

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Plan de Trabajo de Integración Curricular

Tema: Uso de residuos de construcción y demolición (RCD) para uso en hormigón estructural en Europa.

AUTOR:

JOSTEIN LEONARDO ESPADA QUISHPE

TUTOR:

ING. OSCAR JARAMILLO

QUITO DM, *ENERO* DE 2026

Resumen

Esta investigación examina el uso de los residuos de construcción y demolición (RCD) como material alternativo en la producción de hormigón estructural en Europa, con énfasis en su viabilidad técnica, ambiental y en los marcos normativos que condicionan su aprovechamiento dentro del sector de la construcción.

El estudio realizado para el proyecto adopta un enfoque cualitativo y descriptivo basado en la revisión documental - normativa y comparativa de legislación europea y nacional, informes oficiales y literatura científica especializada. Se examinan los principios de economía circular aplicados a los RCD, el ciclo de vida de estos residuos desde su generación hasta su valorización como áridos reciclados, y los volúmenes de reutilización y reciclaje reportados en distintos Estados miembros y áreas metropolitanas representativas.

Los resultados muestran que la incorporación de RCD en la producción de hormigón estructural es técnicamente factible cuando existen sistemas de gestión eficaces, mecanismos de control y marcos regulatorios claros que promueven la separación en origen, el tratamiento adecuado y la trazabilidad de los materiales. Asimismo, se identifican diferencias marcadas entre países europeos en términos de tasas de reciclaje, asociadas al grado de desarrollo institucional y normativo de cada contexto.

Se concluye que una adecuada gestión y valorización de los RCD constituye un factor clave para mejorar la sostenibilidad del sector de la construcción, reducir la extracción de áridos naturales y disminuir los impactos ambientales asociados, confirmando la hipótesis planteada en la investigación.

Palabras clave: gestión sostenible de residuos, hormigón estructural, economía circular, reciclaje de áridos, residuos de construcción y demolición,

Abstract

This research examines the use of construction and demolition waste (CDW) as an alternative material in the production of structural concrete in Europe, focusing on its technical and environmental feasibility and on the regulatory and management frameworks that condition its implementation within the construction sector.

The research follows a qualitative and descriptive approach based on documentary, regulatory and comparative analysis of European and national legislation, official reports and specialized scientific literature. Principles of circular economy applied to CDW management are examined together with the life cycle of these materials from generation to valorization as recycled aggregates, as well as reported reuse and recycling volumes across different Member States and representative metropolitan areas.

The results indicate that incorporating CDW into structural concrete is technically feasible when effective management systems, control mechanisms and clear regulatory frameworks are in place to promote source separation, adequate treatment and material traceability. Marked differences among European countries in recycling rates are also identified and associated with institutional and regulatory development.

It is concluded that appropriate CDW management and valorization play a key role in enhancing the sustainability of the construction sector, reducing natural aggregate extraction and lowering related environmental impacts, thereby confirming the research hypothesis.

Keywords: circular economy, construction and demolition waste, structural concrete, sustainable waste management, recycled aggregates.

Índice de Contenidos

1. Introducción	7
1.1. Justificación	8
1.2. Planteamiento del problema	11
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo General	13
1.3.2. Objetivos específicos	13
1.4. Alcance	13
2. Fundamentación teórica	14
2.1. Estado del arte	14
2.1.1. Generación, caracterización y tendencias recientes	14
2.1.2. Investigaciones científicas sobre RCD y hormigón estructural	15
2.1.3. Retos y brechas identificadas	16
2.2. Marco teórico	17
2.2.1. Definición y clasificación de los RCD	17
2.2.2. Conceptos clave	18
2.3. Marco conceptual	19
2.4. Marco Histórico	20
2.5. Marco legal y normativo	23
2.5.1. Directiva 2008/98/CE – Directiva Marco de Residuos	24
2.5.2. Normativas nacionales vinculadas a casos representativos en la Unión Europea	25
2.5.3. Ciclo de vida de los residuos de construcción y demolición en España	30
2.5.4. Certificados de gestión y trazabilidad de los residuos de construcción y demolición	31
2.5.5. Economía circular aplicada a los RCD en la Unión Europea	34

2.5.6. Diagnóstico preliminar sobre la implementación normativa en la Unión Europea	34
3. Fundamentos Metodológicos	35
3.1. Diseño Metodológico:	35
3.1.1. Definición del enfoque, diseño y tipo de investigación del trabajo.	36
3.1.2. Definición de métodos, técnicas y tipo de investigación del trabajo.	37
4. Presentación de resultados	42
4.1. Presentación de resultados:	42
4.2. Análisis de resultados	49
5. Conclusiones y recomendaciones	54
5.1. Conclusiones	54
5.2. Recomendaciones	57
6. Bibliografía	58
7. Anexos – Documentos relevantes para la investigación	60

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Gráfico de pastel de la distribución de residuos sólidos en la UE	9
Ilustración 2: Ciclo de Gestión de residuos de construcción y demolición, en economía circular	11
Ilustración 3: Reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD).....	31
Ilustración 4: Tasas de recuperación de residuos de construcción y demolición países europeos	44
Ilustración 5: Mapas de tasas de reciclaje de RCD en la Unión europea	45
Ilustración 6: Valorización de Residuos de construcción y demolición (RCD) en áreas metropolitanas vs promedio nacional y europeo.....	48
Ilustración 7: Tasas de reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) en países seleccionados de la UE	51
Ilustración 8: Incremento potencial de valorización de residuos de construcción y demolición (RCD) en España.....	51

Índice de Tablas

Tabla 1: Clasificación de los residuos de construcción y demolición (RCD).....	18
Tabla 2: Marco Histórico de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en Europa	22
Tabla 3: Comparación general de marcos normativos.....	29
Tabla 4: Instrumentos normativos específicos para RCD	39
Tabla 5: Operacionalización de las variables de la investigación.....	41
Tabla 6: Relación entre marco normativo y resultados de reciclaje de RCD	46
Tabla 7: Aplicación real del modelo de economía circular en los RCD	52
Tabla 8: Comparativa por países europeos	56

1. Introducción

Como estudiante de ingeniería en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), he visto de primera mano cómo la construcción a nivel local, tanto en la ciudad de Quito como a nivel provincial y nacional, es un caos: edificios que se levantan rápido, pero con poco cuidado por el medio ambiente. Hemos analizado como es esta situación en Europa, y nos damos cuenta de que las cosas están cambiando de verdad, empujadas por la presión ambiental, la falta de recursos naturales además de esos compromisos climáticos serios que tienen los países de la Unión Europea. Los residuos de construcción y demolición (RCD) ya no son solo basura molesta como pasa en Quito, donde los desechan en cualquier lado sino un recurso clave para la sostenibilidad algo que se ha vendido mucho en el país pero que realmente no significa nada en la gran mayoría de casos. Según la Comisión Europea (2020) y la EEA (2022), generan un montón, hasta el 30-40% de todos los residuos en Europa, y tienen potencial para volver a usarse en nuevas construcciones. Esto me hace plantearme ciertas dudas como lo son: ¿por qué no aplicamos algo así aquí en Ecuador a nivel local, en lugar de depender siempre de materiales nuevos que importamos o extraemos?

La política europea ha venido evolucionando y desde la crisis de 2008 que afectó gravemente a Estados Unidos, pero también ha gran parte del mundo sobre todo a Europa, las normativas y disposiciones se basan en la economía circular, que no es dejar las cosas escritas en papel, sino actuar. El Pacto Verde Europeo del 2019 apunta a cero residuos para 2050, priorizando prevenir, reutilizar y reciclar antes de tirar, haciendo que los materiales pierdan el menor valor posible con el paso del tiempo, transformándolos en materiales útiles que generan rentabilidad y sea de verdad una industria sostenible. La Directiva 2008/98/CE es el base, y ha inspirado leyes en países como España, donde regulan todo: quién es responsable de cómo se gestionan los residuos y hasta certifican a los recicladores. Reflexionando sobre esto, me pregunto: en Europa, ¿cómo lo hacen para que funcione? Comparado con Ecuador, donde la construcción informal es la norma y el reciclaje es casi cero, veo que allá tienen infraestructuras serias y leyes que obligan a todos. En América Latina, incluyendo mi país, seguimos atrasados, con problemas como la deforestación por extracción de áridos, mientras Europa recicla hasta el 80% en lugares como Alemania gracias a incentivos y controles estrictos. En el sur, como España o Italia, va más lento por diferencias económicas, pero aun así avanzan. Esto me motiva a argumentar que decisiones técnicas, como mezclar áridos reciclados en hormigón, no solo son posibles sin perder calidad, sino que podrían ahorrarnos dinero y proteger nuestros ríos y bosques.

La investigación técnica también apoya esto: si tratas bien los residuos de construcción y demolición (RCD), con selección y controles, puedes usarlos en hormigón estructural sin riesgos. Estudios en Europa muestran que mezclas con un 20-30% de reciclados mantienen la resistencia, y bajan la huella de carbono. Pero depende de regulaciones, plantas de reciclaje y trazabilidad. En Ecuador, donde he visto obras en marcha, esto es un sueño lejano; allá, en Europa, es realidad porque invierten en eso. Comparando, creo que podemos aprender, adaptando sus modelos a nuestras necesidades, como usar tecnología local para reciclar sin importar ni extraer todo.

Con eso en mente, mi hipótesis es que gestionar bien los residuos de construcción y demolición (RCD) en Europa los hace ideales para hormigón estructural, sin sacrificar seguridad, y ayuda a la sostenibilidad del sector lo que es una lección para nosotros en Ecuador, donde la construcción sostenible es urgente.

El objetivo es analizar el uso de los residuos de construcción y demolición (RCD) en hormigón estructural europeo, viendo viabilidad técnica, ambiental y las normas que lo permiten. El enfoque de la investigación es cualitativo, y se le lleva a cabo analizando documentos europeos, leyes nacionales y literatura, con comparaciones entre países y áreas metropolitanas, y contrastando con otros contextos para resaltar diferencias.

El trabajo tiene cinco capítulos. Primero, marco teórico sobre RCD y economía circular en Europa, con críticas a cómo se aplica globalmente. Segundo, normas europeas y españolas. Tercero, metodología y variables. Cuarto, resultados comparativos y discusión. Quinto, conclusiones y recomendaciones para políticas y prácticas, sugiriendo ideas para Ecuador.

1.1. Justificación

Los residuos de construcción y demolición (RCD) constituyen uno de los flujos de residuos más voluminosos generados por la actividad humana en los entornos urbanos. A escala global, se estima que representan alrededor del 35 % del total de los residuos sólidos producidos, lo que los convierte en un problema ambiental, logístico y económico de alta relevancia para las ciudades y los sistemas de gestión de residuos (Soto-Paz, 2023). En el contexto europeo, este volumen está directamente asociado al crecimiento acelerado y cambiante del sector de la construcción, también se debe a la renovación del parque edificatorio y al desarrollo de infraestructura, lo que exige soluciones que trasciendan la simple disposición final en vertederos y menos si se lo hace de manera arbitraria e ilegal.

Ilustración 1: Gráfico de pastel de la distribución de residuos sólidos en la UE



Fuente: European Environment Agency (EEA). (2020). Construction and demolition waste statistics. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu>

En la Ilustración 1, se muestra la proporción de residuos generados en la Unión Europea. El 35 % corresponde a los residuos de construcción y demolición (RCD), mientras que el 65 % restante incluye otros flujos de residuos, principalmente residuos municipales e industriales.

Los residuos municipales son aquellos generados en hogares, comercios, oficinas y espacios públicos, e incluyen materiales como envases, restos de alimentos, papel, plástico y vidrio. Los residuos industriales provienen de procesos productivos de fábricas y talleres, e incluyen sobrantes de materiales, envases industriales y subproductos de manufactura. Esta distinción permite comprender con claridad el peso relativo de los residuos de construcción y demolición (RCD) frente a otros tipos de residuos dentro del total de residuos generados en la Unión Europea (UE).

La Unión Europea está liderando el camino en cambiar cómo producimos y consumimos cosas de manera más sostenible, con la economía circular como idea central para no depender tanto de recursos que se acaban. En este sistema, los residuos ya no son solo basura que tiramos, sino que se convierten en recursos útiles que pueden volver al ciclo productivo. Esto es super importante en Europa, donde los áridos naturales escasean cada vez más por toda la construcción que sigue desarrollándose a un ritmo acelerado. Los RCD, o residuos de construcción y demolición, son clave aquí porque la industria usa un montón

de áridos naturales, y hay mucho potencial para recuperar materiales de las obras y demoliciones.

Como referente mundial en economía circular, Europa marca el ritmo con estándares que países en desarrollo, con sistemas de gestión más básicos, todavía no alcanzan. Por eso, adaptar estas prácticas a contextos locales es esencial. La Comisión Europea ha creado protocolos y guías para mejorar la reutilización, reciclaje y valorización de los RCD, buscando reducir daños ambientales y usar mejor los recursos, todo bajo normas estrictas como la Directiva de Residuos (European Commission, 2018).

Pero, hablando desde mi experiencia como estudiante de ingeniería civil, he visto que no se aplica igual en todos lados: Alemania y los países nórdicos van a la cabeza en reciclaje, mientras que, en el sur de Europa, la falta de infraestructura frena mucho el progreso.

Desde el punto de vista técnico, introducir residuos de construcción y demolición (RCD) como áridos reciclados en el hormigón estructural es una opción real en Europa, siempre que controles la calidad, cumplas con las normas y tengas certificaciones. Estudios recientes muestran que, con trituración, clasificación y limpieza bien hechas, estos agregados funcionan en mezclas de hormigón con buena resistencia y durabilidad para estructuras, sobre todo si no exageras con la sustitución del árido natural (Andrade Salgado & de Andrade Silva, 2021).

Este lado técnico, más los beneficios ambientales, hace que valga la pena estudiar cómo se manejan los RCD en Europa. Comparado con lugares fuera de Europa, como América Latina, donde las normas son inconsistentes y la gente ve el reciclado con desconfianza, aquí la escasez de áridos impulsa innovaciones. Como futuro ingeniero, veo un problema grande: las barreras institucionales y de mercado en Europa bloquean una adopción masiva.

Por eso, trabajos como este deberían ayudar a resolverlo, proponiendo soluciones técnicas que encajen con las realidades europeas, basadas en lo que he observado en la investigación del proyecto.

Ilustración 2: Ciclo de Gestión de residuos de construcción y demolición, en economía circular



Fuente: European Environment Agency (EEA). (2020). Construction and demolition waste statistics. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu>

Por eso, esta investigación se justifica al contribuir al entendimiento de las condiciones normativas, técnicas y de gestión que permiten o limitan el uso de RCD en hormigón estructural dentro de la Unión Europea. La identificación de buenas prácticas y experiencias relevantes en distintos Estados miembros y áreas metropolitanas contribuye a generar conocimiento aplicable al fortalecimiento de políticas públicas y a la toma de decisiones en el sector de la construcción sostenible.

1.2. Planteamiento del problema

Desde que empecé ingeniería en la PUCE, he visto de primera mano el caos de la construcción en Ecuador. Edificios que salen rápido, pero sin pensar en el medio ambiente. En Europa, en cambio, las cosas parecen más avanzadas, con leyes y tecnologías para los residuos de construcción y demolición (RCD). Pero ojo, a pesar de esos avances, la gestión de los RCD sigue siendo un lío en la Unión Europea. Hay directivas comunes, como la 2008/98/CE, que intentan empujar más reutilización y reciclaje, pero en la realidad, todo cambia según el país o la ciudad. Por ejemplo, en Ámsterdam o Madrid, los sistemas funcionan bien, con reciclaje que llega al 90%, pero en zonas del sur como Italia o Grecia, mucho termina en vertederos, perdiendo materiales y dañando el ambiente. Causa molestia o descontento comparar con Quito, donde tiramos todo sin control, incluso debemos cancelar precios elevados para deshacernos de estos materiales que consideramos basura.

El tema se pone peor con el hormigón estructural. Usar áridos reciclados tropieza con dudas sobre la calidad, normas que no son iguales en todas las naciones de la Unión Europea, y falta de materiales certificados. He leído estudios de la Comisión Europea que dicen que el hormigón reciclado puede servir en puentes o edificios si se controla la composición, pero no todos los constructores lo usan. Por ejemplo, en Alemania, con su normativa DIN tan estricta, lo aplican en infraestructuras grandes, pero en España, donde la economía circular es más nueva, hay menos confianza. Comparado con Ecuador, donde ni siquiera pensamos en reciclar hormigón, esto resalta cómo Europa podría ser un modelo, pero la brecha entre lo que se puede hacer técnicamente y lo que se hace es enorme. Esta brecha no es solo técnica; incluye normas, instituciones y la gestión. Cosas como incentivos que faltan en algunos países o la resistencia del mercado detienen el reciclaje real.

En mi opinión, esto golpea la sostenibilidad del sector y reduce la dependencia de recursos no renovables, clave en una UE que importa mucho. Entender esto es clave para mí, porque quiero ver cómo aplicar ideas parecidas en Ecuador, donde la construcción informal es la regla. Me frustra que, si no cambiamos, Quito siga siendo un ejemplo de lo que no hacer. Recuerdo una vez que visité un sitio de demolición en Quito y vi cómo tiraban todo sin reciclar nada, y lo peor de todo era la disposición final, sitios que tradicionalmente se destinan para estos fines como quebradas; dejando de lado cualquier proceso técnico y violando leyes que están a favor de la conservación del medio ambiente, generando impactos ambientales de manera indiscriminada, todo un crimen, eso me hizo pensar en lo lejos que estamos y en cómo podríamos aprender de Europa.

Por eso, en esta investigación quiero explorar cómo las diferencias en las normas, la gestión técnica y la aceptación del mercado influyen en la valorización de los RCD para hormigón estructural en la UE. No es pura teoría; quiero usar datos de países específicos para sugerir mejoras, contrastando con lugares no europeos como América Latina, donde el reciclaje es casi cero. Bueno, esto me motiva a preguntarme cosas como: ¿Cómo influyen las diferencias en la aplicación de la Directiva 2008/98/CE y otras normativas europeas (como las de España o Alemania) en las tasas de reciclaje de RCD para hormigón estructural en países de la UE, y qué barreras técnicas, como la variabilidad en la calidad de los áridos, limitan su adopción en obras civiles como puentes o edificios residenciales? También, ¿de qué manera la aceptación del mercado y las percepciones ambientales en la UE (por ejemplo, en el marco de la economía circular del Pacto Verde Europeo) condicionan el uso de

hormigón reciclado en infraestructuras civiles, comparado con limitaciones ambientales como la contaminación cruzada de residuos o la dependencia de recursos importados en Europa? Y finalmente, ¿cuáles son las disparidades institucionales y de gestión técnica entre Estados miembros de la UE que afectan la valorización efectiva de RCD en hormigón estructural, y cómo podrían estas lecciones aplicarse para reducir la brecha entre potencial técnico y práctica real en contextos no europeos como Ecuador?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Analizar el uso de residuos de construcción y demolición (RCD) como material alternativo en la elaboración de hormigón estructural en Europa, evaluando su viabilidad técnica, ambiental y las condiciones de gestión que permiten su aprovechamiento.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar los conceptos fundamentales relacionados con los residuos de construcción y demolición (RCD), su origen, clasificación y problemáticas asociadas a su gestión en el contexto de Europa.
- Recopilar información sobre los volúmenes o cantidades de utilización de reciclados en un distrito metropolitano representativo de Europa (por ejemplo, Madrid o Barcelona) para comparar con valores semejantes en distintos Estados miembros de la UE.
- Analizar la situación actual de la gestión y normativa de los RCD en Europa, identificando los principales desafíos e implementaciones que condicionan su uso en hormigón estructural.

1.4. Alcance

La investigación se desarrolla en el ámbito de la Unión Europea y se centra en analizar el empleo de residuos de construcción y demolición como material alternativo en la producción de hormigón estructural. El enfoque adoptado combina aspectos técnicos, ambientales y regulatorios, a partir de la revisión de literatura científica europea, documentos institucionales de la Comisión Europea y de la Agencia Europea de Medio Ambiente, así como de los principales marcos normativos vigentes en distintos Estados miembros.

El análisis empírico se apoya en la comparación de varios países y áreas metropolitanas consideradas representativas, seleccionadas principalmente por la

disponibilidad de información pública, la existencia de sistemas consolidados de gestión de RCD y la aplicación efectiva de políticas vinculadas a la economía circular y a la valorización de residuos. Esta estrategia permite examinar diferentes formas de implementación del marco europeo, sin aspirar a cubrir de manera exhaustiva la totalidad de los Estados miembros.

La investigación se delimita al estudio del uso de residuos de construcción y demolición como agregados en hormigón estructural desde una perspectiva de gestión, regulación y viabilidad técnica general. No se incluyen, por tanto, el diseño estructural detallado de elementos de hormigón ni la realización de ensayos experimentales de laboratorio, que quedarían fuera del alcance del trabajo. Asimismo, el trabajo no contempla el análisis económico detallado de costos de producción o de mercado, dentro de este alcance, el estudio busca identificar relaciones entre la normativa, las prácticas de gestión de RCD y su utilización en hormigón estructural, sin extenderse a análisis socioeconómicos o de política pública que requieran enfoques externos al campo técnico y normativo de la investigación., sino que se centra en los aspectos técnicos, ambientales y las condiciones de gestión que condicionan la valorización de los residuos de construcción y demolición (RCD), pero que también permiten su aprovechamiento en la industria de la construcción en Europa.

2. Fundamentación teórica

2.1. Estado del arte

2.1.1. Generación, caracterización y tendencias recientes

La Unión Europea enfrenta un desafío significativo en la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), ya que estos constituyen una parte considerable de los residuos generados. Estudios recientes estiman que los RCD representan aproximadamente entre el 25 % y el 35 % del total de los residuos sólidos producidos en los países de la UE (European Environment Agency, 2020). Esta alta proporción obedece a la intensa actividad constructiva y a la renovación frecuentemente requerida en las infraestructuras urbanas, que aumenta conforme crece la población y se busca modernizar el parque edificado.

Los RCD incluyen materiales variados como concreto, madera, metales, cerámica, yeso y otros elementos. No obstante, la fracción más abundante y con mayor potencial de valorización la constituyen los áridos y restos de hormigón, debido tanto a su volumen como a su aplicabilidad técnica tras procesos controlados de tratamiento (European Environment

Agency, 2020). Esta diversidad de materiales implicará desafíos técnicos para su clasificación y procesamiento, dado que diferentes materiales requieren tratamientos específicos para alcanzar estándares de calidad.

Desde una perspectiva técnico y operativa, la caracterización adecuada de los residuos de construcción y demolición constituye un factor determinante para su aprovechamiento posterior. Diversos estudios desarrollados en el contexto español indican que la mayor proporción de los RCD generados corresponde a residuos de naturaleza inerte, principalmente hormigón, materiales cerámicos y pétreos, los cuales presentan un elevado potencial de reciclaje cuando se gestionan de forma adecuada (Ayuso et al., 2015).

No obstante, la calidad de los materiales reciclados depende en gran medida del grado de contaminación presente en el residuo original. La inclusión de elementos impropios, como yeso, madera o plásticos, puede comprometer las propiedades físicas y mecánicas de los áridos reciclados, limitando su aplicación en usos de mayor exigencia técnica. En este contexto, la separación selectiva en origen se identifica como una estrategia clave para optimizar la valorización de los RCD y mejorar la calidad del material reciclado obtenido.

Respecto a las tendencias de recuperación de RCD, se observa una mejora progresiva en la capacidad de reciclaje entre los Estados miembros, aunque persisten diferencias importantes. Países como los Países Bajos, Bélgica, Alemania y Dinamarca registran tasas de reciclaje superiores al 80 % del total de RCD generados, mientras que otros países presentan niveles más bajos debido a limitaciones en infraestructura de tratamiento o marcos regulatorios menos desarrollados (European Environment Agency, 2020). Estas diferencias subrayan la importancia de analizar no solo el marco común europeo, sino también las prácticas nacionales y locales que influyen en la efectividad de la gestión de residuos.

2.1.2. Investigaciones científicas sobre RCD y hormigón estructural

Una parte creciente de la literatura científica en Europa se ha centrado en el uso de RCD como fuente de áridos reciclados para la elaboración de hormigón estructural. Esta línea de investigación ha surgido como respuesta a la necesidad de reducir la extracción de agregados naturales y minimizar los impactos ambientales del sector de la construcción.

Los estudios coinciden: con tratamientos adecuados, como trituración, clasificación y limpieza controlada, los áridos reciclados se integran bien en mezclas de hormigón, ofreciendo un desempeño técnico satisfactorio. Por ejemplo, se ha encontrado que

sustituciones parciales de áridos naturales por reciclados en rangos de 20 % a 30 % pueden generar hormigones con resistencias a compresión comparables a las de mezclas convencionales, lo que demuestra un potencial técnico significativo (de Andrade Salgado & de Andrade Silva, 2021). Esta evidencia técnica ha sido vital para legitimar el uso de materiales reciclados en aplicaciones estructurales.

Además de la resistencia mecánica, la durabilidad de los hormigones con áridos reciclados ha sido objeto de estudio. Aunque dichas mezclas pueden presentar mayores tasas de absorción de agua y una microestructura ligeramente más porosa, investigaciones científicas han demostrado que estas diferencias pueden mitigarse mediante el uso de aditivos modernos y procesos de tratamiento más refinados (Santos, de Oliveira & Brito, 2019). Este cuerpo de literatura constituye un soporte crítico para evaluar no solo la viabilidad técnica, sino también las condiciones requeridas para un uso responsable y seguro de los RCD en hormigón estructural.

Junto a la investigación experimental desarrollada en el ámbito académico, existen documentos técnicos que analizan los procesos industriales necesarios para garantizar la calidad de los áridos reciclados destinados a la construcción. En este sentido, la Guía de Buenas Prácticas para la Gestión y Tratamiento de RCD describe las principales etapas de tratamiento aplicadas en plantas autorizadas, las cuales incluyen operaciones de pretratamiento, trituración, clasificación y control de calidad (Ayuso et al., 2015).

Estos procedimientos permiten reducir la presencia de impurezas y mejorar la homogeneidad del material reciclado, aspectos fundamentales para su utilización en la fabricación de hormigón. Asimismo, el documento destaca que la implementación de controles técnicos en las plantas de tratamiento resulta indispensable para asegurar que los áridos reciclados cumplan con los requisitos necesarios para aplicaciones estructurales, reforzando así su viabilidad técnica dentro del sector de la construcción.

2.1.3. Retos y brechas identificadas

A pesar de los avances técnicos, los estudios europeos han identificado una serie de desafíos clave que limitan la aceptación generalizada de los RCD como materia prima en hormigón estructural. Entre los retos más mencionados están:

- Heterogeneidad de los residuos: La diversidad en la composición física y química de los RCD complica la producción de áridos reciclados con propiedades uniformes y predecibles, lo que afecta la confiabilidad del producto final (de Brito & Silva, 2018).
- Normalización insuficiente: Aunque existen normas europeas que permiten el uso de áridos reciclados, no todas contemplan de manera explícita su aplicación en elementos estructurales, generando incertidumbre técnica entre profesionales del sector.
- Percepción del mercado: La percepción de que los materiales reciclados son de menor calidad limita su demanda en proyectos estructurales de alto rendimiento, lo cual impone un obstáculo cultural y de mercado, adicional al desafío técnico.

Estos retos serán tomados en cuenta en el análisis comparativo y en la discusión de resultados en capítulos posteriores, particularmente en relación con políticas y prácticas de gestión influyen en la utilización real de RCD en los sistemas constructivos europeos.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Definición y clasificación de los RCD

Desde que empecé a investigar los residuos de construcción y demolición (RCD), me di cuenta de que en Europa los tratan de manera muy diferente a lo que vemos en Ecuador. Según la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, los RCD incluyen todos los materiales de actividades como construcción, rehabilitación, renovación y demolición de estructuras. La normativa europea define residuo como cualquier “sustancia u objeto que su poseedor desecha o tiene la intención o la obligación de desechar”, y los residuos de construcción y demolición (RCD) son uno de los flujos de residuos de mayor volumen en la UE, representando alrededor del 30-40% de los residuos totales, según informes de la Agencia Europea de Medio Ambiente.

Desde un punto de vista técnico, los RCD se clasifican según su peligrosidad y características, lo que me parece clave para entender por qué en Europa priorizan la reutilización. Por ejemplo, los inertes son materiales que no experimentan cambios físicos, químicos o biológicos significativos, como hormigón, ladrillos y cerámica; estos son los más fáciles de reciclar en proyectos como los de Alemania, donde los usan en nuevas infraestructuras. Luego están los no peligrosos, que no presentan riesgos significativos, como mezclas de madera, plástico o vidrio, comunes en países nórdicos como Suecia, donde la economía circular es avanzada. Y los peligrosos, que contienen sustancias dañinas como

asbesto o pinturas tóxicas, requieren gestión especial, algo que en España han regulado estrictamente para evitar contaminaciones.

En mi opinión, esta clasificación no es solo teórica; refleja cómo Europa, a través de la economía circular del Pacto Verde Europeo, busca valorizar los RCD en lugar de tirarlos. La normativa europea entiende por residuo cualquier “sustancia u objeto que su poseedor desecha o tiene la intención o la obligación de desechar” (Directiva 2008/98/CE), y los RCD se encuentran entre los flujos de residuos de mayor volumen en la UE.

Desde un punto de vista técnico, los RCD se clasifican según su peligrosidad y características:

- Inertes: Materiales que no experimentan cambios físicos, químicos o biológicos significativos. Ejemplos típicos incluyen hormigón, ladrillos y cerámica.
- No peligrosos: Materiales cuya gestión no presenta riesgos significativos para la salud humana o el medio ambiente, como mezclas de residuos sin compuestos peligrosos.
- Peligrosos: Aquellos residuos que contienen componentes que pueden ser dañinos para la salud o el ambiente, como ciertos recubrimientos o aislamientos con sustancias tóxicas.

Tabla 1: Clasificación de los residuos de construcción y demolición (RCD)

Tipo	Descripción	Ejemplos
Inertes	No reaccionan químicamente	Hormigón, ladrillo, cerámica
No peligrosos	No tóxicos	Madera, plástico, vidrio
Peligrosos	Contienen sustancias nocivas	Asbesto, pinturas, solventes

Autor: Jostein Espada (2025)

La identificación y clasificación adecuada de los RCD es un paso fundamental para orientar su gestión hacia la valorización y minimizar su disposición en vertederos.

2.2.2. Conceptos clave

Economía circular

La economía circular es un modelo de producción y consumo que mantiene el valor de los productos y materiales durante el mayor tiempo posible y minimiza la generación de

residuos. Este enfoque es el principal y donde se centran las políticas ambientales de la Unión Europea, que promueven la reutilización, reparación, reciclaje y valorización de materiales antes de considerar su eliminación final (European Commission, 2018). En el contexto de la construcción, la reutilización de materiales como los residuos de construcción y demolición (RCD) representa una oportunidad significativa para disminuir la extracción de recursos naturales vírgenes y reducir impactos ambientales asociados con la extracción, su transformación, utilización y disposición final.

Jerarquía de residuos

La jerarquía de residuos es un principio de gestión ambiental que prioriza las intervenciones desde las más deseables a las menos preferibles, y se evita desechar ya que busca que los productos considerados como desechos mantengan su valor durante el mayor tiempo posible y para esto se lo realiza en este orden: prevención, preparación para la reutilización, reciclaje, valorización energética y eliminación final. Este principio guía las políticas de los países europeos en el tema de manejo de residuos, incluida la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), con el objetivo de favorecer las opciones que reduzcan el impacto ambiental y optimicen el uso de recursos escasos.

Huella de carbono en construcción

La huella de carbono es una medida que cuantifica las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al ciclo de vida de un producto, proceso o servicio. En el sector de la construcción, el uso de agregados reciclados derivados de los residuos de construcción y demolición (RCD) puede contribuir a reducir la huella de carbono del hormigón estructural al disminuir la necesidad de extracción, procesamiento, transporte de materiales naturales, y disposición final, todos ellos procesos intensivos en energía que aumentan la huella de carbono y contribuyen a la contaminación ambiental, además que se destinan lugares poco técnicos para su disposición final y estos pueden provocar afectaciones tanto al medio ambiente como a las personas.

2.3. Marco conceptual

Para efectos de esta investigación, definimos los siguientes conceptos, que serán utilizados de manera consistente a lo largo del documento:

- Residuos de Construcción y Demolición (RCD): Materiales resultantes de actividades de construcción, rehabilitación y demolición, cuya gestión se aborda de acuerdo con la Directiva 2008/98/CE (European Union, 2008).
- Áridos reciclados: Agregados obtenidos a partir del tratamiento de RCD que pueden emplearse como sustitutos parciales de los agregados naturales en la producción de hormigón.
- Hormigón estructural: Mezcla de cemento, agua y agregados que proporciona resistencia mecánica y estabilidad en elementos de soporte de carga en edificaciones e infraestructuras.

La definición clara de estos conceptos es indispensable para garantizar una interpretación consistente de resultados y comparaciones entre casos de estudio.

2.4. Marco Histórico

La gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Europa ha ido evolucionando poco a poco, ligada a cómo se ha desarrollado la política ambiental de la Unión y a los cambios en cómo funciona la construcción. Si lo miras históricamente, ves una transición clara: de tirar todo a los vertederos a aprovechar los materiales como recursos secundarios. Como ingeniero, he notado que esto refleja problemas reales que he observado en obras, donde antes se desperdiciaba mucho sin pensar en el impacto.

Fase 1. Disposición en vertederos y gestión sin diferenciación (hasta finales de los 80)

En esa época, los residuos de construcción y demolición (RCD) se iban casi todos a vertederos, sin separar, tratar o reciclar nada de manera organizada. No había normas ambientales específicas para esto, y la gente no era tan consciente de los daños que causaba la construcción al medio ambiente. El enfoque era solo deshacerse de los residuos, lo que creó problemas graves ya que se ocupaba mucho suelo para vertederos, se degradaba el paisaje y se perdían materiales útiles, como áridos de hormigón o piedras que podrían reutilizarse. Desde mi experiencia en prácticas, recuerdo ver cómo esto sigue pasando en algunos lugares como en una quebrada cerca de mi casa que se ha hecho botadero informal pero todo mundo utiliza para evitar pagar por depositar estos materiales en lugares destinados para los mismos y no hablo de hace 40 años sino en la actualidad, esta realidad me hace pensar en cuánto hemos avanzado, pero también en lo lento que ha sido y que en algunas regiones del mundo los avances han sido mínimos o ninguno. Todo esto sucedió sin

ningún tipo de regulación, sin embargo, en la Conferencia de Estocolmo de 1972, se reconoció por primera vez a nivel internacional el cuidado del medio ambiente como un derecho humano, este evento fue clave para que los diferentes países europeos consideraran a los residuos de construcción y demolición ya no solo como un problema logístico, sino se lo reconoció como un problema real de salud que afecta la calidad de vida de las personas.

En 1975, la Directiva 75/442/CEE fue aprobada por la comunidad Económica Europea, esta es considerada el primer marco legal europeo sobre residuos, en este documento se definieron conceptos básicos como residuo, eliminación, valorización y se obligó a todos los estados miembros a elaborar planes de gestión, esto fue fundamental ya que por primera vez se establecía que los residuos debían tratarse de manera que no deterioraran ni afectaran al medio ambiente.

Fase 2. Emergencia de políticas ambientales comunitarias (décadas de 1990 y 2000)

A partir de la década de 1990, la incorporación progresiva de la protección ambiental en las políticas de la Unión Europea marcó un punto de inflexión en la gestión de los residuos. En esta etapa, si bien la atención se centró inicialmente en los residuos municipales, comenzaron a sentarse las bases para una gestión más racional de los residuos industriales y de construcción. La introducción de directivas marco y estrategias comunitarias permitió reconocer a los RCD como un flujo de residuos relevante, debido tanto a su volumen como a su impacto ambiental. En estos años existió la preocupación de gestionar de mejor manera los vertederos. La Directiva 1999/31/CE sobre vertido de residuos introdujo requisitos técnicos estrictos para evitar la contaminación de suelos, aguas, limitó el depósito de residuos biodegradables. Este documento fue clave para reducir la dependencia de los vertederos y empezar a pensar y considerar seriamente alternativas de reciclaje.

Fase 3. Economía circular y normativa específica para los RCD (desde la década de 2000 hasta la actualidad)

Desde que empecé a estudiar la evolución de la gestión de RCD en Europa, la fase actual, desde los 2000 hasta ahora, me parece la más interesante porque marca un giro real hacia la sostenibilidad.

La adopción de la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos supuso un cambio estructural en el enfoque europeo hacia la gestión de los RCD, al establecer principios fundamentales como la jerarquía de residuos (prevención, reutilización, reciclado, valorización y eliminación), la responsabilidad ampliada del productor y la promoción de la reutilización y el reciclaje. Posteriormente, la implementación de los paquetes europeos de economía circular reforzó estos objetivos, fijando metas concretas de preparación para la reutilización y reciclaje de los residuos de construcción y demolición, ya que estos residuos dejaron de considerarse como desechos y pasaron a convertirse en potenciales recursos.

En esta etapa, los RCD pasan a ser considerados una fuente potencial de materias primas secundarias, particularmente en el caso de los áridos reciclados procedentes del tratamiento de residuos de hormigón. Este cambio de paradigma ha impulsado el desarrollo de infraestructuras de tratamiento, sistemas de certificación y marcos técnicos que permiten la incorporación de materiales reciclados en aplicaciones constructivas más exigentes, incluido el hormigón estructural, siempre que se cumplan los requisitos normativos y de calidad establecidos. De este modo, la evolución histórica de la gestión de los RCD en Europa refleja una transición progresiva hacia modelos más sostenibles, alineados con los principios de la economía circular y la reducción del impacto ambiental del sector de la construcción. Finalmente, en el 2015, la Unión Europea lanzó el Paquete de Economía Circular, donde el objetivo era transformar la manera en que Europa produce, consume y gestiona sus recursos y en 2019 el Pacto Verde Europeo, que fijó metas ambiciosas: reducir al mínimo la generación de residuos y alcanzar un modelo de “cero emisiones y cero vertidos” hacia 2050. Estos hitos muestran cómo Europa ha pasado de gestionar residuos como un problema puntual a integrarlos en una estrategia de sostenibilidad a largo plazo.

Tabla 2: Marco Histórico de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en Europa

Año	Hito	Relevancia para los RCD y el hormigón
1972	Conferencia de Estocolmo (ONU)	Primer reconocimiento internacional del derecho humano a un medio ambiente sano. Europa empieza a considerar los residuos como un problema ambiental.
1975	Directiva 75/442/CEE	Primer marco legal europeo sobre residuos. Define conceptos básicos y obliga a los Estados miembros a elaborar planes de gestión.
1991	Directiva 91/689/CEE sobre residuos peligrosos	Refuerza el control de residuos con riesgo ambiental, incluyendo materiales de construcción con amianto o contaminantes.

1999	Directiva 1999/31/CE sobre vertido	Limita el depósito en vertederos y exige tratamiento previo. Impacto directo en los RCD: se reduce la práctica de “tirar todo” sin procesar.
2001–2006	Plan Nacional de RCD en España	Ejemplo nacional: España reconoce la necesidad de una normativa específica para RCD, anticipando lo que luego consolidará la UE.
2008	Directiva 2008/98/CE (Directiva Marco de Residuos)	Introduce la jerarquía de residuos y el concepto de fin de la condición de residuo. Los áridos reciclados de RCD pueden dejar de ser “basura” y convertirse en recurso.
2011	Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados (España)	Transposición nacional de la Directiva 2008/98/CE. Refuerza la responsabilidad del productor y fija objetivos de reciclaje de RCD.
2015	Paquete de Economía Circular de la UE	Estrategia europea para cerrar el ciclo de los materiales. Los RCD se reconocen como flujo prioritario por su volumen y potencial de reciclaje.
2019	Pacto Verde Europeo	Meta de “cero emisiones y cero vertidos” hacia 2050. Impulsa la reutilización de materiales en construcción y la reducción de áridos naturales.
2022	Ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados para una economía circular (España)	Sustituye la Ley 22/2011. Refuerza la economía circular y fija objetivos más ambiciosos de reciclaje, incluyendo RCD.
Actualidad	Normas EN (EN 206 y EN 12620)	Regulan el uso de áridos reciclados en hormigón estructural. Establecen límites técnicos y condiciones de calidad para garantizar seguridad y durabilidad.

Autor: Jostein Espada (2025)

2.5. Marco legal y normativo

En este apartado se describen y analizan las principales normas europeas que regulan la gestión de Residuos de construcción y demolición (RCD) y se examina cómo estas estructuras influyen en la recuperación real de estos materiales y su uso en hormigón estructural. En la práctica, estas obligaciones se materializan mediante los certificados de gestión de residuos, documentos emitidos por los gestores autorizados que acreditan el tratamiento y destino final de cada fracción de RCD.

Estos certificados son clave para la trazabilidad y el control, permitiendo verificar si los residuos se reciclaron, valorizaron o eliminaron. Recuerdo que, en una clase, mi profesor explicó cómo en la Unión Europea estos certificados evitan fraudes, algo que en América Latina falta y causa problemas ambientales. Esto resalta la brecha entre teoría y práctica; en Europa, con diferencias entre países como Países Bajos (líderes) y Francia (en transición), logran más, pero aún hay desafíos como la variabilidad en la calidad de los áridos. En fin, entender esto es fundamental para el tema de mi proyecto de integración curricular, porque

quiero argumentar cómo podríamos implementar algo parecido en Ecuador, reduciendo la dependencia de importaciones y la extracción de minerales ya que poco a poco se ha puesto en evidencia como la minería ilegal y la extracción indiscriminada de recursos nos esta pasando factura, a nivel regional y local.

2.5.1. Directiva 2008/98/CE – Directiva Marco de Residuos

La Directiva 2008/98/CE establece el marco general para la gestión de residuos en toda la Unión Europea y representa la base legal sobre la cual los Estados miembros deben diseñar sus sistemas nacionales de manejo de residuos, incluidos los RCD.

Esta directiva hace lo siguiente:

- Define conceptos claves como residuo, valorización y reciclaje.
- Establece una jerarquía de gestión que prioriza la prevención y el reciclaje, pero también establece un orden de prioridad, prevención, preparación para la reutilización, reciclado, otro tipo de valorización y finalmente considera su eliminación, a partir de esto se clasifica al residuo en un subproducto, estos son materiales que son resultado de procesos de producción y pueden usarse legalmente sin considerarse como residuos, sino como recursos.
- Impone metas de preparación para la reutilización y reciclaje de residuos específicos, con especial énfasis en corrientes de gran volumen como los residuos de construcción y demolición (RCD).
- Impone obligaciones a los estados miembros de la Unión Europea entre ellos esta elaboración de planes de gestión de residuos y campañas de prevención, además busca garantizar que los residuos se gestionen de manera que no pongan en riesgo la salud, el medio ambiente ni calidad de vida de todas las personas.
- Busca asegurar que los aceites usados y los biorresiduos se recojan y traten de forma adecuada.

Los Estados miembros de la Unión Europea están obligados a cumplir con estas directivas mediante la transposición a sus legislaciones nacionales y la elaboración de planes de gestión de residuos acorde con los objetivos comunitarios.

Es importante mencionar que en este documento también se contemplan sanciones efectivas en caso de incumplimiento

En este mismo marco se establecieron objetivos cuantitativos hasta el 2020 los cuales consistían en reciclado y preparación para reutilización de al menos el 50% en peso de papel, metales, plástico y vidrio de residuos domésticos y el reciclado y valorización de al menos el 70% en peso de residuos de construcción y demolición no peligrosos.

Y se establecían principios rectores fundamentales como: quien contamina paga: los costes de gestión deben recaer en el productor inicial, poseedor o fabricante del producto. Establece una responsabilidad ampliada del productor: fabricantes e importadores y estos deben asumir parte de la gestión de los residuos de sus productos. Y la autosuficiencia y proximidad que trata de fomentar redes de instalaciones que permitan tratar residuos cerca de su origen.

Finalmente, suprime las Directivas anteriores sobre residuos (75/439/CEE, 91/689/CEE y 2006/12/CE). Y obliga a los Estados miembros a transponerla a su legislación nacional antes del 12 de diciembre de 2010.

A pesar de que esta disposición es clara y casi no tiene ambigüedades, los reglamentos de cada país según la prioridad de sus políticas y dependiendo de la capacidad técnica e infraestructura es lo que marca la diferencia y por esta razón el porcentaje de residuos de construcción y demolición que se reutilizan siguen siendo bajos y establece las marcadas diferencias entre naciones e incluso entre regiones o ciudades de un mismo país.

2.5.2. Normativas nacionales vinculadas a casos representativos en la Unión Europea

Desde que empecé a investigar el marco legal y normativo para mi tesis, me di cuenta de que en Europa la gestión de RCD no es solo teoría; es un sistema práctico que podríamos aprender en Ecuador.

Aunque la investigación se orienta al contexto europeo general, es útil señalar cómo algunos países han adoptado y adaptado las directrices dictadas por la Unión Europea en sus marcos legales nacionales con diferencias que resaltan las fortalezas y debilidades. Por ejemplo, en España se han desarrollado normativas como:

- Real Decreto 105/2008, que regula la producción y gestión de residuos de construcción y demolición.
- Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados, que incorpora los principios de la Directiva 2008/98/CE a la legislación española.

Estas leyes establecen requisitos para tratamiento, clasificación y destino de residuos de construcción y demolición (RCD), afectando directamente la disponibilidad de áridos reciclados para construcción. Como ingeniero, me parece lógico que obliguen a los agentes a gestionar residuos, porque en Quito vemos cómo la falta de esto lleva a vertederos llenos; en España, con la Guía de Buenas Prácticas (Ayuso et al., 2015), traducen esto en procedimientos operativos, detallando responsabilidades de productores, transportistas y gestores, y criterios para plantas de tratamiento. Esto mejora la homogeneidad, algo que en Europa varía: España es más estricta en separación, mientras que, en el sur, como Italia, hay más flexibilidad regional.

En Alemania, la Ley de Economía Circular y Gestión de Residuos (KrWG) integra todo bajo un marco unificado, complementando requisitos de separación y pretratamiento de RCD. Esto ha permitido altas tasas de recuperación en Länder como Baviera, optimizando cadenas de valorización regional. Desde mi perspectiva, como estudiante de la PUCE, esto es inspirador porque argumenta que la regulación local puede superar barreras; en Alemania, estudios muestran que reciclar hormigón reduce costos en un 15-20% comparado con materiales nuevos (según informes de la Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente, 2022), pero en Ecuador, donde no hay normativas similares, desperdiciamos recursos. Comparado con Quito, donde la construcción informal domina, Alemania resalta cómo la economía circular de la UE impulsa la reutilización, con diferencias entre regiones que ofrecen lecciones para análisis comparativos.

La correcta aplicación del Real Decreto 105/2008 se ve facilitada por la existencia de documentos técnicos que orientan su implementación práctica. Entre ellos, la Guía de Buenas Prácticas para la Gestión y Tratamiento de RCD actúa como un instrumento complementario que traduce los requerimientos legales en procedimientos operativos concretos para los distintos agentes involucrados en la gestión de estos residuos (Ayuso et al., 2015).

Dicho documento desarrolla de forma detallada las responsabilidades del productor, poseedor, transportista y gestor de residuos, así como los criterios técnicos que deben cumplir las plantas de tratamiento autorizadas. De esta manera, se contribuye a una aplicación más homogénea de la normativa y a la mejora de las prácticas de gestión de los RCD en el ámbito español.

Además de la transposición en España con el Real Decreto 105/2008 y la Ley 22/2011, otros países de la UE han creado marcos normativos que promueven la gestión de RCD, su valorización y la recuperación de materiales para procesos productivos. Esta diversidad normativa ofrece un contexto apropiado para identificar países y ciudades representativas para el análisis comparativo del uso de RCD en hormigón estructural.

Por ejemplo, en Países Bajos, reciclan el 95% de RCD, cumpliendo normas EN que permiten usar áridos reciclados en hormigón estructural si pasan pruebas de durabilidad (como resistencia a compresión >30 MPa, según EN 206, 2013). En mi proyecto, argumento que estas diferencias europeas ofrecen un abanico para comparaciones, contrastando con Ecuador, donde la falta de economía circular lleva a importaciones caras. En fin, entender esto me motiva a proponer adaptaciones, como normativas locales inspiradas en la UE, para reducir el impacto ambiental en la construcción.

Alemania - Kreislaufwirtschafts - und Abfallgesetz (Ley de Economía Circular y Gestión de Residuos)

Alemania se caracteriza por contar con un marco legal integrado para la gestión de todos los residuos, incluidos los RCD, bajo la Ley de Economía Circular y Gestión de Residuos (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrWG). Esta normativa traslada a la legislación nacional los principios de la Directiva Marco de Residuos, enfatizando la jerarquía de gestión (prevención, preparación para la reutilización, reciclaje, valorización y eliminación), la obligación de gestionar residuos de forma respetuosa con el medio ambiente y la consideración de los residuos como recursos técnicos.

El KrWG complementa, además, los requisitos de separación, clasificación y pretratamiento de los RCD antes de su disposición o reciclaje en instalaciones especializadas, y promueve la optimización de cadenas de valorización a nivel regional, lo que ha permitido a Alemania alcanzar altas tasas de recuperación material en algunos Länder (estados federados).

Esta ley integra la jerarquía de residuos en su legislación. Normas DIN que son normas que complementan las Normas técnicas europeas y permiten el uso de áridos reciclados en obras públicas. También busca cumplir con tasas de reciclaje de RCD superiores al 80 %, con variaciones regionales (ej. Baviera vs. Renania del Norte-Westfalia).

Este enfoque normativo facilita estudios comparativos entre distintas regiones del mismo país (por ejemplo, Baviera vs. Renania del Norte-Westfalia), aportando un nivel adicional de análisis sobre la relación entre regulación y resultados prácticos de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD).

Francia - Ley Anti-Waste y Economía Circular (Loi Anti-Gaspillage pour une Économie Circulaire)

Francia ha adoptado un enfoque normativo que combina la transposición de la Directiva 2008/98/CE con una legislación propia más amplia denominada Ley Anti-Waste y Economía Circular, diseñada para reducir los residuos, promover la reutilización de materiales y cerrar el ciclo de recursos dentro de su economía. Esta ley establece obligaciones para separar y gestionar adecuadamente los residuos en obras de construcción, impone incentivos para la reutilización de materiales y proporciona directrices para incrementar las tasas de reciclaje e integración de materiales reciclados en nuevos procesos productivos.

Aunque esta normativa no se limita exclusivamente a los RCD, su enfoque en economía circular tiene impacto directo sobre la gestión de residuos del sector construcción y, específicamente, en la adopción de prácticas que favorecen la valorización y reincorporación de RCD como materia prima secundaria. Incentiva el uso de materiales reciclados en proyectos públicos lo que refleja los altos porcentajes de uso de residuos de construcción y demolición. La legislación francesa también impulsa la trazabilidad de los residuos y exige mecanismos de control y reporte, lo que proporciona mayor transparencia en la gestión de RCD y facilita su certificación para uso en hormigón estructural.

Italia – Decreto Legislativo 152/2006 (Código de Medio Ambiente) y Directrices regionales

En Italia, la gestión de residuos, incluidos los RCD, se rige principalmente por el Decreto Legislativo 152/2006, conocido como Código de Medio Ambiente, que incorpora los principios de la Directiva Marco de Residuos en el derecho interno. Esta normativa establece los requisitos para la separación de residuos en origen, su transporte seguro y su valorización en plantas autorizadas.

Adicionalmente, la implementación del Código es acompañada por directrices regionales que precisan las condiciones operativas de tratamiento y valorización para

materiales provenientes de la construcción y demolición, generando variaciones metodológicas entre diferentes regiones (por ejemplo, Toscana, Lombardía y Emilia-Romaña). Esto convierte a Italia en un caso útil para analizar cómo la combinación de normativa nacional y lineamientos regionales influye en los resultados de recuperación y uso de RCD en aplicaciones constructivas.

Otras experiencias relevantes dentro de la UE

Además de los casos ya descritos, países como Países Bajos, Bélgica, Dinamarca y Suecia han desarrollado estrategias y requerimientos específicos que promueven el reciclaje de RCD y la producción de agregados reciclados con criterios de calidad establecidos. Estos marcos pueden incluir:

- Requisitos de separación en obra.
- Certificación de materiales reciclados
- Incentivos para obras públicas que utilicen materiales reciclados
- Metas de reducción y recuperación alineadas con los objetivos comunitarios.

Países Bajos

Es considerado como líder europeo en reciclaje de residuos de construcción y demolición con un porcentaje que supera 90 %. Su normativa nacional exige separación en obra y certificación de áridos reciclados, todo esto en obra para evitar inconsistencias. Su modelo es referencia para la UE en economía circular aplicada a la construcción.

La diversidad normativa entre Estados miembros permite identificar una variedad de prácticas y resultados en la gestión de RCD, lo que enriquece el análisis comparativo de la investigación y ofrece un abanico de experiencias que pueden compararse con mayor profundidad.

Tabla 3: Comparación general de marcos normativos

País	Normativa principal	Enfoque regulatorio	Obligatoriedad de separación y trazabilidad	Impacto en la valorización de RCD
Unión Europea (UE)	Directiva 2008/98/CE (Directiva Marco de Residuos)	Marco común de economía circular y jerarquía de residuos	Establece principios obligatorios para Estados miembros	Define el objetivo del 70 % de reutilización,

				reciclaje o valorización de RCD
España	Real Decreto 105/2008 y Ley 22/2011	Gestión administrativa y control de residuos de obra	Exige estudios de gestión, separación y certificados de gestor autorizado	Favorece la valorización, pero con resultados aún limitados
Alemania	Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)	Economía circular obligatoria y gestión técnica avanzada	Trazabilidad estricta y separación en origen	Altas tasas de reciclaje (>85 %)
Francia	Loi Anti-Gaspillage pour une Économie Circulaire	Economía circular con incentivos y control	Separación obligatoria, trazabilidad y obligaciones para productores	Alta integración de reciclados en obras públicas
Italia	Decreto Legislativo 152/2006 + normas regionales	Marco nacional con ejecución regional	Variable según región, pero obligatorio en zonas industriales	Resultados heterogéneos según infraestructura regional
Países Bajos	Normativa ambiental integrada	Maximización del reciclaje y uso de secundarios	Control y certificación de materiales reciclados	Líder europeo (>90 %)

Autor: Jostein Espada (2025)

2.5.3. Ciclo de vida de los residuos de construcción y demolición en España

En el contexto español, el ciclo de vida de los residuos de construcción y demolición comienza en la fase de generación, que se produce durante las actividades de obra nueva, rehabilitación, mantenimiento y demolición de edificaciones e infraestructuras. En esta etapa se generan materiales de naturaleza diversa, entre los que destacan el hormigón, los áridos, los ladrillos, los metales, la madera, el vidrio y, en menor proporción, residuos peligrosos asociados a pinturas, adhesivos o elementos con contenido químico específico.

Una vez generados, los RCD deben ser objeto de una separación inicial en origen, de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 105/2008, que exige a los productores de residuos su correcta clasificación y entrega a gestores autorizados. Esta separación permite distinguir entre fracciones valorizables y residuos no aprovechables, facilitando su posterior tratamiento.

La siguiente fase corresponde al acarreo y transporte, que se realiza mediante operadores autorizados hacia plantas de transferencia, tratamiento o reciclaje. En estas instalaciones los residuos son sometidos a procesos de cribado, trituración, separación

magnética y clasificación, con el fin de recuperar materiales reutilizables, principalmente áridos reciclados y metales, que pueden reincorporarse a nuevos procesos constructivos.

Los materiales que cumplen los requisitos técnicos y ambientales son destinados a procesos de valorización material, donde sustituyen parcialmente a materias primas vírgenes en obras de infraestructura, rellenos, firmes de carreteras u otros usos constructivos. Esta etapa constituye el núcleo de la economía circular aplicada a los RCD en España.

Finalmente, aquellos residuos que no pueden ser valorizados por razones técnicas, económicas o ambientales son enviados a instalaciones de eliminación controlada, principalmente vertederos autorizados, donde se disponen bajo condiciones reguladas para minimizar su impacto ambiental. De este modo, el ciclo de vida del RCD en España integra generación, separación, tratamiento, valorización y disposición final, conforme al marco normativo vigente y a los principios de la jerarquía de residuos.

Ilustración 3: Reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD)



Autor: Jostein Espada (2025), Ilustración basada en la literatura técnica sobre reciclaje de RCD

2.5.4. Certificados de gestión y trazabilidad de los residuos de construcción y demolición

La valorización de los residuos de construcción y demolición no depende únicamente de los procesos físicos de separación, trituración y clasificación, sino también de la existencia de mecanismos formales que garanticen la trazabilidad, el control y la legalidad de los flujos de residuos a lo largo de todo su ciclo de vida. En este contexto, los certificados

de gestión de residuos constituyen un elemento clave dentro de los sistemas modernos de gestión de RCD en España y en el marco europeo.

En el sistema español, los RCD generados en una obra deben ser entregados a gestores autorizados, quienes están obligados a emitir documentación que acredite el tratamiento aplicado a dichos residuos. Estos documentos, comúnmente conocidos como certificados de gestión, indican el origen del residuo, su tipología, el volumen o masa entregada y el destino final, ya sea valorización, reciclaje o eliminación. De esta manera, el certificado actúa como un vínculo formal entre la fase de generación del residuo y su reincorporación o salida definitiva del sistema productivo.

Dentro del ciclo de vida de un RCD, estos certificados permiten verificar que el material ha seguido una ruta controlada desde su origen en la obra hasta su tratamiento en plantas autorizadas, lo cual resulta fundamental cuando los materiales reciclados, como los áridos procedentes de hormigón triturado, son destinados a nuevos usos en la construcción. En ausencia de este tipo de documentación, los materiales reciclados pierden su condición de producto trazable y quedan relegados a aplicaciones de bajo valor o directamente a la eliminación.

A nivel europeo, la existencia de sistemas de certificación y trazabilidad es uno de los pilares que permiten la armonización de los mercados de materiales reciclados. Países como Alemania, los Países Bajos o Dinamarca han desarrollado marcos normativos en los que los áridos reciclados solo pueden ser comercializados si proceden de plantas que cumplen requisitos técnicos, ambientales y documentales estrictos. En estos sistemas, los certificados de gestión no solo prueban que el residuo fue tratado adecuadamente, sino que también garantizan que el material reciclado cumple con estándares mínimos de calidad, composición y seguridad.

Esta lógica es especialmente relevante cuando se analizan aplicaciones más exigentes, como el uso de áridos reciclados en hormigón estructural. En estos casos, la aceptación técnica del material no depende únicamente de sus propiedades mecánicas, sino también de la certeza de que su procedencia y tratamiento han sido controlados mediante sistemas de gestión certificados. De este modo, los certificados actúan como un puente entre la gestión de residuos y la normativa de productos de construcción, reduciendo la incertidumbre técnica y legal asociada al uso de materiales secundarios. –

Normas técnicas europeas (EN): La EN 206:2013, regula el hormigón en Europa e incluye disposiciones para el uso de áridos reciclados, aunque con límites de sustitución según la clase de exposición. La EN 12620:2002+A1:2008, define los requisitos para áridos destinados a hormigón, incluyendo áridos reciclados de RCD. Estas normas son cruciales porque determinan hasta qué punto los áridos reciclados pueden usarse en hormigón estructural sin comprometer la seguridad.

En el caso de España, aunque el marco normativo exige la gestión documentada de los residuos de construcción y demolición (RCD), la efectividad de estos certificados depende de la capacidad de control, inspección y verificación por parte de las autoridades competentes. Cuando estos mecanismos funcionan de manera adecuada, los certificados de gestión permiten integrar los RCD en cadenas de valor similares a las existentes en los países líderes de la Unión Europea, facilitando la transición desde un modelo basado en la eliminación, hacia un sistema de economía circular basado en la valorización y el reciclaje.

En el ámbito del hormigón estructural, la trazabilidad de los residuos adquiere una relevancia adicional, ya que los áridos reciclados deben cumplir no solo con los requisitos ambientales, sino también con exigencias técnicas asociadas a la seguridad estructural. En este contexto, los sistemas de gestión y certificación se complementan con esquemas de control de producción en planta y con estándares técnicos que regulan la calidad de los productos de construcción.

En la Unión Europea, la comercialización de áridos reciclados destinados a usos estructurales suele estar vinculada al cumplimiento de normas técnicas armonizadas y a la implantación de sistemas de control de producción en fábrica, que permiten verificar de manera continua las propiedades físicas, mecánicas y químicas del material reciclado. Estos mecanismos no sustituyen a los certificados de gestión de residuos, sino que los complementan, actuando como una garantía adicional de que el material reciclado puede ser incorporado de forma segura en aplicaciones exigentes como el hormigón estructural.

De este modo, la certificación y la trazabilidad no solo aseguran la correcta gestión del residuo desde el punto de vista ambiental y legal, sino que también reducen la incertidumbre técnica asociada al uso de materiales secundarios, facilitando su aceptación por parte de proyectistas, constructores y organismos de control.

2.5.5. Economía circular aplicada a los RCD en la Unión Europea

La gestión de los residuos de construcción y demolición en la Unión Europea se enmarca en el enfoque de economía circular, el cual promueve la reducción del consumo de recursos naturales mediante la reincorporación de materiales secundarios al ciclo productivo. En este modelo, los RCD dejan de ser considerados únicamente como un residuo a eliminar y pasan a constituir una fuente potencial de materias primas secundarias para el sector de la construcción.

En el caso específico del hormigón estructural, la economía circular se materializa a través del uso de áridos reciclados procedentes de RCD tratados, que pueden sustituir parcialmente a los áridos naturales sin comprometer el desempeño técnico del material, siempre que se cumplan los requisitos normativos y de calidad establecidos. Este enfoque permite reducir la extracción de recursos vírgenes, disminuir las emisiones asociadas al transporte y contribuir a la reducción de la huella ambiental del sector de la construcción.

La experiencia europea demuestra que la economía circular aplicada a los RCD solo resulta efectiva cuando existe una articulación adecuada entre normativa, infraestructura de tratamiento, sistemas de certificación y demanda real por parte del mercado. En este sentido, el uso de áridos reciclados en hormigón estructural representa uno de los desafíos más relevantes, pero también una de las oportunidades más significativas para avanzar hacia un modelo constructivo más sostenible.

2.5.6. Diagnóstico preliminar sobre la implementación normativa en la Unión Europea

La existencia de marcos normativos específicos o instrumentos legales orientados a la gestión de los residuos de construcción y demolición en varios Estados miembros de la Unión Europea como Alemania, Francia e Italia, evidencia que, más allá del modelo en España con normativas claras, se ha desarrollado una variedad de enfoques nacionales sobre la base común establecida por la Directiva 2008/98/CE. Esta diversidad normativa refleja distintas formas de interpretar, aplicar y operacionalizar los principios de la jerarquía de residuos y de la economía circular en el sector de la construcción, generando escenarios institucionales y técnicos diferenciados entre países y regiones.

Esta variedad de modelos no solo permite ampliar el análisis más allá de un único caso nacional, sino que también proporciona una base sólida para la selección de países y áreas metropolitanas representativas dentro de la investigación, en las que puedan evaluarse

diversas estrategias de implementación, control y valorización de los RCD en aplicaciones como el hormigón estructural. La comparación entre estos marcos nacionales y sus resultados prácticos contribuye a una comprensión más completa de los factores que condicionan el aprovechamiento real de los RCD en Europa.

En este contexto, la experiencia europea muestra que la eficacia de la normativa no depende únicamente de su existencia formal, sino de su articulación efectiva con infraestructura técnica, mecanismos de control, trazabilidad de los residuos y una demanda real por parte del mercado de la construcción. Allí donde estos elementos convergen, los RCD tienden a convertirse en una fuente estable de materiales secundarios para la producción de hormigón y otros productos constructivos; en cambio, cuando alguno de estos componentes es débil o inexistente, persisten tasas bajas de valorización y una percepción de riesgo técnico que limita su utilización. Este diagnóstico refuerza la pertinencia del enfoque comparativo adoptado en esta investigación y justifica el análisis de distintos contextos normativos dentro de la Unión Europea para evaluar su impacto sobre la sostenibilidad del sector de la construcción.

3. Fundamentos Metodológicos

3.1. Diseño Metodológico:

El presente capítulo define la estructura metodológica para lograr los objetivos planteados en el Capítulo 1 y transformar el marco teórico desarrollado en el Capítulo 2 en un proceso de análisis concreto, verificable y replicable. Dado que el objeto de estudio no es un fenómeno físico medido experimentalmente, sino la gestión, normativa y uso técnico de los residuos de construcción y demolición (RCD) para la elaboración de hormigón estructural, dentro de la Unión Europea, la investigación se fundamenta en el análisis sistemático de información documental, técnica y normativa producida por organismos oficiales y literatura científica especializada.

El diseño metodológico se construye bajo la lógica de que los RCD constituyen un sistema sociotécnico regulado: su generación, tratamiento y reutilización no dependen de una sola variable, sino de la interacción entre normas, infraestructura, criterios técnicos y prácticas institucionales. En consecuencia, la investigación no busca medir directamente resistencias mecánicas de materiales ni ejecutar ensayos de laboratorio, sino evaluar las condiciones bajo las cuales dichos materiales pueden ser incorporados de manera efectiva y

segura para la elaboración de hormigón estructural dentro del contexto europeo. En este contexto, el ciclo de vida de los residuos de construcción y demolición, descrito en el Capítulo 2 para el caso español y europeo, se adopta como esquema de referencia para organizar el análisis. Las etapas de generación, separación, tratamiento, valorización y disposición final permiten estructurar la interpretación de la información normativa y técnica recopilada, así como relacionar los marcos regulatorios con los volúmenes de residuos efectivamente reincorporados a la producción de hormigón estructural.

3.1.1. Definición del enfoque, diseño y tipo de investigación del trabajo.

Según el plan del proyecto aprobado, la investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo y descriptivo, basado en el método documental y analítico. Este enfoque es coherente con el objetivo central del estudio, que consiste en analizar el uso de los RCD como material alternativo en hormigón estructural en Europa a partir de marcos normativos, información técnica y experiencias institucionales, y no mediante experimentación directa sobre materiales.

El carácter cualitativo de la investigación se expresa en el análisis interpretativo de documentos normativos, informes técnicos, artículos científicos y directrices institucionales que describen cómo se gestionan, valorizan y utilizan los RCD en distintos Estados miembros de la Unión Europea. Estos documentos permiten identificar patrones, enfoques regulatorios, estrategias de implementación y condicionantes técnicos que no pueden ser reducidos a simples magnitudes numéricas sin perder su significado.

Al mismo tiempo, la investigación tiene un carácter descriptivo, ya que busca caracterizar de manera sistemática la situación actual de la gestión y valorización de los RCD en Europa, describiendo cómo funcionan los sistemas normativos, cómo se estructuran los procesos de tratamiento y qué resultados se obtienen en términos de incorporación de materiales reciclados al hormigón estructural.

El diseño de la investigación es no experimental, puesto que no se manipulan variables ni se interviene directamente sobre los procesos de generación o reciclaje de RCD. En su lugar, se analiza información ya existente, producida por organismos oficiales y estudios científicos, lo que permite construir un diagnóstico sólido basado en evidencia documentada.

Asimismo, el estudio adopta un diseño comparativo, ya que uno de sus ejes centrales es la comparación entre diferentes Estados miembros de la Unión Europea y entre áreas metropolitanas representativas, con el fin de identificar similitudes, diferencias y patrones en la aplicación de la normativa y en los resultados de valorización de los RCD. Este enfoque comparativo es el que permite cumplir el objetivo específico de contrastar la utilización de reciclados en un distrito metropolitano representativo (como Madrid o Barcelona) con otros contextos europeos.

La selección de áreas metropolitanas como unidades de análisis responde a una lógica metodológica clara: las grandes ciudades concentran la mayor parte de la actividad constructiva, generan volúmenes elevados de RCD y disponen, por lo general, de sistemas más desarrollados de gestión de residuos. En este sentido, distritos metropolitanos como Madrid o Barcelona no son casos aislados, sino nodos representativos de los sistemas urbanos europeos, donde confluyen normativa, infraestructura y mercado. Analizar estos espacios permite obtener información que es extrapolable, con las debidas precauciones, a otros entornos urbanos de la Unión Europea con características técnicas similares.

Para este trabajo se escogieron varios países europeos con la intención de observar situaciones contrastantes en la gestión y reutilización de los residuos de construcción y demolición. No se buscó únicamente a los Estados con mejores indicadores, sino también aquellos donde el proceso de incorporación de estos materiales al sector del hormigón todavía presenta dificultades. Alemania y los Países Bajos se tomaron como referentes por el alto grado de madurez alcanzado en materia de reciclaje y por los sistemas de control de calidad aplicados a los áridos reutilizados. En cambio, España e Italia permiten analizar contextos donde, a pesar de contar con marcos regulatorios formales, persisten problemas asociados a la infraestructura disponible y a la aceptación del mercado. Francia y Bélgica se incluyeron por el peso que han dado en los últimos años a la trazabilidad de los residuos y a la separación en origen dentro de las obras. Considerar este conjunto de casos facilita examinar, desde distintas realidades, cómo las políticas públicas y los mecanismos de control influyen en la valorización de los RCD y en su empleo dentro del hormigón estructural.

3.1.2. Definición de métodos, técnicas y tipo de investigación del trabajo.

El método principal de la investigación es el documental, aplicado de manera sistemática a fuentes primarias y secundarias europeas. Estas fuentes incluyen, principalmente, la Directiva 2008/98/CE, las normativas nacionales de Estados miembros

seleccionados, informes de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), documentos de la Comisión Europea, publicaciones del Joint Research Centre (JRC) y artículos científicos indexados en bases de datos académicas como Scopus y Web of Science.

La recolección de información se realizó mediante una búsqueda estructurada de documentos en repositorios institucionales y bases de datos académicas, utilizando palabras clave en español e inglés relacionadas con residuos de construcción y demolición, recycled aggregates, construction waste management, circular economy y structural concrete. Esta búsqueda se orientó específicamente al contexto europeo, de acuerdo con el alcance definido en el Capítulo 1.

Una vez identificadas las fuentes relevantes, se procedió a la selección crítica de documentos en función de su pertinencia temática, actualidad, respaldo institucional y relevancia para los objetivos de la investigación. Se priorizaron documentos oficiales de la Unión Europea y estudios científicos que analizaran la gestión, valorización y uso técnico de los RCD en aplicaciones estructurales.

Posteriormente, la información fue sometida a un proceso de análisis y clasificación temática, en el que los contenidos se organizaron en categorías relacionadas con:

- a) generación y composición de los RCD
- b) marcos normativos y regulatorios
- c) procesos de tratamiento y valorización, y
- d) aplicaciones de los áridos reciclados en hormigón estructural.

Esta clasificación permitió vincular de manera directa la información recopilada con los objetivos específicos de la investigación.

Las estadísticas oficiales de reciclaje de RCD empleadas en este estudio se basan en los registros de certificados de gestión y en los reportes obligatorios de las plantas de tratamiento a las autoridades ambientales. Por tanto, los porcentajes de reciclaje analizados representan flujos reales de residuos controlados y trazados dentro del sistema europeo de gestión.

El componente comparativo del método se operacionalizó mediante la identificación de Estados miembros y áreas metropolitanas con marcos normativos y sistemas de gestión suficientemente documentados, como España, Alemania, Francia e Italia, junto con

experiencias relevantes de países como Países Bajos y Bélgica. En el caso español, Madrid y Barcelona se utilizan como áreas metropolitanas de referencia por su peso en la generación de RCD, la existencia de plantas de tratamiento y la disponibilidad de información pública sobre flujos de residuos y políticas de gestión.

Tabla 4: Instrumentos normativos específicos para RCD

País	Separación	Certificación	Uso obligatorio o incentivado de reciclados	Control del destino final
UE	Recomendado por jerarquía de residuos	Exigido indirectamente	No obligatorio	Mediante reportes nacionales
España	Obligatoria (RD 105/2008)	Sí	No obligatorio	Certificados de gestión
Alemania	Obligatoria	Sí	Frecuente en obra pública	Alta trazabilidad
Francia	Obligatoria	Sí	Incentivos y requisitos en obra pública	Control estatal reforzado
Italia	Obligatoria (variable por región)	Sí	Limitado	Control regional
Países Bajos	Obligatoria	Sí	Uso extendido en obra pública	Control técnico y documental

Autor: Jostein Espada (2025)

La comparación no busca establecer rankings ni mediciones absolutas, sino identificar cómo diferentes configuraciones normativas e institucionales influyen en la posibilidad real de incorporar RCD como agregados en hormigón estructural. Esta aproximación permite comprender por qué, bajo un mismo marco europeo, algunos territorios logran mayores niveles de valorización que otros.

En Europa, la utilización de áridos reciclados en hormigón no se decide de forma arbitraria, sino que está condicionada por un conjunto de normas técnicas que buscan asegurar un comportamiento estructural equivalente al del material convencional. Entre las más citadas se encuentran la EN 206:2013 y la EN 12620:2008, las cuales establecen exigencias relacionadas con la composición del hormigón, los límites de reemplazo de los agregados naturales y los controles de calidad que deben cumplirse antes de autorizar su uso en obra. A partir de estos marcos técnicos, la presente investigación construye su análisis comparativo, tomando dichas referencias como base para valorar hasta qué punto los países

seleccionados han logrado incorporar el reciclaje de RCD sin comprometer la seguridad ni la durabilidad de las estructuras. De esta manera, el estudio se mantiene alineado con los criterios técnicos oficialmente aceptados dentro del contexto europeo.

Finalmente, el método analítico integra los resultados del análisis documental y comparativo para construir un diagnóstico técnico y normativo que explica las condiciones que favorecen o limitan la valorización de los RCD en Europa. Este diagnóstico es el que alimenta directamente el Capítulo 4, donde se presentan y discuten los resultados de la investigación, asegurando la coherencia entre el diseño metodológico y los hallazgos obtenidos.

De este modo, el Capítulo 3 no solo define cómo se realiza la investigación, sino que establece el puente lógico y técnico que permite interpretar los datos y análisis que se presentan posteriormente, garantizando que las conclusiones respondan de manera directa a los objetivos planteados al inicio del proyecto.

Tabla 5: Operacionalización de las variables de la investigación

Variable	Tipo	Descripción operativa	Indicador	Descripción del indicador	Fuente Principal	Técnica de análisis
Impacto de la gestión de residuos en Europa	Independiente	Hace referencia al conjunto de políticas públicas, estrategias regulatorias y prácticas técnicas implementadas en la Unión Europea y en sus Estados miembros para la gestión y valorización de los residuos de construcción y demolición (RCD), considerando su influencia en la sostenibilidad del sector, la reducción de emisiones asociadas a la producción de materiales y el aprovechamiento de recursos dentro de los procesos constructivos.	Normativas y ordenanzas	Existencia, alcance y grado de obligatoriedad de directivas europeas y disposiciones nacionales que regulan la prevención, separación en obra, reciclaje y valorización de RCD, así como la exigencia de gestores autorizados y sistemas de trazabilidad.	Directiva 2008/98/CE; Real Decreto 105/2008; Ley 22/2011; informes EEA; Comisión Europea	Análisis documental y comparativo
Volúmenes de residuos reutilizados y reciclados en Europa	Dependiente	Representa la proporción de RCD generados en el sector de la construcción que son reincorporados a procesos productivos, particularmente como áridos reciclados para la fabricación de hormigones y otros materiales estructurales, en relación con el volumen total de residuos producidos dentro del ámbito de la Unión Europea.	Porcentaje de residuos de construcción reutilizados o reciclados	Tasa de valorización material de RCD expresada en porcentaje (%), reportada por organismos oficiales europeos y utilizada como indicador del grado de efectividad de los sistemas de gestión sostenible de residuos en los distintos Estados miembros.	Eurostat; Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA); Comisión Europea	Análisis estadístico descriptivo y comparación regional

Autor: Jostein Espada (2025)

Con el propósito de asegurar la coherencia entre la hipótesis planteada, los objetivos específicos y el diseño metodológico del estudio, la investigación operacionaliza sus variables a partir de indicadores observables en fuentes documentales oficiales y literatura científica especializada. Dado el carácter cualitativo–descriptivo y comparativo del trabajo, los indicadores seleccionados corresponden a elementos normativos que permiten evaluar la relación entre los sistemas de gestión de residuos de construcción y demolición en la Unión Europea y los niveles de reutilización y reciclaje reportados para el sector.

4. Presentación de resultados

4.1. Presentación de resultados:

El presente capítulo expone los resultados obtenidos a partir de la aplicación del diseño metodológico definido en el Capítulo 3, basado en la revisión sistemática, clasificación y análisis documental de normativa, informes técnicos y fuentes institucionales de la Unión Europea y de Estados miembros seleccionados. De acuerdo con el enfoque cualitativo y descriptivo además del método analítico adoptado, los resultados se organizan en función de las variables e indicadores establecidos: el impacto de la gestión de residuos en Europa, representado por los marcos normativos y de política pública, y los volúmenes de residuos de construcción y demolición reutilizados y reciclados, expresados a través de porcentajes y datos oficiales de recuperación.

Los resultados se interpretan dentro del ciclo de vida de los RCD, considerando que las tasas de reciclaje y valorización reflejan el desempeño de las etapas de tratamiento y reincorporación de materiales al sistema productivo. De este modo, los porcentajes y volúmenes presentados no solo representan cifras aisladas, sino indicadores del grado en que los residuos de construcción y demolición son efectivamente reintegrados al ciclo productivo de la construcción, particularmente en forma de áridos reciclados para hormigón.

La evidencia recopilada confirma que los residuos de construcción y demolición constituyen el flujo de residuos más voluminoso en la Unión Europea. Según datos consolidados de la Agencia Europea de Medio Ambiente y de la Comisión Europea, los RCD representan aproximadamente entre el 25 % y el 35 % del total de residuos generados anualmente en el conjunto de los Estados miembros, superando ampliamente a los residuos municipales y a otras corrientes industriales. Este dato adquiere especial relevancia en el contexto del sector de la construcción, donde la demanda de materiales vírgenes, en particular áridos naturales, sigue siendo elevada, lo que incrementa la presión sobre recursos no renovables y ecosistemas.

En relación con el indicador normativo, se observa que la Directiva 2008/98/CE constituye el eje central de la gestión de RCD en Europa. Esta norma establece de manera vinculante la jerarquía de residuos y fija como objetivo que, al menos, el 70 % en peso de los RCD no peligrosos sea preparado para la reutilización, reciclaje u otras formas de valorización material. La transposición de esta directiva a las legislaciones nacionales ha dado lugar a sistemas regulatorios que, aunque diversos en su implementación, comparten

principios comunes: separación en origen, trazabilidad de residuos, obligación de entrega a gestores autorizados y promoción del reciclaje como opción prioritaria frente al vertido.

Los resultados obtenidos para los países analizados muestran diferencias significativas en la efectividad de la aplicación de estos marcos normativos. En España, por ejemplo, el Real Decreto 105/2008 y la Ley 22/2011 han establecido obligaciones claras para los productores de residuos de construcción, incluyendo la elaboración de estudios de gestión de RCD en proyectos de obra y la exigencia de justificar su destino final. En áreas metropolitanas como Madrid y Barcelona, donde existe una alta concentración de actividad constructiva y una infraestructura desarrollada de plantas de tratamiento, estas disposiciones han favorecido el incremento sostenido de la valorización de residuos inertes, especialmente hormigón, ladrillo y cerámica, que son transformados en áridos reciclados para aplicaciones constructivas.

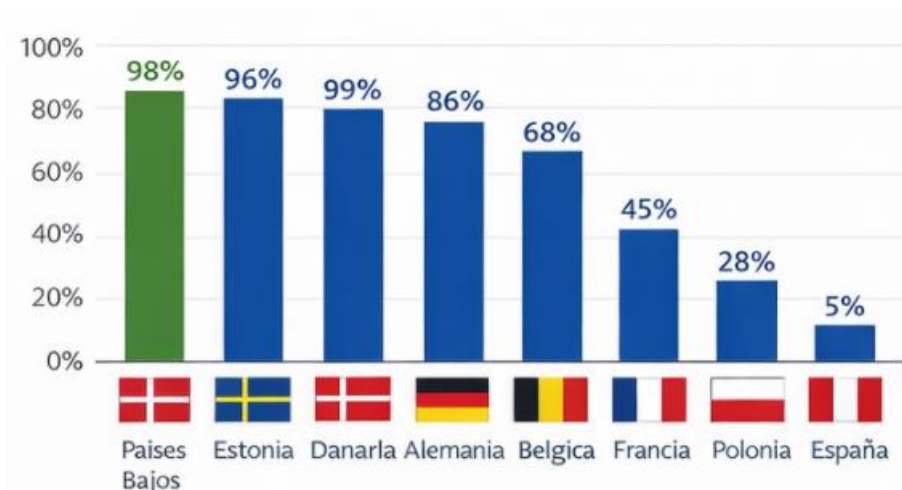
En Alemania, la aplicación de la Ley de Economía Circular (Kreislaufwirtschaftsgesetz) ha permitido consolidar un sistema altamente estructurado de recuperación de RCD, con tasas de reciclaje que en varias regiones superan el 85 %. Los informes técnicos del sector muestran que una parte sustancial de los residuos minerales de demolición se procesa en instalaciones especializadas que producen áridos reciclados certificados, utilizados tanto en capas de base de carreteras como, de manera creciente, en mezclas de hormigón estructural para usos no críticos. Esta disponibilidad estable de materiales secundarios es un resultado directo de la combinación entre regulación estricta, control institucional y demanda del mercado.

Francia presenta un patrón similar, impulsado por la Ley de Economía Circular y Anti-Desperdicio, que ha introducido obligaciones de separación en obra y de trazabilidad de residuos, así como incentivos para el uso de materiales reciclados en proyectos públicos. Los datos recopilados por organismos franceses muestran que el sector de la construcción es uno de los principales contribuyentes a las tasas nacionales de reciclaje, particularmente en lo que respecta a residuos minerales, que constituyen la fracción dominante de los RCD.

Italia, a través del Decreto Legislativo 152/2006 y de sus directrices regionales, ha desarrollado un sistema mixto donde la eficacia de la gestión varía según la región. Sin embargo, en regiones como Lombardía y Emilia-Romaña se registran tasas de recuperación comparables a las de los países del norte de Europa, gracias a la presencia de redes de plantas

de tratamiento y a una normativa regional que promueve activamente la valorización de RCD en productos de construcción.

Ilustración 4: Tasas de recuperación de residuos de construcción y demolición países europeos



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2022) y European Environment Agency (2020), en el marco de la Directiva 2008/98/CE.

En lo que respecta a los volúmenes de residuos reutilizados y reciclados, los resultados muestran que, a nivel de la Unión Europea, el objetivo del 70 % de valorización de RCD establecido por la Directiva Marco de Residuos ha sido alcanzado o superado por varios Estados miembros. Países como Países Bajos, Bélgica, Alemania y Dinamarca reportan porcentajes de recuperación de RCD que oscilan entre el 80 % y el 95 %, mientras que otros Estados presentan valores más moderados debido a limitaciones en infraestructura, control o demanda del mercado. En las áreas metropolitanas seleccionadas, como Madrid, Barcelona, Berlín y París, la concentración de obras y la existencia de plantas de reciclaje favorecen porcentajes de valorización superiores al promedio nacional.

Estos resultados evidencian que, allí donde existen marcos normativos sólidos y sistemas de gestión operativos, los RCD dejan de ser un pasivo ambiental para convertirse en una fuente relevante de materiales secundarios, particularmente áridos reciclados, que pueden incorporarse a la producción de hormigón y otros materiales estructurales.

A partir de este punto se integra la masa empírica cuantitativa que refuerza el indicador de la variable dependiente.

La Unión Europea está compuesta por 27 Estados miembros (UE-27). Sin embargo, para el análisis cuantitativo de las tasas de reciclaje de residuos de construcción y demolición no se trabaja con los 27 países de forma individual, sino con un grupo de Estados que cuentan con información oficial completa, comparable y reportada de manera sistemática ante la Comisión Europea y la Agencia Europea de Medio Ambiente. Por esta razón se seleccionaron países como Países Bajos, Alemania, Dinamarca, Francia, Bélgica, Austria, Lituania, Polonia, España, Portugal y Grecia. Estos Estados permiten cubrir realidades muy distintas dentro de la UE, desde sistemas de gestión altamente consolidados hasta contextos con niveles bajos o intermedios de valorización de RCD, lo que hace posible analizar las diferencias existentes sin perder consistencia ni fiabilidad en los datos.

Diversos estudios comparativos sobre la UE-27 estiman que el porcentaje promedio de reciclaje de residuos de construcción y demolición en el conjunto de la Unión Europea se sitúa en torno al 46 %, valor que oculta una elevada heterogeneidad entre Estados miembros. Este promedio comunitario constituye una referencia fundamental para interpretar el desempeño relativo de cada país y evaluar la efectividad de sus sistemas de gestión.

Ilustración 5: Mapas de tasas de reciclaje de RCD en la Unión europea



Fuente: Elaboración a partir de datos de Eurostat (2022) y European Environment Agency (2020), en el marco de la Directiva 2008/98/CE.

Para la comparación entre Estados miembros se utilizaron datos oficiales de recuperación y reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) reportados por los

países a Eurostat y a la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), en el marco de la Directiva 2008/98/CE sobre residuos. Estos datos se basan en los registros de los gestores autorizados, quienes están obligados a declarar las cantidades de RCD recogidas, tratadas, recicladas, valorizadas o destinadas a vertedero mediante certificados de gestión y documentos de trazabilidad. A efectos de este estudio, las plataformas Interreg Europe y WisdomLib fueron empleadas como fuentes secundarias de compilación y visualización, ya que integran y estandarizan la información procedente de Eurostat, la EEA y los sistemas nacionales de información sobre residuos (European Commission, 2022; EEA, 2022; CEDEX, 2022).

Sobre esta base estadística homogénea y comparable, cuando se analizan los datos por país se observa una dispersión extremadamente amplia en las tasas de reciclaje y recuperación material de los RCD dentro de la Unión Europea. Estados como los Países Bajos presentan tasas cercanas al 98 %, Dinamarca alrededor del 94 %, Estonia en torno al 92 % y Alemania aproximadamente el 86 %, lo que refleja sistemas de gestión altamente consolidados, una fuerte trazabilidad de los residuos y mercados maduros de materiales reciclados. En contraste, Bélgica se sitúa alrededor del 68 %, Austria y Lituania cerca del 60 %, Francia alrededor del 45 % y Polonia en torno al 28 %, mientras que países como España apenas alcanzan valores próximos al 14 %, y Portugal y Grecia presentan tasas inferiores al 10 %. Estas diferencias han sido documentadas en informes técnicos y conjuntos de datos oficiales de la Comisión Europea, Eurostat y la Agencia Europea de Medio Ambiente, que muestran que, aunque la media de la UE-27 se sitúa en torno al 46 %, la heterogeneidad entre Estados miembros es muy elevada (European Commission, 2022; EEA, 2022; CEDEX, 2022; Interreg Europe, 2022).

Tabla 6: Relación entre marco normativo y resultados de reciclaje de RCD

País	Marco normativo e infraestructura de reciclaje	Tasa de reciclaje de RCD (%)	Disponibilidad de áridos reciclados para hormigón estructural
Países Bajos	Sistema integrado de economía circular, trazabilidad completa, mercado consolidado de áridos reciclados	~98	Muy alto
Dinamarca	Regulación estricta, separación en origen y uso obligatorio de reciclados en obra pública	~94	Muy alto
Estonia	Marco regulatorio fuerte y control técnico de plantas de reciclaje	~92	Alto
Alemania	Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG), control normativo y mercado maduro de reciclaje	~86	Alto

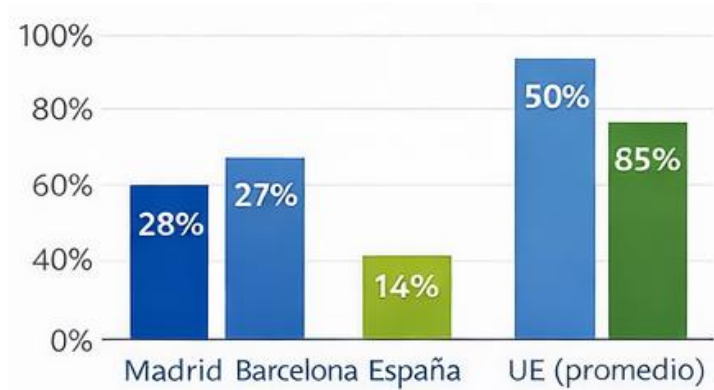
Bélgica	Sistema normativo intermedio con infraestructura técnica consolidada	~68	Medio - Alto
Austria	Marco normativo intermedio con buena infraestructura, pero menor control	~60	Medio
Lituania	Regulación intermedia y desarrollo parcial de plantas de reciclaje	~60	Medio
Francia	Ley Anti-Waste, alto desarrollo normativo pero baja implementación efectiva	~45	Medio
Polonia	Marco normativo débil y baja capacidad de reciclaje	~28	Bajo
España	Transposición formal de la normativa europea, baja implementación práctica	~14	Muy bajo
Portugal	Marco normativo débil y escasa infraestructura de reciclaje	~<10	Muy bajo
Grecia	Marco normativo débil y alta dependencia del vertido	~<10	Muy bajo
Promedio UE		~46 %	~: aproximadamente <: menor a

Autor: Jostein Espada (2026)

Esta distribución pone en evidencia que la Unión Europea no constituye un bloque uniforme en términos de gestión de RCD, sino un espacio donde coexisten sistemas altamente eficientes junto con otros aún en inicio o proceso. Desde el punto de vista del indicador de la variable dependiente, estas diferencias reflejan de manera directa el grado de efectividad con que cada país logra reincorporar los residuos al ciclo productivo.

El caso de España resulta particularmente ilustrativo. Se estima que el país genera aproximadamente 37 millones de toneladas de RCD al año, de las cuales solo alrededor del 27 % se valorizan como áridos reciclados aptos para aplicaciones como rellenos, capas granulares o determinados tipos de hormigón. Esto implica que una fracción mayoritaria de los residuos minerales continúa siendo destinada a vertederos o usos de baja calidad, a pesar de la existencia de un marco normativo alineado con las directivas europeas.

Ilustración 6: Valorización de Residuos de construcción y demolición (RCD) en áreas metropolitanas vs promedio nacional y europeo



Fuente: Creada a partir de los datos de Eurostat (2022) y European Environment Agency (2020)

Desde una perspectiva metropolitana, ciudades como Madrid y Barcelona concentran una parte sustancial de estos flujos de RCD, lo que las convierte en nodos estratégicos para la implementación de políticas de valorización. La presencia de plantas de reciclaje, junto con ordenanzas municipales y planes regionales de gestión de residuos, ha permitido que estas áreas urbanas presenten desempeños superiores al promedio nacional, aunque aún lejos de los niveles alcanzados por países líderes como Alemania o los Países Bajos.

Desde mi análisis de los datos, veo que el uso del hormigón reciclado varía mucho entre países de la UE. En Alemania, aplican áridos reciclados en bases de carreteras y hormigón estructural no crítico, apoyados en normas DIN que garantizan calidad. En Países Bajos, con certificación obligatoria, integran estos materiales en infraestructuras públicas y prefabricados, llegando a más del 90% de reciclaje. España se queda en rellenos y capas viales, con poco uso en hormigón estructural por desconfianza del mercado. Francia, con su normativa, los incluye en proyectos públicos, sobre todo prefabricados y urbanos. Italia depende de la región: en Lombardía y Emilia-Romaña van a hormigón estructural y prefabricados, pero en otras zonas se usan en aplicaciones menos técnicas. Como ingeniero, critico que la confianza del mercado frene el potencial; en Ecuador, ni siquiera pensamos en esto, lo que resalta la brecha. Esto me motiva a argumentar que normativas como las DIN podrían adaptarse aquí para mejorar la sostenibilidad.

4.2. Análisis de resultados

El análisis de los resultados obtenidos permite establecer una relación directa entre el impacto de la gestión de residuos en Europa, expresado a través de sus marcos normativos y políticas públicas, y los volúmenes de RCD que son efectivamente reutilizados y reciclados en el sector de la construcción. Esta relación confirma la hipótesis implícita en los objetivos de la investigación: que la existencia y aplicación de normativas coherentes, exigentes y operativas constituye un factor determinante para la valorización real de los residuos.

La evidencia comparativa entre los Estados miembros analizados muestra que las tasas elevadas de reciclaje no son un resultado espontáneo del mercado, sino la consecuencia de sistemas regulatorios que obligan a separar, controlar y valorizar los RCD. En países como Alemania y los Países Bajos, la obligación de tratar los residuos de construcción y demolición en plantas autorizadas, junto con la exigencia de certificados de gestión y el cumplimiento de estándares técnicos para los áridos reciclados, ha permitido la creación de cadenas de suministro estables de materiales secundarios. Estos instrumentos garantizan la trazabilidad de los residuos, reducen la incertidumbre técnica sobre la calidad de los materiales recuperados y facilitan que el hormigón fabricado con áridos reciclados sea aceptado en aplicaciones estructurales dentro de los límites normativos definidos.

Las diferencias territoriales son claras: Países Bajos y Alemania muestran que la combinación de normativa estricta, certificación y demanda del mercado permite el uso extendido en hormigón estructural; mientras que España e Italia reflejan cómo la falta de infraestructura y confianza limita su aplicación a usos viales o rellenos. Francia, por su parte, avanza en la integración de áridos reciclados en proyectos públicos, aunque todavía enfrenta barreras de mercado. Al comparar las experiencias europeas, se observa que el reciclaje de hormigón ofrece beneficios técnicos relevantes, sobre todo en la disminución de la huella de carbono y en la posibilidad de conservar niveles de resistencia similares a los del hormigón tradicional cuando el reemplazo de áridos naturales se mantiene en rangos moderados, cercanos al treinta por ciento.

En varios países esto se ha traducido en un menor consumo de recursos vírgenes y en una reducción de la presión sobre ríos y canteras, especialmente en contextos donde los áridos naturales comienzan a escasear. No obstante, el panorama no es completamente uniforme. En la práctica siguen apareciendo obstáculos relacionados con la heterogeneidad del material reciclado, su mayor absorción de agua y, sobre todo, con la desconfianza de

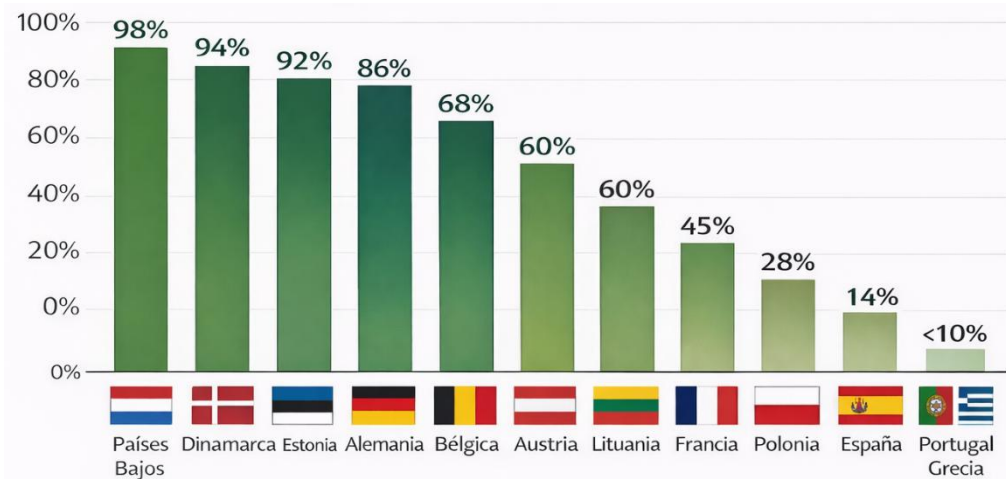
algunos actores del sector, que aún perciben estos productos como de menor calidad. Estas reservas influyen directamente en su incorporación a obras con altas exigencias estructurales.

Las diferencias entre territorios son ilustrativas. Países Bajos y Alemania muestran que, cuando existe una combinación efectiva de regulación estricta, sistemas de certificación consolidados y un mercado dispuesto a demandar estos materiales, el uso en hormigón estructural puede generalizarse. En contraste, España e Italia evidencian que la carencia de infraestructura suficiente y la falta de confianza técnica siguen relegando su aplicación a pavimentos o rellenos. Francia se sitúa en una posición intermedia: ha impulsado su empleo en obras públicas y proyectos piloto, aunque todavía enfrenta barreras relacionadas con la aceptación del mercado y la estandarización de los procesos.

En contraste, en Latinoamérica el reciclaje de RCD se encuentra en fases iniciales. Estudios regionales estiman que apenas se recupera alrededor del 30 al 35 % de los escombros de construcción, principalmente para rellenos y pavimentos, debido a la escasa inversión en plantas de tratamiento y la falta de normativas claras. En Ecuador, la generación de RCD es elevada, pero la gestión es mínima: gran parte de los residuos se disponen en quebradas o botaderos informales, sin procesos de separación ni trazabilidad. La literatura señala que la aplicación de estrategias de economía circular en el país requiere una planificación territorial integrada y el fortalecimiento de normativas urbanísticas.

Esta comparación evidencia que, mientras Europa avanza hacia la economía circular con tasas de reciclaje superiores al 70 % en varios Estados miembros, Latinoamérica y Ecuador aún enfrentan barreras institucionales y técnicas que limitan la valorización de los RCD en hormigón estructural.

Ilustración 7: Tasas de reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) en países seleccionados de la UE



Autor Jostein Espada (2025)

Ilustración creada a partir de los porcentajes de tasa de reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) en países seleccionados de la UE.

Desde una perspectiva cuantitativa, la comparación entre países revela brechas extremadamente amplias. Alemania, con una tasa de reciclaje cercana al 86 %, presenta un desempeño aproximadamente seis veces superior al de España, cuya tasa ronda el 14 %. Si España alcanzara niveles similares a los de Alemania, podría valorizar más de 25 millones de toneladas adicionales de RCD al año, lo que tendría un impacto significativo tanto en la reducción de vertidos como en la disponibilidad de materiales reciclados para la industria del hormigón.

Ilustración 8: Incremento potencial de valorización de residuos de construcción y demolición (RCD) en España



Autor: Jostein Espada (2026), elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2022) y European Environment Agency (2020), en el marco de la Directiva 2008/98/CE.

Del mismo modo, la distancia entre el promedio de la UE-27, situado alrededor del 46 %, y los valores españoles pone de manifiesto una brecha de más de 30 puntos porcentuales, lo que evidencia que, pese a la existencia de un marco normativo formalmente alineado con la Unión Europea, la implementación operativa y la madurez del mercado de reciclaje continúan siendo factores limitantes.

Desde el punto de vista técnico, los estudios científicos europeos revisados en los capítulos anteriores encuentran respaldo en los datos de gestión: la disponibilidad de áridos reciclados de calidad es una condición necesaria para su incorporación en el hormigón estructural. Allí donde los RCD se gestionan de manera deficiente o se destinan mayoritariamente a vertederos, esta posibilidad se ve drásticamente reducida, independientemente de la viabilidad técnica.

El análisis también confirma el papel estratégico de las áreas metropolitanas seleccionadas como casos representativos, como Madrid y Barcelona. Estas ciudades concentran grandes volúmenes de generación de RCD y cuentan con infraestructura avanzada de tratamiento, por lo que funcionan como laboratorios reales de la política europea de economía circular. Sus resultados, aunque aún desiguales frente a los países líderes, muestran que una gestión regional activa puede mejorar de manera sustancial los niveles de valorización.

Tabla 7: Aplicación real del modelo de economía circular en los RCD

País	Marco legal de economía circular	Nivel real de circularidad en RCD	Uso de áridos reciclados en construcción
Países Bajos	Política nacional integrada de economía circular	Muy alto	Uso generalizado en infraestructuras y edificación
Dinamarca	Legislación ambiental y de residuos integrada	Alto	Uso amplio en obras públicas
Alemania	Integrada en Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)	Alto	Uso regular en capas estructurales y hormigón no estructural
Bélgica	Marco regulatorio intermedio	Medio	Uso parcial
Francia	Ley “Loi Anti-Gaspillage pour une Économie Circulaire”	Medio	Uso creciente pero aún limitado
Italia	Parcial	Medio	Depende de la región

España	Transposición formal de la normativa europea, baja implementación práctica	Bajo	Uso muy limitado y fragmentado
Portugal	Marco normativo débil	Muy bajo	Uso residual
Grecia	Marco normativo débil	Muy bajo	Uso residual

Autor: Jostein Espada (2026)

En conjunto, los resultados analizados confirman que la gestión normativa de los RCD en la Unión Europea tiene un impacto directo, medible y significativo sobre los volúmenes de residuos que se reincorporan al ciclo productivo. La evidencia porcentual, la comparación país a país y la magnitud física de los flujos de residuos respaldan de manera consistente la hipótesis de que una adecuada gestión y valorización de los RCD permite su incorporación como material alternativo en la producción de hormigones estructurales, contribuyendo de forma efectiva a la sostenibilidad del sector de la construcción en Europa.

A partir del análisis comparativo realizado, considero que el reciclaje de hormigón en Europa presenta ventajas técnicas claras, sobre todo en términos de reducción de la huella de carbono y mantenimiento de resistencias mecánicas similares al hormigón convencional cuando la sustitución de áridos naturales no supera aproximadamente el 30 %. Al mismo tiempo, aparecen limitaciones que todavía condicionan su aplicación, entre ellas la variabilidad en la calidad del material reciclado, su mayor absorción de agua y la percepción de menor valor en determinados sectores del mercado. Estos aspectos explican por qué, incluso en países con marcos regulatorios avanzados, el uso del hormigón reciclado no se ha generalizado por completo. En contextos como el ecuatoriano, estas discusiones técnicas apenas comienzan a incorporarse al ámbito profesional y académico.

Dentro de Europa las diferencias territoriales son evidentes. Los Países Bajos y Alemania suelen citarse como ejemplos de aplicación más amplia en hormigón estructural, apoyados en normativas estrictas, esquemas de certificación y una demanda consolidada por parte del mercado. En cambio, en España e Italia el avance ha sido más moderado, en parte por la disponibilidad desigual de plantas de tratamiento y por la cautela de proyectistas y promotores, lo que ha limitado el uso de estos materiales a capas de firmes o rellenos. En América Latina, el reciclaje de RCD continúa en etapas tempranas. Diversos trabajos señalan que la región recupera alrededor del 34 % de los escombros de construcción, principalmente para aplicaciones de baja exigencia, debido a la falta de inversión en infraestructura y a marcos normativos todavía poco desarrollados. En Ecuador, aunque la generación de RCD es elevada, la gestión sigue siendo reducida, con disposición frecuente en botaderos

informales y ausencia de procesos sistemáticos de separación y trazabilidad. En la mayoría de los estudios revisados se insiste en que la incorporación de estrategias de economía circular en el país pasa por una mejor planificación territorial y por el fortalecimiento de la normativa urbana y ambiental.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

La presente investigación tuvo como objetivo general analizar el uso de los residuos de construcción y demolición (RCD) como material alternativo en la elaboración de hormigón estructural en Europa, evaluando su viabilidad técnica, ambiental y las condiciones de gestión que permiten su aprovechamiento. A partir del análisis documental, normativo y comparativo desarrollado, se puede afirmar que este objetivo fue cumplido de manera consistente, al demostrarse que la valorización de los RCD no solo es técnicamente posible, sino que depende de manera directa de la existencia de sistemas de gestión y marcos regulatorios eficaces. Este incremento se interpreta como una mejora en la etapa de valorización del ciclo de vida del RCD, ya que un mayor porcentaje de material recuperado implica una mayor reincorporación de residuos al proceso productivo.

En relación con el primer objetivo específico, referido a la identificación de los conceptos fundamentales de los RCD, su origen, clasificación y problemáticas asociadas a su gestión en Europa, los resultados evidencian que los residuos de construcción y demolición constituyen el mayor flujo de residuos sólidos dentro de la Unión Europea. Su composición mayoritariamente mineral (hormigón, áridos, cerámicos y mampostería) los convierte en un recurso con alto potencial de reciclaje, pero también en una fuente significativa de impactos ambientales cuando son mal gestionados. La investigación permitió establecer con claridad que la problemática principal no es la viabilidad técnica del reciclaje, sino la manera en que los residuos son separados, clasificados, tratados y reintegrados al sistema productivo. Estos resultados confirman que el ciclo de vida de los RCD no es un esquema teórico abstracto, sino un proceso operativo que, cuando se gestiona de forma adecuada en sus distintas etapas, permite transformar los residuos en insumos reales para la producción de hormigón estructural.

La comparación entre los diferentes escenarios tanto previos como posteriores a la implementación se realiza tomando como referencia las etapas finales del ciclo de vida de

los residuos de construcción y demolición, en particular las fases de transporte, tratamiento y valorización. Los cambios observados en los indicadores de reciclaje y aprovechamiento de materiales reflejan la medida en que el sistema es capaz de convertir residuos en insumos útiles para la producción de hormigón estructural, reduciendo la dependencia de materias primas vírgenes.

El segundo objetivo específico, orientado a recopilar y comparar información sobre los volúmenes de utilización de reciclados en áreas metropolitanas representativas y en distintos Estados miembros de la UE, también fue alcanzado. El análisis mostró que existen diferencias extremadamente marcadas entre países y regiones. Mientras Estados como Alemania, Países Bajos y Dinamarca presentan tasas de reciclaje superiores al 80 %, países como España, Portugal y Grecia se sitúan muy por debajo del promedio europeo. Estas brechas no solo son porcentuales, sino también físicas, ya que implican decenas de millones de toneladas de residuos que podrían valorizarse y que actualmente se destinan a vertedero o a usos de bajo valor. En el caso de áreas metropolitanas como Madrid y Barcelona, se constató que, aunque presentan desempeños mejores que el promedio nacional, aún están lejos de los niveles alcanzados por los países líderes de la Unión Europea.

Respecto al tercer objetivo específico, relativo al análisis de la situación normativa y de gestión de los RCD en Europa, la investigación confirmó que la Directiva Marco de Residuos y las leyes nacionales derivadas constituyen el principal motor de la valorización. Allí donde existen normativas claras, mecanismos de control, trazabilidad de residuos y estándares técnicos para los áridos reciclados, se genera un entorno que favorece su incorporación en la producción de hormigón. En cambio, en los contextos donde la normativa es débil o su aplicación es deficiente, la valorización real de los RCD permanece limitada, aun cuando la tecnología esté disponible.

Desde la perspectiva de las variables de la investigación, se comprobó que el impacto de la gestión de residuos en Europa (variable independiente), medido a través de las normativas y ordenanzas, condiciona directamente los volúmenes de residuos reutilizados y reciclados (variable dependiente), expresados en porcentajes y toneladas valorizadas. La comparación entre países demostró que no existe una relación aleatoria, sino una correlación estructural: a mayor rigor normativo y mayor capacidad institucional, mayor es la tasa de reciclaje y la disponibilidad de áridos reciclados para su uso en hormigón estructural.

En este marco, la hipótesis de la investigación queda confirmada. La evidencia recopilada demuestra que una adecuada gestión y valorización de los RCD en Europa contribuye de manera significativa a la sostenibilidad del sector de la construcción, permitiendo la incorporación de estos materiales en la producción de hormigones estructurales sin comprometer la calidad ni la seguridad. Esta incorporación no es el resultado de una decisión aislada de las empresas, sino la consecuencia de sistemas normativos, técnicos y administrativos que convierten a los residuos en recursos productivos.

Finalmente, los resultados también permiten concluir que el modelo europeo de economía circular, cuando se aplica de manera efectiva, tiene la capacidad de transformar el problema ambiental de los RCD en una oportunidad para reducir el consumo de recursos naturales, disminuir las emisiones asociadas a la extracción de áridos y fortalecer la sostenibilidad de la industria del hormigón.

A continuación, en la tabla siguiente vamos a relacionar los países con la normativa principal, las características clave, tasas de reciclaje aproximadas y lo importante, la relevancia para el hormigón estructural.

Tabla 8: Comparativa por países europeos

País	Normativa principal	Características clave	Tasas de reciclaje aproximadas	Relevancia para hormigón estructural
Alemania	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrWG) + Normas DIN	Jerarquía de residuos, separación obligatoria, uso de áridos reciclados en obras públicas	>80%	Normas DIN permiten áridos reciclados en infraestructuras.
Francia	Loi Anti-Gaspillage pour une Économie Circulaire	Separación en obra, incentivos a reutilización, trazabilidad obligatoria	~70%	Favorece certificación y trazabilidad de áridos reciclados.
Italia	Decreto Legislativo 152/2006 + Directrices regionales	Separación en origen, valorización en plantas autorizadas, variaciones regionales	~50-60%	Diferencias regionales condicionan uso en hormigón.
España	RD 105/2008 + Ley 22/2011	Gestión específica de RCD, trazabilidad, fianzas ligadas a licencias	~40-50%	Marco claro, pero tasas más bajas que países líderes.
Países Bajos	Normativa nacional de economía circular	Separación en obra, certificación obligatoria, liderazgo en reciclaje	>90%	Referente europeo, áridos reciclados ampliamente aceptados.

Autor: Jostein Espada (2026)

Esta comparación evidencia que, mientras Europa avanza hacia la economía circular con tasas de reciclaje superiores al 70% en varios Estados miembros, Latinoamérica y Ecuador aún enfrentan barreras institucionales y técnicas que limitan la valorización de los RCD en hormigón estructural. Desde mi experiencia en la PUCE, esto resalta la urgencia de aprender de Europa para no repetir errores aquí. Honestamente, me motiva a proponer cambios reales en Quito, como invertir en plantas locales.

5.2. Recomendaciones

A partir de las conclusiones obtenidas, se formulan las siguientes recomendaciones, alineadas con el alcance y la metodología de la investigación.

En primer lugar, se recomienda fortalecer la aplicación efectiva de la normativa existente en aquellos Estados miembros que presentan bajos niveles de reciclaje de RCD. Los resultados muestran que no basta con que las directivas europeas estén formalmente introducidas a la legislación nacional; es necesario que existan mecanismos de control, sistemas de trazabilidad y capacidades institucionales que garanticen su cumplimiento real en las obras de construcción y demolición.

En segundo lugar, se recomienda impulsar la estandarización técnica de los áridos reciclados a nivel europeo. La experiencia de países como Alemania y los Países Bajos demuestra que la existencia de normas claras de calidad para los materiales reciclados reduce la incertidumbre técnica y facilita su aceptación en el hormigón estructural. Una armonización más amplia de estos estándares permitiría ampliar los mercados de materiales reciclados y mejorar su competitividad frente a los áridos naturales.

Igualmente, se recomienda promover políticas específicas en áreas metropolitanas, como Madrid y Barcelona, orientadas a maximizar la valorización de los RCD. Dado que estas ciudades concentran grandes volúmenes de generación de residuos y cuentan con infraestructura de tratamiento, representan espacios estratégicos para la implementación de proyectos piloto, incentivos al uso de materiales reciclados y compras públicas verdes que estimulen la demanda de hormigón con áridos reciclados.

Desde una perspectiva ambiental, se recomienda integrar de manera más explícita la valorización de RCD dentro de las estrategias de mitigación del cambio climático del sector de la construcción. La sustitución parcial de áridos naturales por reciclados contribuye a reducir las emisiones asociadas a la extracción, transporte y procesamiento de materiales,

por lo que debería ser considerada una herramienta clave dentro de las políticas de sostenibilidad y rentabilidad.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones profundicen en aspectos que, por el alcance de este trabajo, no fueron abordados, como los análisis económicos detallados, el comportamiento estructural específico del hormigón con áridos reciclados o la evaluación del ciclo de vida de estos materiales. Estos estudios permitirían complementar los resultados aquí obtenidos y proporcionar una base aún más sólida para la toma de decisiones técnicas y normativas en el sector de la construcción europea.

6. Bibliografía

- Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA). (2020). Construction and demolition waste: Challenges and opportunities in a circular economy. European Environment Agency.
- Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA). (2022). Waste generation and management in Europe. European Environment Agency.
- Andrade Salgado, F. de, & Andrade Silva, F. de. (2021). Recycled aggregates from construction and demolition waste towards an application on structural concrete: A review. *Cleaner Materials*, 2, 100036. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2021.100036>
- Ayuso, J., Galvín, A. P., Jiménez, J. R., & Agrela, F. (2015). Gestión y tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD). Guía de buenas prácticas. Universidad de Córdoba – Junta de Andalucía – FEDER.
- Calvo, F., Parra, C., & Martínez, M. (2014). A dynamic model for construction and demolition waste management in Spain: Driving policies based on economic incentives and tax penalties. *Sustainability*, 6(1), 416–447. <https://doi.org/10.3390/su6010416>
- CEDEX. (2022). Estimación de porcentajes de reciclaje de residuos de construcción y demolición en la Unión Europea (UE-27). Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- Comisión Europea. (2008). Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos (Directiva Marco de Residuos). Diario Oficial de la Unión Europea.

- Comisión Europea. (2015). Closing the loop – An EU action plan for the circular economy. European Commission.
- Comisión Europea. (2018). EU construction and demolition waste management protocol. Publications Office of the European Union.
- Comisión Europea. (2019). The European Green Deal. Brussels: European Commission.
- Comisión Europea. (2020). A new circular economy action plan: For a cleaner and more competitive Europe. European Commission.
- De Brito, J., & Saikia, N. (2013). Recycled aggregate in concrete: Use of industrial, construction and demolition waste. London: Springer.
- European Commission – Joint Research Centre (JRC). (2018). Technical guidance on the use of recycled aggregates in concrete. JRC Science for Policy Report.
- European Committee for Standardization (CEN). (2013). EN 206:2013 – Concrete. Specification, performance, production and conformity. Brussels: CEN.
- European Committee for Standardization (CEN). (2008). EN 12620:2002+A1:2008 – Aggregates for concrete. Brussels: CEN.
- Eurostat. (2021). Construction and demolition waste statistics. European Statistical Office.
- Eurostat. (2022). Recycling rate of construction and demolition waste in the EU. European Statistical Office.
- Gálvez-Martos, J. L., Styles, D., Schoenberger, H., & Zeschmar-Lahl, B. (2018). Construction and demolition waste best management practice in Europe.
- Merino, M., Gracia, P., Azevedo, I., & Pacca, S. (2014). Assessment of construction and demolition waste management in Spain: Towards sustainability and eco-efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 64, 276–285.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.046>
- Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. (2008). Real Decreto 105/2008, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. Boletín Oficial del Estado.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2011). Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados. Boletín Oficial del Estado.

- Silva, R. V., De Brito, J., & Dhir, R. K. (2014). Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials*, 65, 201–217. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2019). Global status report for buildings and construction. United Nations.

7. Anexos – Documentos relevantes para la investigación

Anexo 1: Portada Directiva 2008/98/CE (UE)

22.11.2008

ES

Diario Oficial de la Unión Europea

L 312/3

DIRECTIVAS

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

(Texto pertinente a efectos del EEE)

EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA,

Visto el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea, y en particular su artículo 175, apartado 1,

Vista la propuesta de la Comisión,

residuos tengan una autorización o estén registradas, la obligación de que los Estados miembros tengan planes de gestión de residuos, y otros principios fundamentales, como la obligación de manipular los residuos de manera que no causen un impacto negativo en el medio ambiente y la salud, el fomento de la aplicación de la jerarquía de residuos y, de conformidad con el principio «quien contamina paga», el requisito de que los costes de la eliminación de los residuos recaiga sobre el poseedor de los residuos o el anterior poseedor, o el productor del producto del que proceden los residuos.

Fuente: Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2008). Directiva 2008/98/CE sobre los residuos. Diario Oficial de la Unión Europea.

Descripción Anexo 1: Portada de la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos. Este documento constituye el marco normativo fundamental de la política de residuos en la Unión Europea y establece principios clave como la jerarquía de residuos y la economía circular.

Anexo 2: Portadas de Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados y del Real Decreto 105/2008



LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

Jefatura del Estado
«BOE» núm. 181, de 29 de julio de 2011
Referencia: BOE-A-2011-13046

Fuente: España. Ministerio de la Presidencia. (2011). Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados.



LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

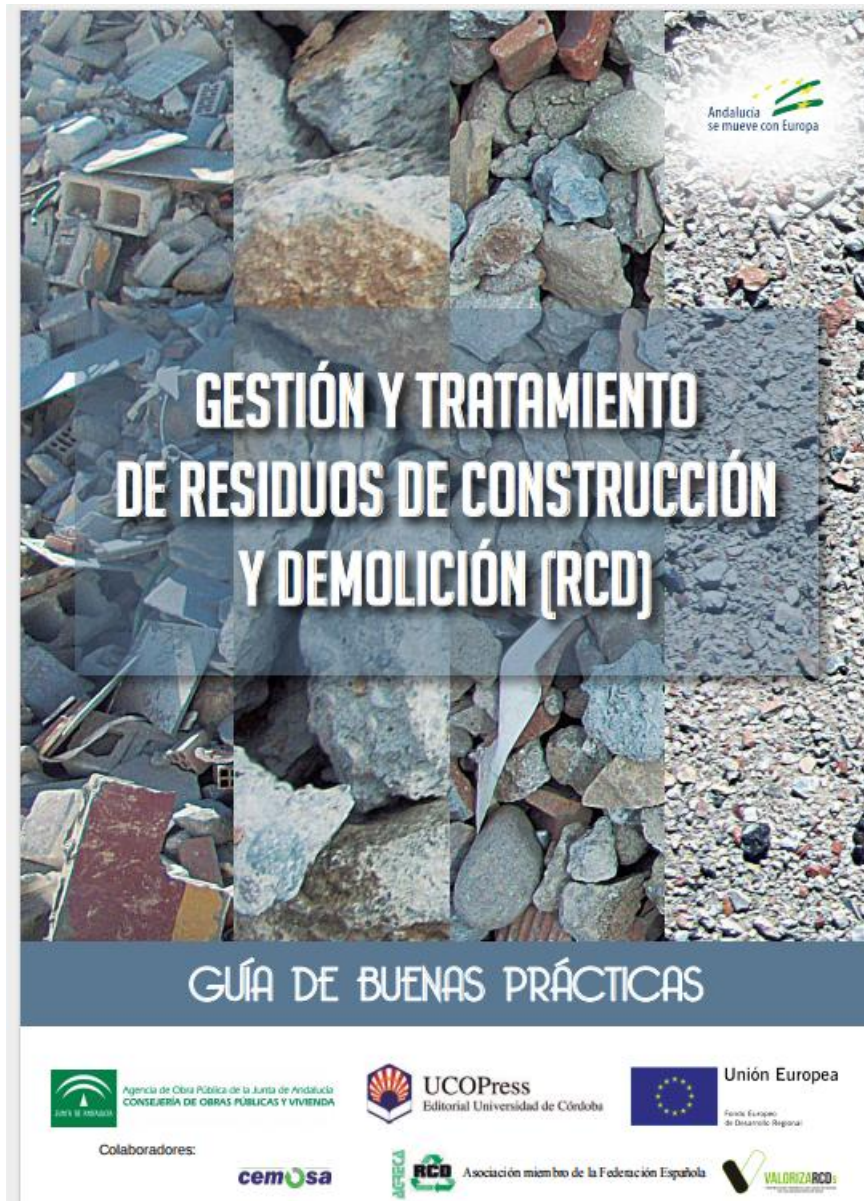
Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.

Ministerio de la Presidencia
«BOE» núm. 38, de 13 de febrero de 2008
Referencia: BOE-A-2008-2486

Fuente: España. Ministerio de la Presidencia. (2008). Real Decreto 105/2008. Boletín Oficial del Estado.

Descripción Anexo 2: Portadas de la Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados y del Real Decreto 105/2008, que regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición en España, estos marcos regulatorios establecen obligaciones específicas para productores y gestores de residuos de construcción y demolición (RCD).

Anexo 3: Portada del documento Gestión y tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD). Guía de buenas prácticas. Universidad de Córdoba – Junta de Andalucía – FEDER.



Fuente: Ayuso, J., Galvín, A. P., Jiménez, J. R., & Agrela, F. (2015). Gestión y tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD).

Descripción Anexo 3: Portada del documento “Gestión y tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD), documento técnico elaborado por la Universidad de Córdoba que apoya la aplicación práctica de la normativa vigente y el análisis del tratamiento y la valorización de los residuos de construcción y demolición.

Anexo 4: Certificado de tratamiento de residuos de construcción y demolición emitido por un gestor autorizado en España, que acredita la correcta gestión, tratamiento y valorización de los residuos conforme a la normativa vigente.



ADIEGO HNOS, S.A.
Ctra. Valencia, Km. 5,900
50410 CUARTE DE HUERVA.- (ZARAGOZA)-

Cuarte de Huerva, 20 de septiembre del 2012

ASUNTO: CERTIFICADO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Muy Sres nuestros:

ADIEGO HERMANOS, S.A., como gestor de residuos peligrosos con el nº autorización AR/G-3/93 y como gestor de residuos no peligrosos con el nº autorización AR/GNP-62/2010 certifica que sus envíos de residuos de vidrio con código LER 170202 entregados en nuestras instalaciones por [REDACTED] con fecha 03/09/2012 y procedentes del Nº de Licencia Municipal [REDACTED] han sido gestionados mediante tratamiento tabla 2 R13, teniendo una valorización superior al 80%:

Documentos de Control y Seguimiento; DCS NP AR Nº 14414

Fecha: 03 septiembre 2012

Cantidad: 2.200,00 Kgs.

Han sido tratados en nuestras instalaciones de la forma adecuada en función de sus características.


Y para que así conste a los efectos oportunos, se expide el presente certificado.

Estimando que lo anteriormente expuesto sea de su total conformidad, permaneciendo en la espera de sus noticias al respecto, aprovechamos la oportunidad para saludarles muy atentamente.

*Fuente: Gestor autorizado de residuos de construcción y demolición en España
(documentación técnica de gestión de RCD, Cuarte de Huerva, 2012).*

Descripción Anexo 4: Certificado de tratamiento de residuos de construcción y demolición emitido por un gestor autorizado en España, se observa claramente un ejemplo que acredita la correcta gestión, tratamiento, limpieza y valorización de los residuos conforme a la normativa vigente.

Anexo 5: Certificación ISO 14001:2015



Bureau Veritas Certification

Certificación

Concedida a

APROFITAMENT, ASSESSORAMENT AMBIENTAL, S.L.

POL. IND. COLL DE LA MANYA, CAL ROS DELS OCELLS, 15-17 - 08403 - GRANOLLERS - BARCELONA - ESPAÑA

Bureau Veritas Certification certifica que el Sistema de Gestión ha sido auditado y encontrado conforme con los requisitos de la norma:

NORMA

ISO 14001:2015



El Sistema de Gestión se aplica a:

ALMACENAJE, VALORIZACIÓN Y/O TRANSFERENCIA DE RESIDUOS PELIGROSOS Y NO PELIGROSOS.

Número del Certificado:	ES156820 - 1
Aprobación original:	29-07-2025
Auditoría de certificación/renovación:	11-06-2025
Caducidad del ciclo anterior:	NA
Certificado en vigor:	29-07-2025
Caducidad del certificado:	28-07-2028

Este certificado está sujeto a los términos y condiciones generales y particulares de los servicios de certificación

Bureau Veritas Iberia S.L.
C/ Valportillo Primera 22-24, 28108 Alcobendas - Madrid, España



1/1

Fuente: Bureau Veritas Certification (certificación ISO 14001:2015).

Descripción Anexo 5: Certificación ISO 14001:2015 emitida por Bureau Veritas, esta certificación corresponde a una empresa dedicada a la gestión, almacenamiento, limpieza y valorización de residuos peligrosos y no peligrosos en España. La certificación ISO 14001 es importante ya que garantiza que la gestión de los RCD se realiza bajo un sistema ambiental controlado, lo que refuerza la fiabilidad técnica y ambiental de los procesos de tratamiento asociados a la obtención de materiales reciclados para la elaboración de nuevo hormigón estructural.