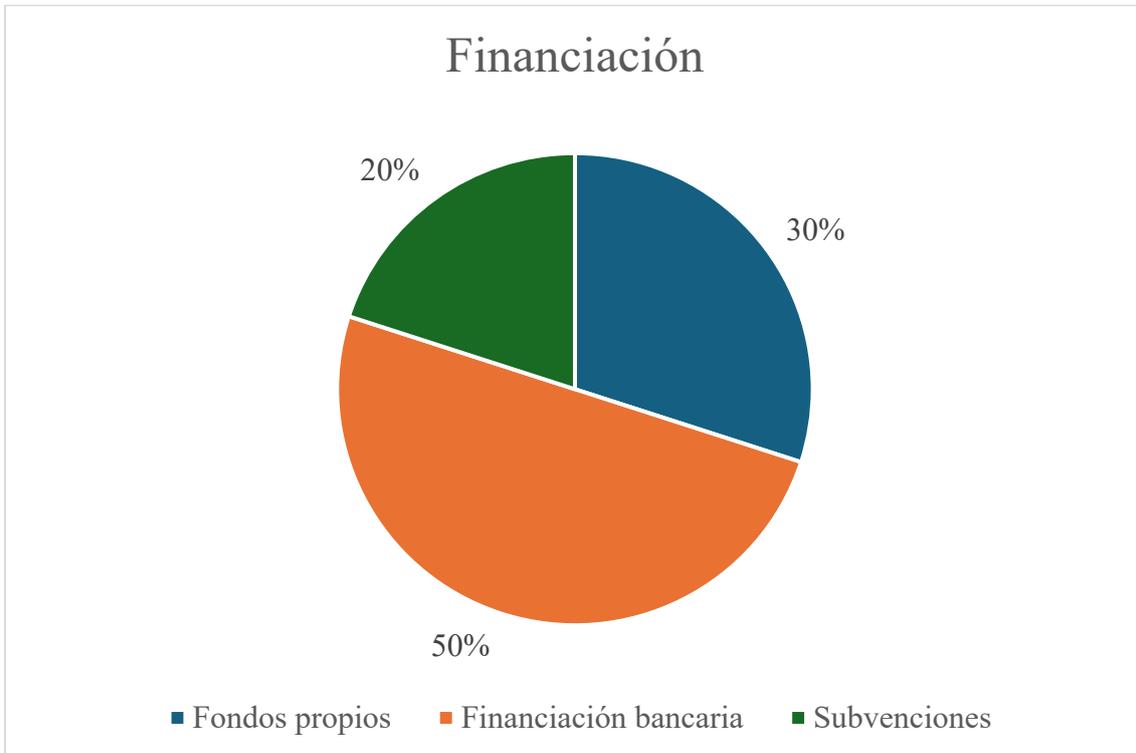
Considerando estos gastos, el proyecto requiere una inversión inicial de aproximadamente **1,2 millones** de euros.

6.2. Financiación de la inversión inicial

La viabilidad de un plan de negocio no solo depende de su rentabilidad económica, sino también de la capacidad de acceder a los recursos financieros necesarios en condiciones sostenibles. En este caso, la inversión inicial para la puesta en marcha de la planta de

reciclaje de RCDs asciende a 1,2 millones de euros, tal y como se ha detallado en los apartados anteriores.

Para hacer frente a esta inversión, se contempla una estructura de financiación mixta, combinando fondos propios, préstamos bancarios y subvenciones públicas vinculadas a la economía circular y la transición económica.



1. Aportación de fondos propios (30%)

El 30% de la inversión inicial (360.000 €), provendrán de aportaciones de los promotores del proyecto o de inversores privados. Esta cantidad permite mejorar la solvencia del proyecto y facilitar el acceso a financiación externa, ya que representa una señal de compromiso y reduce el nivel de apalancamiento.

2. Financiación bancaria (50%)

El mayor volumen de inversión (600.000 €) se financiará mediante un préstamo a medio-largo plazo, con un plazo estimado de 8 años y condiciones de interés competitivo. Se prevé una carencia de capital de uno o dos años, en los que solo se pagarán intereses, lo que facilita la fase inicial de puesta en marcha y consolidación operativa del proyecto.

El tipo de interés fijo será del 4% anual. En los 2 primeros años se aplicará carencia de amortización, abonando únicamente los intereses, lo que supone un coste financiero de 24.000 €/año. A partir del tercer año se realizarán amortizaciones constantes de capital (100.00 €/año), sumando los intereses decrecientes correspondientes a cada periodo.

La tabla de amortización quedará de la siguiente manera, y se utilizarán para calcular los flujos de caja:

Año	Amortización	Intereses	Cuota anual	Restante
1	0 €	24.000 €	24.000 €	600.000 €
2	0 €	24.000 €	24.000 €	600.000 €
3	100.000 €	24.000 €	124.000 €	500.000 €
4	100.000 €	20.000 €	120.000 €	400.000 €
5	100.000 €	16.000 €	116.000 €	300.000 €
6	100.000 €	12.000 €	112.000 €	200.000 €
7	100.000 €	8.000 €	108.000 €	100.000 €
8	100.000 €	4.000 €	104.000 €	0 €

3. Subvenciones públicas y ayudas a la inversión (20%)

Debido a la naturaleza de la empresa, se considera que se podrá acceder a diversas líneas de ayuda pública promovidas a nivel autonómico, estatal o europeo, entre ellas:

- Fondos Next Generation EU en el marco de Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.
- Subvenciones del IDAE(Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) y del MITERD (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).

La cuantía esperada en forma de ayudas a fondo perdido se sitúa en torno al 20% de la inversión inicial (240.000 €), aunque se contempla un margen de flexibilidad dependiendo de la convocatoria y alcance del proyecto.

6.3. Proyección de ingresos: tarifas por servicios y valorización de residuos

Las plantas de reciclaje de RCDs cobran tarifas a los clientes (constructoras, empresas de demolición, etc.) por la recepción y tratamiento de los residuos. Estas tarifas varían según la composición y cantidad de los RCDs entregados.

El precio de gestionar estos residuos depende del tipo de material y la capacidad de la planta. Nos basaremos en los datos del sector, en específico los precios de la planta RCD de Buitrago de Lozoya.

1. Capacidad de la planta

La capacidad de procesamiento de la planta está determinada por el horario de operación y la maquinaria elegida. Según las maquinas que hemos elegido el cuello de botella se haya en el sistema de lavado de áridos, con una capacidad de 50 toneladas por hora, así que eso se asumirá.

La planta operará del lunes a viernes, con una jornada de 8 horas al día. Esto se traduce en:

- Días laborales al año: 5 días/semana x 52 semanas/año = 260 días/año
- Horas operativas al año: 260 días/año x 8 horas/día = 2.080 horas/año
- Capacidad anual: 50 toneladas/hora x 2.080 horas/año = 103.000 toneladas/año

Las plantas de gestión de RCDs de la Comunidad tienen capacidades entre 15.000 y 945.000 toneladas anuales, por lo que la capacidad elegida es adecuada.

Es muy difícil que un negocio trabaje al 100% de su capacidad, por ello, en aras de ser conservadores utilizaremos una capacidad de procesamiento del 80%, por lo que realmente se procesaran **82.400 toneladas/año**.

2. Tarifas por la Gestión de RCDs

Las plantas de reciclaje de RCDs cobran una tarifa a los clientes (constructoras, empresas de demolición, etc.) por la recepción y tratamiento de residuos. Estas tarifas dependen de la composición y cantidad de los RCDs entregados. Basándonos en los datos de Buitrago de Lozoya se han establecido las siguientes tarifas.

Tipo de residuo	Tarifa (€/tn)
RCD mezclado sin separación	25
Hormigón limpio	8
Tierra y escombros limpios	10
Ladrillos tejas y cerámicos	10
Tarifa media	13,05

La tarifa media se ha obtenido ponderando los tipos de residuos según su porcentaje de la Comunidad de Madrid, ya sacados en el punto 4.2. De esta forma, y teniendo en cuenta el 80% de capacidad obtenemos unos ingresos de **1.075.320 €**.

3. Venta de áridos reciclados

Después del tratamiento, una parte de los residuos se convierten en áridos reciclados que pueden ser vendidos para diferentes usos en la construcción.

El rendimiento típico de recuperación de material árido reciclado en plantas eficientes está entre el 70-80% del total de residuos procesados. Para el análisis se tomará una eficiencia del 75%. Esto quiere decir que de los áridos que se procesan, la cantidad que sale reciclada será de **61.800 toneladas**.

El precio del árido dependerá de la granulometría y certificaciones de calidad. Para el mercado actual de Madrid, los precios de los áridos que se obtendrán en la planta son los siguientes:

Tipo de árido reciclado	Precio (€/t)
Árido grueso	6
Árido medio	10
Árido fino	15
Precio medio	10,33

El precio medio se ha obtenido haciendo una media aritmética, ya que no hay datos con los que cuantificar el porcentaje de cada tipo de árido. De esta forma se obtienen unos ingresos anuales por la venta de áridos de **638.600 €**.

4. Escenario normal

Este escenario utilizará todos los parámetros establecidos hasta el momento. Por lo que, sumando las 2 fuentes de ingresos, el total estimado anual de la planta será: **1.713.920 €**.

5. Escenario optimista

Para este escenario se considerará lo siguiente:

- Mayor capacidad de procesamiento: **90%**
- Mayor rendimiento de recuperación de áridos reciclados: **80%**
- Mayor tarifa media por recepción de RCDs: **15 €/t**
- Mejor comercialización del árido reciclado: **14 €/t**

Haciendo los cálculos con estos nuevos parámetros se obtienen unos ingresos anuales de **2.428.720 €**.

6. Escenario pesimista

Para este escenario se considerará lo siguiente:

- Menor capacidad de procesamiento: **70%**
- Menor rendimiento de recuperación de áridos reciclados: **70%**
- Tarifa de recepción de RCDs se ve reducida: **11 €/t**
- Precio más bajo del árido reciclado por menor demanda: **8 €/t**

Haciendo los cálculos con estos nuevos parámetros se obtienen unos ingresos anuales de **1.196.860 €/t**.

6.4. Costes operativos y mantenimiento

A continuación, se detallan los principales gastos derivados de la actividad diaria de la planta, como los costes de personal, consumo energético, mantenimiento, gestión de residuos no valorizables y gastos en general.

a. Coste personal

La plantilla está compuesta por 10 trabajadores, distribuidos en distintas áreas clave de la empresa. Se debe tener en cuenta que la cotización media a cargo de la empresa es del 30% del salario bruto. A continuación, se detallan los puestos y costes anuales estimados.

Puesto	Nº personas	Salario bruto anual	Coste anual (incluyendo SS)
Director general	1	45.000,00 €	58.500,00 €
Jefe de planta	1	38.000,00 €	49.400,00 €
Operarios de planta	3	25.000,00 €	97.500,00 €
Técnico de calidad	1	32.000,00 €	41.600,00 €
Técnico ambiental	1	32.000,00 €	41.600,00 €
Ejecutivo de ventas	1	30.000,00 €	39.000,00 €
Especialista en marketing	1	28.000,00 €	36.400,00 €
Responsable RRHH	1	30.000,00 €	39.000,00 €
Total anual estimado	10		403.000,00 €

b. Costes energéticos

El consumo de la energía corresponde al funcionamiento de la maquinaria de trituración, cribado, separación y lavado, así como las instalaciones auxiliares. Se estima un consumo anual de 350.000 kWh, con un coste medio de 0,15 €/kWh, lo que representa un gasto de **52.500 €/año**.

	Consumo	Precio (€/kWh)	Total
Coste energético	350.000	0,15	52.500,00 €

c. Gestión de residuos no valorizables

La parte de de los RCDs recibidos que no sean valorizables y deberán ser trasladados a vertederos autorizados. El volumen dependerá de en que escenario nos encontremos, pero el coste medio será de 15 €/t.

Gestión de residuos no valorizables	Cantidad	Precio (€/t)	Total
Escenario Normal	20600	15	309.000,00 €
Escenario Optimista	18540		278.100,00 €
Escenario Pesimista	21630		324.450,00 €

d. Mantenimiento de maquinaria e instalaciones

El mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos es fundamental para asegurar la continuidad operativa. Se estima un coste anual equivalente al **3%** del valor de la maquinaria, valorada en unos 457.150 €, lo que supone un coste anual de **13.714,50 €**.

e. Seguros, licencias y gastos generales

Incluyen seguros (de responsabilidad civil, instalaciones y equipos), licencias administrativas, tasas y otros gastos generales (agua, internet, telefonía, limpieza...)

Concepto	Total
Seguros	10.000,00 €
Licencias y tasas	8.000,00 €
Servicios generales	7.000,00 €
Total	25.000,00 €

6.5. Presupuesto de tesorería: flujo de caja proyectado

Con el objetivo de analizar la viabilidad financiera del proyecto a medio y largo plazo, se ha elaborado un presupuesto de tesorería que contempla la evolución del flujo de caja durante los primeros 8 años de actividad. Este análisis se ha desarrollado bajo los 3 escenarios (normal, optimista y pesimista).

1. Escenario normal

Se asume una capacidad de tratamiento inicial del 50%, con un crecimiento progresivo del 6% anual hasta alcanzar el 80% en el quinto año. Esta progresión permite reflejar una curva realista de maduración del negocio, considerando el tiempo necesario para la consolidación operativa, el posicionamiento en el mercado y la fidelización de clientes.

Los ingresos se desglosan en dos líneas principales:

- Gestión de residuos de construcción y demolición (RCDs): ingreso por tonelada recibida (13,05 €/t).
- Venta de áridos reciclados: ingreso por tonelada valorizada (10,33 €/t), estimando una tasa de valorización del 75%.

Por el lado de los costes, se incluyen:

- Costes fijos: salarios (con Seguridad Social), energía, mantenimiento, seguros y licencias que ascienden a 494.214,50 € anuales. A esto habrá que sumarle la amortización del préstamo bancario.
- Costes variables: eliminación de residuos no valorizables (25% del total tratado), a razón de 15 €/t.

Además, se incorpora la amortización lineal de la inversión inicial, estimada en 1.200.000 €, durante un periodo de 8 años (150.000 €/año).

A continuación, se presenta la evolución del flujo de caja para el escenario normal:

Capacidad		50%	56%	62%	68%	74%	80%	80%	80%
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Toneladas tratadas		51500	57680	63860	70040	76220	82400	82400	82400
Ingresos RCD (€)		672.075,00 €	752.724,00 €	833.373,00 €	914.022,00 €	994.671,00 €	1.075.320,00 €	1.075.320,00 €	1.075.320,00 €
Ingresos áridos (€)		399.125,00 €	447.020,00 €	494.915,00 €	542.810,00 €	590.705,00 €	638.600,00 €	638.600,00 €	638.600,00 €
Ingresos totales (€)		1.071.200,00 €	1.199.744,00 €	1.328.288,00 €	1.456.832,00 €	1.585.376,00 €	1.713.920,00 €	1.713.920,00 €	1.713.920,00 €
Costes variables (€)		193.125,00 €	216.300,00 €	239.475,00 €	262.650,00 €	285.825,00 €	309.000,00 €	309.000,00 €	309.000,00 €
Costes fijos (€)		518.214,50 €	518.214,50 €	618.214,50 €	614.214,50 €	610.214,50 €	606.214,50 €	602.214,50 €	598.214,50 €
EBITDA		359.860,50 €	465.229,50 €	470.598,50 €	579.967,50 €	689.336,50 €	798.705,50 €	802.705,50 €	806.705,50 €
Amortización		150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €
Resultado		209.860,50 €	315.229,50 €	320.598,50 €	429.967,50 €	539.336,50 €	648.705,50 €	652.705,50 €	656.705,50 €
Flujo de caja (€)	-1.200.000,00 €	359.860,50 €	465.229,50 €	470.598,50 €	579.967,50 €	689.336,50 €	798.705,50 €	802.705,50 €	806.705,50 €
Flujo acumulado (€)	-1.200.000,00 €	-840.139,50 €	-374.910,00 €	95.688,50 €	675.656,00 €	1.364.992,50 €	2.163.698,00 €	2.966.403,50 €	3.773.109,00 €

Durante el primer año, la planta operaría al 50% de su capacidad, generando unos ingresos totales de **1.071.200 €** y un EBITDA de **359.860,50 €**, lo que, tras considerar la inversión

inicial, representa un flujo de caja negativo de **-840.139,50 €**. Sin embargo, a partir del segundo año, el crecimiento progresivo en la capacidad de tratamiento permite mejorar notablemente los resultados operativos.

En el tercer año, con una capacidad del 62%, se alcanzan unos ingresos superiores a **1,3 millones de euros** y un EBITDA de aproximadamente 470.000 €, lo que permite que el flujo de caja acumulado se vuelva positivo por primera vez, alcanzando los 95.688,50 €. A partir de ahí, el proyecto entra en una fase de rentabilidad creciente, alcanzando un flujo acumulado de más de 3,7 millones de euros al final del octavo año.

Este análisis demuestra que, bajo condiciones normales de operación, el proyecto es financieramente viable en un horizonte de **8 años**, con un margen de mejora importante si se optimizan las operaciones, se amplía el volumen de residuos tratados o se incrementa la demanda de áridos reciclados.

2. Escenario optimista

En el escenario optimista se contempla una evolución más favorable del proyecto, basada en una rápida penetración en el mercado, mayor eficiencia operativa y una buena respuesta por parte de los agentes implicados. La capacidad de tratamiento parte del 50% en el primer año y experimenta un crecimiento anual del 8%, alcanzando el 90% a partir del quinto año y manteniéndose estable en ese nivel.

Al igual que en el escenario normal, los ingresos se dividen en dos grandes líneas: la gestión de residuos de construcción y demolición (15 €/t) y la valorización de residuos como áridos reciclados (14 €/t), con un rendimiento de valorización del 80%. La evolución del flujo de caja incorpora la inversión inicial (1.200.000 €), una amortización lineal a 8 años (150.000 €/año), y una estimación más ajustada de costes fijos (**494.214,50 € anuales**) sumándole la amortización del préstamo, excluyendo los costes variables de vertido, que se calculan proporcionalmente al rechazo generado (20% de los residuos no valorizados a 15 €/t).

Capacidad		50%	58%	66%	74%	82%	90%	90%	90%
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Toneladas tratadas		51500	59740	67980	76220	84460	92700	92700	92700
Ingresos RCD (€)		772.500,00 €	896.100,00 €	1.019.700,00 €	1.143.300,00 €	1.266.900,00 €	1.390.500,00 €	1.390.500,00 €	1.390.500,00 €
Ingresos áridos (€)		576.800,00 €	669.088,00 €	761.376,00 €	853.664,00 €	945.952,00 €	1.038.240,00 €	1.038.240,00 €	1.038.240,00 €
Ingresos totales (€)		1.349.300,00 €	1.565.188,00 €	1.781.076,00 €	1.996.964,00 €	2.212.852,00 €	2.428.740,00 €	2.428.740,00 €	2.428.740,00 €
Costes variables (€)		154.500,00 €	179.220,00 €	203.940,00 €	228.660,00 €	253.380,00 €	278.100,00 €	278.100,00 €	278.100,00 €
Costes fijos (€)		518.214,50 €	518.214,50 €	618.214,50 €	614.214,50 €	610.214,50 €	606.214,50 €	602.214,50 €	598.214,50 €
EBITDA		676.585,50 €	867.753,50 €	958.921,50 €	1.154.089,50 €	1.349.257,50 €	1.544.425,50 €	1.548.425,50 €	1.552.425,50 €
Amortización		150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €
Resultado		526.585,50 €	717.753,50 €	808.921,50 €	1.004.089,50 €	1.199.257,50 €	1.394.425,50 €	1.398.425,50 €	1.402.425,50 €
Flujo de caja (€)	-1.200.000,00 €	676.585,50 €	867.753,50 €	958.921,50 €	1.154.089,50 €	1.349.257,50 €	1.544.425,50 €	1.548.425,50 €	1.552.425,50 €
Flujo acumulado (€)	-1.200.000,00 €	-523.414,50 €	344.339,00 €	1.303.260,50 €	2.457.350,00 €	3.806.607,50 €	5.351.033,00 €	6.899.458,50 €	8.451.884,00 €

Durante el primer año, con una capacidad operativa del 50%, el proyecto genera unos ingresos totales de 1.349.300 € y un EBITDA de 675.585,50 €. Aunque el flujo de caja del primer año es positivo (676.585,50 €), el flujo acumulado sigue siendo negativo

debido a la inversión inicial de -1.200.000 €, cerrando el año con un acumulado de -523.414,50 €.

En el segundo año, con un aumento de capacidad al 58%, se alcanzan ingresos de 1.565.188,00 € y un EBITDA de 867.753,50 €, lo que permite revertir completamente el flujo acumulado, situándolo en 344.339,00 €. A partir de aquí, el proyecto ya ha recuperado la inversión inicial y comienza a generar beneficios netos acumulados.

Durante el tercer año, al operar al 66% de capacidad, el flujo de caja asciende a 958.921,50 €, y el acumulado supera ya el millón de euros (1.303.260,50 €), lo que indica un crecimiento financiero estable y saludable. Esta tendencia continúa en los años siguientes: para el quinto año, con una capacidad del 82%, el flujo acumulado ya supera los 3,8 millones de euros.

En los años 6 a 8, operando al 90% de capacidad, el EBITDA se mantiene por encima de 1,5 millones de euros anuales y el flujo de caja alcanza los 1,5 millones por año. Esto lleva el flujo acumulado a un total de **8.451.884,00 €** al finalizar el octavo año.

Este escenario demuestra el alto potencial económico del proyecto en un entorno donde se cumplen las expectativas de mercado y eficiencia planteadas, especialmente si se garantiza una adecuada política comercial, una buena gestión operativa y una demanda estable de áridos reciclados.

3. Escenario pesimista

El escenario pesimista contempla una evolución más lenta de la actividad, motivada por una mayor dificultad para captar residuos, una comercialización más gradual de los áridos reciclados o una consolidación operativa más prolongada. En este caso, la planta comienza también al 50% de su capacidad, pero el crecimiento anual es del 4%, alcanzando un máximo del 70% en el quinto año, y manteniéndose en ese nivel en adelante.

El modelo de ingresos se mantiene igual que en los escenarios anteriores, con una tarifa media de **11 €/t** para la gestión de RCDs y un precio de **8 €/t** para la venta de áridos reciclados, asumiendo un rendimiento del 70%. La inversión inicial se amortiza linealmente a razón de **150.000 €/año**, y se han corregido los **costes fijos anuales** hasta **494.214,50 €** más los costes de amortización, excluyendo los costes de gestión de residuos no valorizables, que se calculan como costes variables año a año.

Capacidad		50%	54%	58%	62%	66%	70%	70%	70%
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Toneladas tratadas		51500	55620	59740	63860	67980	72100	72100	72100
Ingresos RCD (€)		566.500,00 €	611.820,00 €	657.140,00 €	702.460,00 €	747.780,00 €	793.100,00 €	793.100,00 €	793.100,00 €
Ingresos áridos (€)		288.400,00 €	311.472,00 €	334.544,00 €	357.616,00 €	380.688,00 €	403.760,00 €	403.760,00 €	403.760,00 €
Ingresos totales (€)		854.900,00 €	923.292,00 €	991.684,00 €	1.060.076,00 €	1.128.468,00 €	1.196.860,00 €	1.196.860,00 €	1.196.860,00 €
Costes variables (€)		231.750,00 €	166.860,00 €	179.220,00 €	191.580,00 €	203.940,00 €	216.300,00 €	216.300,00 €	216.300,00 €
Costes fijos (€)		518.214,50 €	518.214,50 €	618.214,50 €	614.214,50 €	610.214,50 €	606.214,50 €	602.214,50 €	598.214,50 €
EBITDA		104.935,50 €	238.217,50 €	194.249,50 €	254.281,50 €	314.313,50 €	374.345,50 €	378.345,50 €	382.345,50 €
Amortización		150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €	150.000,00 €
Resultado		-45.064,50 €	88.217,50 €	44.249,50 €	104.281,50 €	164.313,50 €	224.345,50 €	228.345,50 €	232.345,50 €
Flujo de caja (€)	-1.200.000,00 €	104.935,50 €	238.217,50 €	194.249,50 €	254.281,50 €	314.313,50 €	374.345,50 €	378.345,50 €	382.345,50 €
Flujo acumulado (€)	-1.200.000,00 €	-1.095.064,50 €	-856.847,00 €	-662.597,50 €	-408.316,00 €	-94.002,50 €	280.343,00 €	658.688,50 €	1.041.034,00 €

Durante el **primer año**, operando al 50% de capacidad, la planta genera ingresos totales de 854.900,00 €, pero con un EBITDA de solo 104.935,50 €, el flujo de caja sigue siendo insuficiente para compensar la inversión inicial. El flujo acumulado se mantiene negativo en **-1.095.064,50 €**.

En los **años 2 a 5**, a pesar del aumento progresivo de capacidad (hasta el 66%), los flujos de caja anuales oscilan entre 194.249,50 € y 314.313,50 €, sin lograr revertir completamente el déficit. Para el **quinto año**, el flujo acumulado todavía es negativo en **-94.002,50 €**.

Es recién en el **sexto año**, cuando la planta alcanza un 70% de su capacidad, que el flujo de caja acumulado se vuelve positivo, situándose en **280.343,00 €**. A partir de ahí, el flujo se mantiene positivo año tras año.

Al finalizar el **octavo año**, el flujo de caja acumulado alcanza **1.041.034,00 €**. Si bien esto representa una recuperación completa de la inversión inicial y un beneficio neto, la rentabilidad es **modesta en comparación con los escenarios base u optimista**.

Este análisis pone de manifiesto que el proyecto conserva su viabilidad económica incluso en condiciones conservadoras, demostrando su resiliencia frente a riesgos de mercado o posibles retrasos operativos, siempre que se mantenga el control sobre los costes y una estrategia comercial activa.

6.6. Punto de equilibrio y rentabilidad esperada

1. Punto de equilibrio

El punto de equilibrio económico representa el volumen mínimo de actividad necesario para cubrir los costes operativos totales sin incurrir en pérdidas. Su cálculo se hizo considerando el mayor coste fijo total anual ya estimado en 618.214,50 € (excluyendo los costes variables como el tratamiento de residuos no valorizables) y un margen de contribución medio por tonelada tratada, que resulta de la diferencia entre el ingreso medio por tonelada y los costes variables correspondientes al porcentaje de rechazo. También se saca el porcentaje de capacidad asociado al punto de equilibrio teniendo en cuenta que el 100% son 103.000 toneladas al año. En la tabla se muestra el punto de equilibrio para cada escenario.

Escenario	Normal	Optimista	Pesimista
Capacidad al 100%	103.000	103.000	103.000
Costes fijos	618.214,50 €	618.214,50 €	618.214,50 €
Ingreso medio (€/t)	20,80 €	26,20 €	16,60 €
Coste variable por tonelada	3,75 €	3,00 €	4,50 €
Margen de contribución	17,05 €	23,20 €	12,10 €
Punto de equilibrio (t/año)	36.258,91	26.647,18	51.092,11
Capacidad para el equilibrio	35,20%	25,87%	49,60%

2. Rentabilidad esperada

El análisis de flujo de caja por escenarios ha permitido estimar los plazos de recuperación de la inversión y el potencial de rentabilidad del proyecto:

Escenario	Año de recuperación	Flujo acumulado año 8 (€)
Normal	Año 3	3.773.109 €
Optimista	Año 2	8.541.884 €
Pesimista	Año 6	1.041.034 €

Estos resultados indican que el proyecto es rentable en todos los escenarios planteados, y su capacidad de generación de valor es especialmente sólida a partir del quinto año, cuando alcanza niveles operativos superiores al 70%.

El retorno de la inversión se sitúa entre los 2 y los 6 años, y los resultados obtenidos consolidan la viabilidad financiera del modelo de negocio, incluso bajo supuestos conservadores. Además, el margen operativo permite afrontar imprevistos, reinversiones o ampliaciones futuras, en línea con los principios de sostenibilidad económica y eficiencia industrial.

6.7. Análisis de ratios financieros

Para completar el análisis financiero del proyecto y evaluar su rentabilidad desde una perspectiva económica integral, se han calculado tres de los principales indicadores financieros: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Retorno sobre Inversión (ROI). Estos indicadores permiten cuantificar la viabilidad y atractivo del proyecto a lo largo de su ciclo de vida económico.

1. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN representa el valor presente de todos los flujos de caja futuros generados por el proyecto, descontados a una tasa que refleja el coste de oportunidad del capital. En este caso, se ha utilizado una tasa de descuento del 8%, habitual en proyectos de inversión de riesgo medio-alto. Esta tasa se ha estimado con:

- Un tipo libre de riesgo aproximado del 2-3% (bonos del Estado a largo plazo)
- Una prima de riesgo del 5-6%, propia de proyectos vinculados al sector de medioambiente, residuos y economía circular, donde existen factores de incertidumbre tecnológicos, normativos y de demanda.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - \text{Inversión inicial}$$

Donde:

- FCt: flujo de caja neto en el año t
- r: tasa de descuento (8%)
- n: número de años proyectados (8)

El VAN obtenido es de **2.208.612,78 €** lo que indica que el proyecto genera un valor añadido superior a dos millones y medio de euros en términos actuales, lo que supone una alta rentabilidad financiera.

2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, es decir, la rentabilidad efectiva del proyecto. Se calcula resolviendo la ecuación:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + \text{TIR})^t}$$

Con esta fórmula se consigue un TIR de **39,39%**, muy por encima de la tasa de descuento del 8%, demostrando que el proyecto ofrece una rentabilidad muy superior a otras alternativas de inversión similares, consolidándose como una oportunidad financieramente sólida.

3. Retorno sobre la Inversión (ROI)

El ROI permite estimar el rendimiento total del proyecto en relación con la inversión inicial, expresado como porcentaje con la siguiente fórmula:

$$\text{ROI} = \left(\frac{\text{Beneficio neto total}}{\text{Inversión inicial}} \right) \times 100$$

El resultado obtenido es **184%**, lo que significa que, a lo largo de los ocho años de vida útil analizados, el proyecto genera un beneficio acumulado neto que multiplica casi por dos la inversión inicial, lo que refuerza su atractivo y su vida a largo plazo.

En conclusión, los tres indicadores analizados arrojan resultados positivos y coherentes con los flujos de caja proyectados. El proyecto presenta una rentabilidad elevada, una rápida recuperación de la inversión y una capacidad clara de generación de valor. La

combinación de estos resultados demuestra que la planta de reciclaje propuesta no solo es técnica y ambientalmente viable, sino también una inversión financieramente rentable y sostenible.

6.8. Evaluación de riesgos financieros

Todos los proyectos de inversión conllevan incertidumbre. En el caso de una planta de reciclaje de RCDs, esta incertidumbre está asociada a factores como la evolución del mercado, la demanda de áridos reciclados, la normativa ambiental, o estabilidad de los precios y costes de operación.

A continuación, se identifican los principales riesgos financieros ligados a este proyecto, acompañados de su análisis y posibles medidas de mitigación:

1. Riesgo de volumen de entrada insuficiente

- **Descripción:** si la planta no alcanza un volumen mínimo de residuos tratados, no cubrirá sus costes fijos.
- **Impacto:** Elevado en los primeros años
- **Mitigación:**
 - ◇ Estrategia comercial proactiva desde el inicio.
 - ◇ Acuerdos con constructoras, cooperativas, mancomunidades o ayuntamientos.
 - ◇ Servicios adicionales complementarios (recepción de residuos inertes n RCD)

2. Riesgo de baja valorización

- **Descripción:** parte de los RCD no pueden ser valorizados y deben enviarse a vertedero, generando un coste adicional.
- **Impacto:** Moderado pero constante
- **Mitigación:**
 - ◇ Mejora de proceso de separación y clasificación.
 - ◇ Formación continua de personal.
 - ◇ Colaboración con gestores externos para valorización de materiales más complejos (yesos, plásticos, etc).

3. Riesgo de fluctuación de precios

- **Descripción:** cambios en las tarifas de vertido, energía o salarios pueden afectar la rentabilidad.
- **Impacto:** Moderado
- **Mitigación:**
 - ◇ Control de costes energéticos (eficiencia, autoconsumo futuro).
 - ◇ Revisión de tarifas periódica con base en costes actualizados.

- ◇ Contratación de servicios esenciales bajo acuerdos estables.

4. Riesgo normativo

- **Descripción:** cambios legislativos pueden afectar la actividad (cambios en criterios de “fin de la condición de residuo”).
- **Impacto:** Baja a medio plazo (actual normativa favorece el reciclaje)
- **Mitigación:**
 - ◇ Seguimiento activo de cambios normativos.
 - ◇ Participación en asociaciones del sector (FER, EuRIC...).
 - ◇ Alineación del modelo con los objetivos de economía circular de la UE y España.

5. Riesgo de aceptación del producto reciclado

- **Descripción:** rechazo por parte del sector de la construcción a usar áridos reciclados.
- **Impacto:** Medio
- **Mitigación:**
 - ◇ Certificación CE, control de calidad y trazabilidad
 - ◇ Campañas de concienciación sobre sostenibilidad.
 - ◇ Enfoque en obras públicas, donde se fomenta el uso de reciclados.

Pese a la presencia de riesgos inherentes, el proyecto presenta una estructura financiera sólida, márgenes operativos positivos y escenarios de rentabilidad viables incluso en condiciones conservadoras. La diversificación de los ingresos, el fuerte respaldo normativo a la economía circular y la progresiva madurez del mercado de áridos reciclados refuerzan su resiliencia financiera. La aplicación de medidas de mitigación adecuadas permitirá reducir al mínimo la exposición a dichos riesgos y asegurar la estabilidad económica a largo plazo.

		Impacto				
		Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
Probabilidad	Muy alto					
	Alto					1
	Moderado			3 y 5	2	
	Bajo		4			
	Muy bajo					

7. Estudio de valorización de residuos

7.1. Métodos de valorización disponibles

La valorización de los RCD forma el eje central de la economía circular aplicada al sector de la construcción. Este proceso permite no solo recuperar materiales que pueden integrarse en el proceso productivo, sino también reducir la cantidad de residuos destinados a vertedero, reduciendo impactos ambientales y optimizando el uso de recursos naturales.

Existen diversos métodos de valoración aplicables a los RCD, que pueden clasificarse según el tipo de tratamiento aplicado y el destino final de los materiales obtenidos. A continuación, se describen los principales.

1. Valorización material (reciclaje)

Es el método por excelencia, basado en la recuperación de materiales mediante tratamientos mecánicos, físicos y fisicoquímicos. Consiste en el tratamiento de residuos inertes como hormigón, ladrillo, cerámica o asfalto, con el objetivo de producir áridos reciclados.

Etapas del proceso:

- Recepción y preclasificación de residuos
- Separación de impropios (plásticos, maderas, metales, cartón, yesos)
- Trituración primaria y secundaria
- Cribado y clasificación granulométrica
- Eliminación de finos y polvo
- Producción de fracciones reutilizables (zahorras, árido 0/20, 20/40, etc.)

Destino habitual: rellenos, capas de firme, subbases en obra civil, prefabricados, hormigón no estructural.

2. Valorización energética (casos específicos)

Se aplica a fracciones inertes o no reciclables mecánicamente (maderas contaminadas, plásticos no reciclables o residuos con valor calorífico).

En este caso, los residuos se emplean como combustible alternativo en plantas industriales (cementeras, térmicas), sustituyendo a los combustibles fósiles.

Limitaciones:

- Menor jerarquía en la normativa europea (última opción antes del vertido).
- Necesidad de instalaciones específicas autorizadas.

- Emisión de CO₂ si no está adecuadamente gestionado.

3. Reutilización directa (valorización in situ)

Implica el aprovechamiento de elementos de construcción sin necesidad de transformación significativa, manteniendo su forma o función original, como, por ejemplo:

- Baldosas, bloques de hormigón, tejas o piezas de piedra natural reutilizadas en nuevas obras.
- Carpintería, sanitarios o componentes metálicos si están en buen estado.

Este método, aunque menos frecuente a escala industrial, representa una valorización de alto valor añadido y evita totalmente la necesidad de reprocesamiento.

4. Reciclaje de componentes específicos

Ciertas fracciones requieren líneas de tratamiento independientes por su composición:

- Metales: se separan mediante imanes o corrientes de Foucault y se reintroducen en fundiciones.
- Maderas limpias: se pueden triturar y utilizar en tableros aglomerados o como biomasa.
- Plástico y vidrio: reciclables si están bien separados y no contaminados.
- Yesos: reciclables bajo condiciones específicas, aunque actualmente presentan dificultades técnicas y de mercado.

5. Otras valorizaciones emergentes

Con el avance tecnológico y los objetivos de economía circular, surgen nuevas opciones de valorización:

- Valorización mediante impresión 3D de residuos inertes procesados (mobiliario urbano).
- Recuperación de materiales finos (arenas recicladas) para uso en fabricación de cementos y prefabricados.
- Uso de residuos como componentes en asfaltos reciclados, geopolímeros o cementos bajos en carbono.

El método que se utilizará en la planta será la valorización normal, centrada en la obtención de áridos reciclados de alta calidad. No obstante, se considerará también la reutilización directa cuando sea viable, y se mantendrán convenios para el aprovechamiento de fracciones específicas (metales, plásticos, madera) con gestores especializados.

Esta estrategia cumple con la jerarquía de residuos establecida por la normativa europea y se alinea con los objetivos de sostenibilidad, reducción de vertido y eficiencia de recursos que promueve la Estrategia de Economía Circular.

7.2. Materiales reciclables y su reutilización en la industria

Los RCDs están compuestos por una amplia variedad de materiales, muchos de los cuales pueden ser reciclados y reutilizados en aplicaciones industriales, especialmente en la obra civil y en la fabricación de productos para la construcción.

Identificar correctamente estos materiales y establecer sus usos potenciales es clave para aumentar los niveles de valorización, reducir la dependencia de materias primas vírgenes y avanzar hacia un modelo de economía circular.

A continuación, se describen los principales tipos de materiales reciclables presentes en los RCD y sus posibles aplicaciones industriales:

1. Hormigón

Es uno de los materiales más abundantes en los RCD. Una vez triturado y clasificado, el árido reciclado de hormigón puede ser utilizado como:

- Zahorra artificial para capas de subbase o firme en carreteras
- Rellenos y terraplenos
- Sustituto parcial del árido natural en hormigones no estructurales

La referencia técnica utilizada es UNE-EN 12620 para áridos reciclados.

2. Cerámicos (ladrillos, tejas, baldosas)

Estos materiales, una vez triturados, se utilizan principalmente como áridos reciclados cerámicos:

- Rellenos de zanjas
- Base granular para pavimentos
- Suelo estabilizado en obras públicas
- Mejora de suelos agrícolas (mezclado con orgánicos en algunos casos)

Se recomienda separar cerámicos de hormigón para mejorar la calidad del producto reciclado.

3. Asfalto y aglomerado bituminoso

Este tipo de residuo se puede reincorporar en nuevas mezclas asfálticas mediante técnicas de reciclado en frío o caliente. También se emplea como:

- Base para firmes reciclados
- Aglomerado fresado en caminos rurales o vías de bajo tránsito

La normativa UNE-EN 13108 regula la incorporación de fresado de asfalto en capas bituminosas recicladas.

4. Metales (férricos y no férricos)

Separador mediante imágenes o corrientes de Foucault, tienen una valorización alta gracias a su recuperación en fundiciones y siderurgias.

- Acero, hierro y aluminio se funden para obtener productos nuevos.
- Cobre, zinc y otros materiales no férricos tienen mercados específicos muy rentables.

Este flujo habitualmente ves derivado a gestores externos especializados.

5. Madera

- Madera limpia: triturada para la fabricación de tableros aglomerados o como biomasa en instalaciones térmicas.
- Madera contaminada (barnizada, tratada): puede ser valorizada energéticamente bajo condiciones controladas.

Debe almacenarse separadamente para evitar contaminación cruzada.

6. Vidrio

Si se recoge de forma selectiva y está libre de impurezas, puede reciclarse para fabricar:

- Nuevas botellas y envases
- Aislamiento térmico (lana de vidrio reciclada)
- Rellenos decorativos o pavimentos exteriores

Su reciclaje requiere separación por color y eliminación de impurezas cerámicas.

7. Plásticos

Aunque son poco frecuentes, aparecen en forma de tuberías, revestimientos, embalajes y restos de obra. Si se clasifican correctamente:

- Pueden reciclarse mecánicamente para uso industriales.
- En caso contrario, son derivados a valorización energética.

Requiere clasificación por tipo de polímero (PE, PP, PVC, etc).

8. Yeso (placa de cartos-yeso)

Reciclable bajo condiciones muy específicas (limpieza, separación de papel). Puede utilizarse:

- Como adición a nuevos productos de yeso
- Como corrector de suelos en agricultura (en otros países)

Actualmente, su reciclaje es limitado por barreras tecnológicas y normativas.

7.3. Innovaciones tecnológicas en el tratamiento de RCDs

El tratamiento de los RCDs ha evolucionado bastante en los últimos años gracias a la incorporación de tecnologías avanzadas que aumentan la calidad de los materiales recuperados, mejoran la eficiencia de los procesos y reducen los impactos ambientales asociados. Estas innovaciones permiten optimizar el rendimiento de valorización, diversificar los productos finales y facilitar la trazabilidad y el control de calidad.

Aquí se muestran los principales avances tecnológicos aplicables a una planta de reciclaje de RCD.

1. Sistemas de separación automática mediante inteligencia artificial (IA)

Utilizando visión artificial, aprendizaje automático y robots de selección se transforma la fase de separación de residuos, permitiendo:

- Identificar y clasificar materiales (plásticos, madera, metales, cerámicos) en tiempo real.
- Aumentar la velocidad de separación con respecto a los procesos manuales.
- Reducir errores humanos y mejorar la pureza de los flujos de salida.

Ejemplos de esta tecnología son los sistemas de ZenRobotics, donde utilizan múltiples sensores (cámaras RGB, infrarrojos, espectroscopía de materiales y detección 3D) para identificar fracciones específicas (metales, plásticos, cerámicos, maderas) y extraerlas con brazos robóticos multipunto. Además, su software aprende de los patrones de residuos locales y puede optimizar la recogida en tiempo real.

2. Trituradoras de alto rendimiento y baja emisión de polvo

Las trituradoras más nuevas combinan una mayor capacidad del procesamiento con sistemas de control de emisiones de polvo mediante:

- Cámaras de pulverización automatizadas
- Sistemas de aspiración y filtro de partículas

- Trituración por impacto o por compresión de bajo desgaste

De esta forma se puede operar en entornos urbanos con menor impacto ambiental

3. Cribas dinámicas y sistemas de clasificación granulométrica por aire o agua

- Cribas móviles y vibrantes permiten adaptarse a distintos tipos de residuos sin necesidad de parar la línea.
- Separadores balísticos o de corriente de aire clasifican materiales por densidad y forma (papel, plásticos, fragmentos cerámicos).
- Lavado por hidrociclones o tromeles con agua reciclada mejora la calidad de los áridos finos y elimina impurezas adheridas.

Estas soluciones elevan la calidad del producto final, facilitando su uso en aplicaciones más exigentes.

4. Plataformas digitales de gestión y trazabilidad

La digitalización mejora la transparencia y trazabilidad de los materiales, facilitando el cumplimiento normativo ya que permite registrar cada lote de residuos y su evolución a lo largo del proceso.

- Sistemas ERP específicos para plantas de RCD.
- Etiquetado digital y seguimiento por código QR
- Certificación digital del árido reciclado (CE, DoP, etc).

Gracias a esto se mejoran la confianza de cliente final y facilita la integración con obras públicas que exigen trazabilidad completa.

8. Impacto ambiental y social

8.1. Beneficios medioambientales del reciclaje de RCDs

El reciclaje de RCDs representa una de las estrategias más efectivas para mitigar el impacto ambiental del sector de la edificación y obra civil. Esta práctica no solo sirve para evitar el vertido de grandes volúmenes de materiales, sino que permite cerrar el ciclo de vida de los productos de construcción, reduciendo la presión sobre los recursos naturales y las emisiones de gases contaminantes.

Uno de los beneficios más evidentes del reciclaje de RCDs es la disminución del consumo de materias primas vírgenes. En lugar de extraer piedra caliza, grava o arena de canteras o riberas fluviales, se aprovechan materiales ya existentes, como hormigón, cerámica o asfalto, que, tras su adecuado tratamiento, pueden reincorporarse como áridos reciclados en nuevas obras. Esta sustitución directa contribuye a la conservación del entorno natural,

reduce significativamente los impactos paisajísticos y ecológicos asociados a la actividad extractiva y evita la degradación del suelo.

Otro beneficio fundamental es la reducción de residuos depositados en vertederos. El sector de la construcción es uno de los mayores generadores de residuos en la Unión Europea, y gran parte de ellos pueden ser valorizados si se gestionan correctamente. El reciclaje permite disminuir la saturación de los vertederos, ampliar su vida útil y reducir los costes y riesgos ambientales asociados a su gestión, como la emisión de lixiviados o la liberación de polvo y partículas en suspensión. Además, el cumplimiento de los objetivos fijados por la legislación europea y española en materia de prevención, reutilización y reciclaje se basa en gran medida en el aumento progresivo de la valorización de este tipo de residuos.

Desde el punto de vista energético y climático, el reciclaje de RCDs también supone una ventaja importante. Los procesos de trituración, cribado y clasificación de residuos son, en términos generales, menos intensivos en consumo energético que la producción de áridos naturales, y generan una huella de carbono menor por tonelada de material producido. Según la Guía GRC de la Agència de Residus de Catalunya (2011), el uso de áridos reciclados puede reducir entre un 50% y un 80% las emisiones de CO₂ respecto a los áridos naturales, debido principalmente a la menor energía requerida en su tratamiento y a una logística más eficiente.

Adicionalmente, el reciclaje de RCDs permite optimizar las operaciones logísticas asociadas al transporte de materiales. Al establecer plantas de tratamiento cercanas a los centros de generación de residuos o a las zonas de consumo de materiales, se minimizan los desplazamientos de camiones, lo que se traduce en un menor consumo de combustible, una reducción de emisiones contaminantes y una disminución del tráfico pesado en entornos urbanos. Esta mejora logística no solo beneficia al medio ambiente, sino también a la salud pública y la calidad de vida de los ciudadanos.

8.2. Contribución a la economía circular

La valorización de RCDs constituye una de las principales vías de aplicación práctica de los principios de la economía circular en el sector de la construcción. Este enfoque permite redefinir el ciclo de vida de los materiales, alargando su utilidad, reduciendo la necesidad de materias primas vírgenes y disminuyendo el volumen de residuos generados.

La economía circular, en contraposición al modelo lineal tradicional de “extraer–producir–usar–tirar”, se basa en cerrar los ciclos de materiales mediante estrategias de prevención, reutilización, reciclaje y recuperación. En este contexto, los RCDs constituyen una solución de alto potencial, ya que gran parte de sus componentes son reciclables y susceptibles de ser reincorporados a nuevos procesos productivos. Mediante el reciclaje de materiales como hormigón, cerámica, o asfalto, es posible obtener productos secundarios de calidad que sustituyen a los recursos naturales en diversas aplicaciones constructivas, como rellenos, firmes, subbases o prefabricados.

Además, el desarrollo de infraestructuras de tratamiento de RCDs, como la planta objeto de este trabajo, favorece la creación de un mercado estable de materiales reciclados. Esto contribuye a superar uno de los principales obstáculos a la circularidad: la falta de confianza por parte del sector en el uso de productos reciclados. A medida que estos materiales demuestren cumplir con los estándares de calidad y las normativas técnicas (como las normas UNE-EN sobre áridos reciclados), su aceptación aumentará, lo que estimula un cambio estructural en el modelo de consumo de materiales de obra.

La economía circular también impulsa la innovación en sistemas de construcción y demolición, promoviendo prácticas que facilitan la recuperación selectiva de materiales y su posterior tratamiento. El diseño para el desmontaje, la utilización de elementos modulares, la separación en origen y la gestión digital de residuos son ejemplos de estrategias circulares que se ven potenciadas por la existencia de plantas de valorización capaces de absorber y transformar estos materiales.

Por otro lado, la economía circular implica también beneficios en términos económicos y sociales. El aprovechamiento de materiales reciclados permite reducir costes en la adquisición de materias primas, mejora la eficiencia de los recursos y genera empleo local en actividades asociadas a la recogida, clasificación, tratamiento y comercialización de productos reciclados. Asimismo, el desarrollo de este modelo de negocio contribuye a reducir la dependencia exterior de ciertos recursos minerales y a mejorar la resiliencia económica frente a la volatilidad de los mercados de materias primas.

En el caso concreto del proyecto propuesto, la planta de valorización de RCDs contribuirá de forma directa a la implementación de la economía circular en la Comunidad de Madrid. Esto se traduce no solo en el cumplimiento de los objetivos establecidos por el Plan de Gestión de RCD 2017–2024 y la Estrategia Española de Economía Circular, sino también en la consolidación de un modelo de construcción más eficiente, sostenible y alineado con las directrices del Pacto Verde Europeo.

8.3. Impacto social: generación de empleo y sensibilización ciudadana

Además de lo ya expuesto, la valorización de los RCDs tiene un impacto social significativo que refuerza su valor como actividad estratégica dentro del modelo de desarrollo sostenible. La implantación de una planta de reciclaje de RCDs no solo implica la creación de empleo directo, sino también una dinamización del tejido productivo local y una oportunidad para fomentar la educación ambiental en la ciudadanía y los agentes del sector.

Uno de los efectos más relevantes es la generación de empleo directo e indirecto. La operación de una planta requiere personal cualificado en distintas áreas: operarios de maquinaria, técnicos en clasificación y tratamiento de residuos, responsables de calidad, personal de mantenimiento, administrativos y coordinadores de planta, entre otros. A esto se suma el empleo inducido en actividades complementarias como la comercialización de productos reciclados o el mantenimiento de equipos. En conjunto, se estima que este tipo de instalaciones generan entre 7 y 15 empleos directos estables, dependiendo del tamaño

de la planta y del volumen de residuos tratados, a los que deben añadirse empleos indirectos en el entorno.

Desde una perspectiva más amplia, la valorización de RCDs también actúa como catalizador del empleo verde, entendido como aquel que contribuye a preservar o restaurar el medio ambiente. Estos empleos están alineados con los objetivos de sostenibilidad establecidos por la Unión Europea y forman parte de una transición justa hacia modelos productivos menos intensivos en recursos y emisiones. En este sentido, el proyecto se integra en el marco del Plan Nacional de Empleo Verde y responde a las estrategias de reindustrialización y cohesión territorial.

Otro impacto social importante es la sensibilización ciudadana y sectorial en torno a la gestión de residuos. La visibilidad de proyectos de reciclaje de RCDs favorece la toma de conciencia sobre la necesidad de separar adecuadamente los residuos, reducir el despilfarro de materiales y apostar por soluciones sostenibles. La planta puede convertirse, además, en un espacio de referencia para la educación ambiental, mediante la organización de visitas, talleres, actividades con centros educativos o programas formativos para profesionales del sector de la construcción.

También debe destacarse el efecto ejemplarizante que este tipo de iniciativas tiene sobre promotores, contratistas y administraciones públicas. La existencia de infraestructuras de valorización eficientes y con estándares de calidad reconocidos incentiva la inclusión de materiales reciclados en proyectos de obra pública y privada, impulsando normativas que prioricen el uso de áridos reciclados y la contratación de soluciones sostenibles. De esta forma, el proyecto contribuye a modificar hábitos arraigados en la cadena de valor de la construcción y a consolidar un nuevo paradigma más consciente y responsable.

8.4. Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

El proyecto de creación de una planta de reciclaje de RCDs se enmarca claramente dentro de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015. Esta agenda establece un marco de 17 Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) con metas específicas que orientan la acción global hacia un modelo más sostenible, justo e inclusivo, tanto desde el punto ambiental como social y económico.

El proyecto contribuye de manera directa a varios de estos objetivos, sobre todo aquellos vinculados a la gestión sostenible de los recursos, la innovación industrial, la acción climática y el empleo verde:

ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

Este objetivo promueve la gestión sostenible de los residuos urbanos y la mejora del entorno urbano. La planta contribuirá a reducir el impacto ambiental de las ciudades mediante la valorización de residuos, la reducción de vertidos y la mejora de la gestión

de los flujos de materiales. También favorece una planificación urbano más circular y resiliente.

ODS 12: Producción y consumo responsables

El reciclaje de los RCDs promueve la gestión sostenible de los residuos urbanos a lo largo del ciclo de vida de los productos. El proyecto se alinea con este objetivo al implantar un sistema de recuperación de materiales que promueve la economía circular en la industria de la construcción.

ODS 13: Acción por el clima

Mediante el reciclaje de residuos se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al vertido de estos y a la extracción de materias primas vírgenes. Además, el uso de áridos reciclados disminuye la huella de carbono de las obras y mejora la sostenibilidad de las infraestructuras, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico

El desarrollo y puesta en marcha de la planta generará empleo estable y de calidad en el ámbito de la economía circular. Se crean oportunidades para operarios, técnicos medioambientales y gestores administrativos, impulsando el crecimiento local y la transición hacia empleos verdes y sostenibles.

ODS 9: Industria, innovación e infraestructura

El proyecto incorpora soluciones tecnológicas avanzadas para el tratamiento de residuo, fomenta la innovación en procesos industriales y mejora la infraestructura de gestión de residuos en la Comunidad de Madrid, aportando valor al tejido productivo local.

ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres

Al reducir la extracción de recursos naturales mediante la sustitución por áridos reciclados, se protege el suelo, la biodiversidad y los ecosistemas afectados por la minería. Esta contribución indirecta resulta esencial para el equilibrio ecológico y la preservación del medioambiente a largo plazo.

9. Recomendaciones y conclusiones

9.1. Resultados del análisis

Este trabajo ha permitido analizar la viabilidad económica, técnica, social y ambiental de un proyecto de instalación de una planta de reciclaje de RCDs en la Comunidad de Madrid, de manera exhaustiva. A través de una metodología estructurada en capítulos temáticos y basada en fuentes normativas, datos reales y proyecciones económico-

financieras, se han obtenido una serie de resultados que permiten validar la sostenibilidad de la iniciativa.

Desde el punto de vista **económico**, el análisis de ingresos, costes, inversión inicial y rentabilidad demuestra que el proyecto es viable bajo distintos escenarios de explotación. El cálculo del VAN (**2.208.612,78 €**), la TIR (**39,39 %**) y el ROI (**184 %**) en el escenario normal revela una rentabilidad atractiva para los inversores. Además, se ha demostrado la solvencia del proyecto mediante el análisis del flujo de caja a ocho años, partiendo de una capacidad inicial del 50 % y alcanzando una madurez operativa del 80 %, con resultados positivos desde el tercer año de actividad.

En cuanto a los **costes operativos y de mantenimiento**, se ha detallado un modelo equilibrado y ajustado a la realidad del sector, excluyendo servicios externos como el transporte, lo cual permite reducir costes fijos. La separación de los costes por tipo de residuos y su integración en los escenarios pesimista, normal y optimista ha reforzado la robustez del análisis financiero.

A nivel **técnico y operativo**, se ha definido un proceso de tratamiento eficiente, compuesto por fases de recepción, clasificación, trituración, cribado y almacenamiento de materiales valorizables, apoyado por maquinaria adecuada a la escala de la planta. Los materiales reciclados obtenidos, principalmente áridos, son aptos para su reutilización en aplicaciones constructivas como subbases, firmes o rellenos estructurales, conforme a las normativas UNE-EN vigentes.

En lo relativo al **impacto ambiental**, el proyecto contribuye directamente a la reducción del uso de materias primas vírgenes, a la disminución de emisiones de CO₂, al alargamiento de la vida útil de los vertederos y a la mejora logística mediante la gestión local de los residuos. También se debe destacar el papel del reciclaje de RCDs en la mitigación del cambio climático, cuantificándose reducciones de hasta un 80% en emisiones respecto a los procesos de extracción de áridos naturales.

Desde una perspectiva **social**, se ha demostrado que la planta fomentará el desarrollo de competencias en economía circular, generará empleo directo e indirecto y contribuirá a la sensibilización del sector y de la ciudadanía. Además, se ha establecido una clara alineación del proyecto con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), entre ellos el ODS 8 (trabajo decente), el ODS 11 (ciudades sostenibles), ODS 12 (producción responsable) y ODS 13 (acción por el clima), consolidando el valor estratégico y transversal de la iniciativa.

En definitiva, el análisis global realizado a lo largo de este trabajo pone de manifiesto que el proyecto no solo es **económicamente rentable**, sino que también es **ambientalmente necesario** y **socialmente beneficioso**, lo que lo convierte en una **alternativa integralmente viable** en el contexto actual de transición ecológica y modernización del sector de la construcción.

9.2. Limitaciones del estudio

Si bien el presente trabajo busca mostrar un análisis detallado de la viabilidad de abrir una planta de reciclaje de RCDs, es necesario reconocer que hay una serie de condiciones que limitan el alcance y la aplicabilidad de los resultados obtenidos.

En primer lugar, **las estimaciones económicas y financieras** se han basado en proyecciones realistas pero hipotéticas, apoyadas en datos del mercado actual, precios medios y supuestos de evolución de la demanda. Sin embargo, estos valores están sujetos a posibles variaciones en función de factores externos como cambios normativos, fluctuaciones en el precio de materias primas, alteraciones en el volumen de residuos generados o modificaciones en las políticas públicas de gestión ambiental. Aunque se han definido 3 escenarios operativos (normal, optimista y pesimista), la realidad puede comportarse de forma diferente, sobre todo ante eventos inesperados como crisis económicas, restricciones regulatorias o innovaciones disruptivas en el sector.

En segundo lugar, si bien se ha planteado una propuesta técnicamente viable, el diseño y dimensionamiento de los procesos, maquinaria y flujos operativos se ha realizado a nivel de anteproyecto. Esto implica que algunas decisiones, como la selección exacta del equipamiento o la ingeniería de detalle de las instalaciones deberán en fases posteriores de planificación.

La estimación de los costes de inversión y explotación se ha realizado con base en datos de mercado y referencias técnicas, pero sin disponer de presupuestos reales o licitaciones concretas. Por tanto, se debe considerar que los valores presentados son aproximaciones válidas para justificar la viabilidad general del proyecto, pero no como cifras cerradas para una toma de decisión ejecutiva sin estudios de mayor precisión.

Otra limitación relacionada con el análisis normativo y de mercado, centrada en la Comunidad de Madrid también es relevante. Limitar el trabajo a esta región aporta coherencia al estudio, pero puede ser que los resultados no sean extrapolables a otras regiones sin ajuste contextuales, dado que las condiciones de generación de RCDs, la regulación ambiental y la competencia existente varían considerablemente de una Comunidad Autónoma a otra.

Por último, en el ámbito social y ambiental, se ha trabajado sobre indicadores generales y beneficios teóricos, respaldados por fuentes oficiales y estudios técnicos. Sin embargo, el impacto real se debe evaluar en el momento con herramientas como el análisis de ciclo de vida (ACV), indicadores de empleabilidad o estudios de impacto ambiental una vez la planta esté en funcionamiento.

Estas limitaciones no les quitan validez a las conclusiones obtenidas, pero si empujan a abordar los siguientes pasos con una visión complementaria y detallada. Este trabajo debe entenderse como una base sólida de planificación y análisis estratégico, que puede enriquecerse con herramientas de simulación avanzadas, validaciones de agentes del sector o estudios técnicos adicionales.

9.3. Recomendaciones futuras

A partir del análisis realizado y de los resultados obtenidos, se pueden plantear diversas recomendaciones para profundizar en el desarrollo del proyecto, optimizar su implementación y garantizar su sostenibilidad técnica, económica y ambiental en el medio y largo plazo.

Desde el punto de vista normativo, se aconseja establecer canales de colaboración con las administraciones públicas competentes, tanto para facilitar el cumplimiento de los requisitos medioambientales y de gestión de residuos, como para agilizar la tramitación de licencias. Además, esta colaboración puede resultar clave para acceder a subvenciones, ayudas europeas (como fondos FEDER o del Plan de Recuperación) y programas de fomento de la economía circular.

Otra recomendación relevante es el desarrollo de alianzas estratégicas con empresas del sector de la construcción, demolición y obra civil, así como con gestores de residuos y centros de innovación tecnológica. Estas alianzas pueden favorecer la consolidación de flujos de entrada estables, permitir la implementación de tecnologías avanzadas de tratamiento y clasificación, y facilitar la comercialización de áridos reciclados.

También se sugiere diseñar e implementar una estrategia de sensibilización y formación ambiental, dirigida tanto a trabajadores del sector como a la ciudadanía en general. La aceptación social de los materiales reciclados y la implicación de todos los actores son factores clave para garantizar el éxito del proyecto y su replicabilidad a mayor escala.

Por último, de cara a la mejora continua, se recomienda establecer un sistema de indicadores de seguimiento y evaluación del impacto, que permita medir de forma periódica la eficiencia ambiental, el rendimiento económico, los beneficios sociales del proyecto. Herramientas como la huella de carbono, el análisis de ciclo de vida (ACV) o los indicadores de economía circular pueden aportar información valiosa para tomar decisiones basadas en evidencia y adaptarse a los retos futuros del sector.

En resumen, el proyecto cuenta con una base sólida para su puesta en marcha, pero su consolidación y optimización dependerán de una gestión estratégica de recursos y alianzas, una planificación técnica rigurosa y un enfoque proactivo hacia la innovación, la sostenibilidad y la participación de los distintos agentes implicados.

10. Bibliografía

Waste Framework Directive. (s. f.). Environment.

https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en

Comunidad de Madrid. (2017). *Estrategia de Gestión Sostenible de los residuos de la Comunidad de Madrid.* https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/medio-ambiente/f_residuos_cm_contdc_con_marcadores.pdf

Waste management. (s. f.). European Environment Agency.

<https://www.eea.europa.eu/themes/waste/waste-management>

GDA. (2023, 28 noviembre). *RCD: Qué son, Clasificación, Normativa y Obligaciones | GDA.* La Plataforma del Amianto de España. <https://gestiondelamianto.com/rcd/>

Cocircular. (2024, 27 abril). *Guía para la clasificación de residuos de construcción y demolición.* <https://cocircular.es/blog/clasificacion-de-residuos-de-construccion-y-demolicion/>

BOE-A-2022-5809 Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. (2022, 8 abril). <https://www.boe.es/eli/es/l/2022/04/08/7/con>

BOE-A-2008-2486 Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. (2008, 14 febrero). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-2486>

Comunidad De Madrid. (2009). *ORDEN 2726/2009, DE 16 DE JULIO, POR LA QUE SE REGULA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN LA COMUNIDAD DE MADRID.*

https://gestiona.comunidad.madrid/rlma_web/html/web/FichaNormativa.icm?ID=1764

COMUNIDAD DE MADRID. (2024, 13 diciembre). *BOCM.*

https://www.bocm.es/boletin/CM_Orden_BOCM/2024/12/13/BOCM-20241213-1.PDF

BOE.es - DOUE-L-2008-82319 Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. (s. f.). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2008-82319>

Arquitectura Sostenible. (2022, 6 octubre). *Digitalización del sector de la construcción: la gestión eficaz de los residuos.* Arquitectura Sostenible. <https://arquitectura-sostenible.es/digitalizacion-sector-construccion-gestion-eficaz-residuos/>

Cocho, A. L. (2019, 18 marzo). *La gran problemática de los vertederos de RCD ilegales*. Comunidad ISM. <https://www.comunidadism.es/la-gran-problematICA-de-los-vertederos-de-rcd-ilegales/>

Zapatero Ramos, J. (2019). *PLAN DE NEGOCIO DE UNA EMPRESA DE RECICLAJE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN* [Trabajo de fin de grado, Universidad Carlos III de Madrid]. <https://e-archivo.uc3m.es/rest/api/core/bitstreams/53fc8c51-23fa-44bf-bfd0-08d65e93823a/content>

Comisión Europea. (2016, septiembre). *Protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición en la UE*. <https://eacs.carm.es/wp-content/uploads/2020/11/ES-TRA-01-v2.pdf>

Project, R. (2025, 14 enero). *Tendencias en la Gestión de Residuos de Construcción y Demolición para 2025: Un Paso Más Hacia la Sostenibilidad*. RCD Project. <https://rcdproject.com/tendencias-en-la-gestion-de-residuos-de-construccion-y-demolicion-para-2025-un-paso-mas-hacia-la-sostenibilidad/>

elEconomista.es. (2024, 4 noviembre). Zaragoza reunirá a expertos de 15 países para abordar el reciclaje de residuos de construcción y demolición. *elEconomista.es*. <https://www.eleconomista.es/actualidad/noticias/13066809/11/24/zaragoza-reunira-a-expertos-de-15-paises-para-abordar-el-reciclaje-de-residuos-de-construccion-y-demolicion.html>

Ana Ávila (Asetra), en Onda Cero: «Los talleres necesitan 2.000 profesionales en la Comunidad de Madrid». (2025, 31 enero). Infotaller. https://www.infotaller.tv/repuracion/ana-avila-asetra-onda-cero_0_2000009549.html

Días, C., Días, C., & Días, C. (2025, 21 enero). FCC y Acciona también recurren la concesión de 1.000 millones a Urbaser en Madrid. *Cinco Días*. <https://cincodias.elpais.com/companias/2025-01-21/fcc-y-acciona-tambien-recurren-la-concesion-de-1000-millones-a-urbaser-en-madrid.html>

Planta de reciclaje de residuos de construcción Santa Quiteria | ACCIONA | Business as unusual. (s. f.). <https://www.acciona.com/es/proyectos/planta-reciclaje-residuos-construccion-santa-quiteria>

Adolfo. (2025, 2 abril). *Las 5 mejores entidades para hacer demoliciones en la Comunidad de Madrid*. dMol España. <https://dmol.es/mejores-empresas-demolicion-madrid/>

Redacción. (2025, 9 enero). *Un proyecto trata de automatizar la gestión de residuos de construcción y demolición con tecnología BIM | Innovando en la construcción*. Innovando En la Construcción. <https://innovandoenlaconstruccion.com/un-proyecto->

[trata-de-automatizar-la-gestion-de-residuos-de-construccion-y-demolicion-con-tecnologia-bim/](#)

Rabuso, & Rabuso. (2024, 3 julio). Proyecto ICEBERG: Innovación en la Clasificación de Residuos de Construcción - AEDED. *AEDED - Asociación española de demolición, descontaminación, corte y reciclaje*.

<https://www.aeded.org/comunicacion/noticias/proyecto-iceberg-innovacion-en-la-clasificacion-de-residuos-de-construccion>

Demolición & Reciclaje. (2017, 27 junio). *Avances de la clasificación automatizada en el reciclaje de RCD*. <https://www.demolicionyreciclaje.es/demolicion-reciclaje/informacion-tecnica/avances-de-la-clasificacion-automatizada-en-el-reciclaje-de-rcd>

Daniela. (2024b, diciembre 16). *Un proyecto de la UPC estudia soluciones para la transformación circular del sector de la construcción*. Residuos Expo 2026.

<https://residuosexpo.com/2025/un-proyecto-de-la-upc-estudia-soluciones-para-la-transformacion-circular-del-sector-de-la-construccion>

Cabildo de Tenerife. (2023, junio). *Planta de áridos reciclados*. Banco de Ideas de Negocios Ambientales Sostenibles. https://tenerifemassostenible.tenerife.es/wp-content/uploads/2023/06/5_planta_aridos_reciclados.pdf

Admin. (2014, 4 julio). *Organigrama empresa recicladora: estructura y funciones*. Reciclaje Contemar. <https://www.reciclajecontemar.es/organigrama-de-una-empresa-recicladora/>

Organigramer. (2023, 27 mayo). *Organigrama de una empresa de reciclaje*. Organigramas. <https://organigramadeunaempresa.info/reciclaje/>

Orozco, J. B. (2024, 22 noviembre). Cadena SER. *Cadena SER*. <https://cadenaser.com/castillalamancha/2024/11/22/una-empresa-de-el-casar-guadalajara-premiada-en-el-congreso-internacional-de-reciclaje-ser-guadalajara>

Gestión de residuos en El Casar. (s. f.). <https://www.descomcasar.es/>

Marquès, G. (2013, 6 febrero). *Guía española de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD's) | PIMELAB – Centro Tecnológico*. <https://lab.pimemenorca.org/1005/guia-espanola-de-aridos-reciclados-procedentes-de-residuos-de-construccion-y-demolicion-rcds>

Operaciones de gestión: valorización y eliminación de los residuos - Portal Ambiental de la CSMA. (s. f.). Portal Ambiental de la CSMA. https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-%C3%ADndice/-/asset_publisher/zX2ouZa4r1Rf/content/operaciones-de-gesti-c3-b3n-valorizaci-c3-b3n-y-eliminaci-c3-b3n-de-los-residuos/20151

Cadena De Suministro la Obra. (2023, 12 enero). Proceso de transformación y reciclado de áridos | La Obra. *La Obra Productos*.

<https://www.laobraproductos.com/blog/transformacion-y-reciclado-aridos/>

Anapesing. (s. f.). Anapesing Sistemas de Pesaje Industrial Basculas y Balanzas.

https://www.anapesing.es/basculas-industriales/basculas-puente-para-camiones/bascula-puente-metalica-sobre-suelo?srsId=AfmBOoquQvoGUg34mBa5CoLXew6rCvQH0uFgXKS0_Jr_WilW7vEB5bId

Aimix. (s. f.). *Trituradora de mandíbula para la venta* <https://aimixgroup.com/es/stone-crusher-plants/crusher/jaw-crusher/>

Trituradores de impacto secundaria - MEKA - Tecnología MEKA de trituración, clasificación y dosificación de concreto. (s. f.).

<https://www.mekaglobal.com/es/productos/trituradores-y-cribas/trituradores/trituradores-de-impacto-secundaria>

Idealista. (s.f.). Terreno en venta en El Casar.

<https://www.idealista.com/inmueble/97014666/>

Planta RCD Buitrago. (s. f.). Mancomunidad de Servicios Valle Norte del Lozoya.

<https://mancomunidadvallenortedellozoya.es/residuos/planta-rcd-buitrago>

Directiva - 2008/98 - EN - EUR-Lex. (s. f.). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>

ZenRobotics. <https://www.terex.com/zenrobotics>

Vqchava. (2025, 11 marzo). Asfalto Reciclado ECO-RAP vs. Tradicional: 7 Ventajas Ambientales Clave para Proyectos Sostenibles. *ECO-RAP*. <https://www.eco-rap.com/post/asfalto-reciclado-eco-rap-vs-tradicional-7-ventajas-ambientales-clave-para-proyectos-sostenibles>

Pires, G. M., & Pires, G. M. (2023, 17 mayo). Reciclaje de pavimentos - Dynatest. *Dynatest - Consultoría y equipos para evaluación de pavimentos*.

<https://www.dynatestlatam.com/reciclaje-de-pavimentos5/>

UNE-EN 12620:2003+A1:2009 Áridos para hormigón. (s. f.).

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0043155>

UNE-EN 13242:2003+A1:2008 Áridos para capas granulares y capas. (s. f.).

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0040948>

UNE-EN 13108-1:2019 Mezclas bituminosas. Especificaciones de m. (s. f.).

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0062873>

Consejería de medio ambiente, administración local y ordenación del territorio. (2015, septiembre). INSTALACIONES DE RESIDUOS EN LA COMUNIDAD DE MADRID https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/medio-ambiente/cma_mam_instalaciones_publicas_de_residuos_septiembre_2015_revisadosrcd_0.pdf

Potti, J. J. (2013). *Asfalto y pavimentación* (10.^a ed., Vol. 3). Editorial Prensa Técnica, S.L. https://asefma.es/wp-content/uploads/2014/02/asfalto_10.pdf

Valverde, C. (2023). *Presente y futuro del hormigón reciclado*. Cemento Hormigón Revista Técnica. <https://esp.sika.com/dam/dms/es01/q/Presente%20y%20futuro%20de%20hormigon%20reciclado.pdf>

Wolf, G. (2017). *Protocolo de la UE para la gestión de residuos de construcción y demolición*. Comisión Europea DG Medio Ambiente