



WP2-A2. Estudio comparativo de los planes de estudio en la gestión de residuos de la industria de rocas ornamentales y las industrias relacionadas en los países participantes.



Esta obra está licenciada bajo una [Licencia Internacional Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

"Financiado por la Unión Europea. Las opiniones y puntos de vista expresados solo comprometen a su(s) autor(es) y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o los de la Agencia Ejecutiva Europea de Educación y Cultura (EACEA). Ni la Unión Europea ni la EACEA pueden ser considerados responsables de ellos."



Transilvania
University
of Brasov





Índice

1. INTRODUCCIÓN	5
2. GESTIÓN DE RESIDUOS EN LA INDUSTRIA DE LA ROCA ORNAMENTAL.....	5
2.1. Introducción a la gestión de residuos en la industria de la roca ornamental..	5
2.2. Impacto de la gestión de residuos en la industria y sostenibilidad ambiental	7
2.2.1. Beneficios medioambientales y económicos	7
2.2.2. Responsabilidad social y cumplimiento normativo	7
2.3. Educación y formación profesional en gestión de residuos.....	8
2.3.1. Educación y Formación Profesional (VET): enfoque práctico y operativo	8
2.3.2. Educación Superior: Gestión Estratégica y Visión Integral	9
2.4. El papel de la gestión de residuos en la educación profesional.....	9
3. PLANES DE ESTUDIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS	9
3.1. ALEMANIA.....	10
3.1.1. Gestión de residuos en la educación y formación profesional (VET).....	10
3.1.2. Gestión de residuos en la educación superior	11
3.2. ESPAÑA	13
3.2.1. Gestión de residuos en la educación y formación profesional (VET).....	13
3.2.2. Gestión de residuos en la educación superior	14
3.3. RUMANIA.....	16
3.3.1. Gestión de residuos en la educación y formación profesional (VET).....	16
3.3.2. Gestión de residuos en la educación superior	17
3.4. CROACIA	18
3.4.1. Gestión de residuos en la educación y formación profesional (VET).....	19
3.4.2. Gestión de residuos en la educación superior	20
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	21
4.1. ALEMANIA.....	22
4.1.1. Gestión de residuos aplicada a la industria y sostenibilidad	22
4.1.2. Integración de la gestión de residuos en la industria de la roca ornamental...	22
4.1.3. Énfasis en la legislación y el cumplimiento	23
4.1.4. Proyectos finales y estudios de caso.....	23
4.1.5. Conclusiones generales.....	23
4.2. ESPAÑA	24
4.2.1. Gestión de residuos aplicada a la industria y sostenibilidad	24



4.2.2.	Integración de la gestión de residuos en la industria de la roca ornamental...	24
4.2.3.	Énfasis en la legislación y el cumplimiento	24
4.2.4.	Proyectos finales y estudios de caso.....	25
4.2.5.	Conclusiones generales.....	25
4.3.	RUMANIA.....	25
4.3.1.	Gestión de residuos aplicada a la industria y sostenibilidad	26
4.3.2.	Integración de la gestión de residuos en la industria de la roca ornamental... 26	
4.3.3.	Énfasis en la legislación y el cumplimiento	26
4.3.4.	Proyectos finales y estudios de caso.....	27
4.3.5.	Conclusiones generales.....	27
4.4.	CROACIA	27
4.4.1.	Gestión de residuos aplicada a la industria y sostenibilidad	27
4.4.2.	Integración de la gestión de residuos en la industria de la roca ornamental... 27	
4.4.3.	Énfasis en la legislación y el cumplimiento	28
4.4.4.	Proyectos finales y estudios de caso.....	28
4.4.5.	Conclusiones generales.....	28
5.	MEJORES PRÁCTICAS.....	28
5.1.	Características comunes de los planes de estudio efectivos de gestión de residuos.....	29
5.1.1.	Marco legal claro y bien integrado	29
5.1.2.	Enfoque práctico de los flujos reales de residuos.....	29
5.1.3.	Aprendizaje basado en proyectos y en el trabajo.....	30
5.1.4.	Modularidad y orientación al aprendizaje a lo largo de la vida	30
5.2.	Lagunas y lecciones para un proyecto centrado en piedra ornamental y economía circular.....	30
5.2.1.	Falta de un enfoque sectorial específico en la piedra ornamental.....	31
5.2.2.	Fragmentación entre habilidades técnicas, medioambientales y digitales	31
5.2.3.	Subuso de proyectos aplicados al sector de la piedra	31
5.3.	Resumen de recomendaciones para RockChain	32
5.3.1.	Aprovechar las fortalezas existentes	32
5.3.2.	Dar visibilidad al sector en proyectos y escenarios de aprendizaje.....	32
5.3.3.	Superar la fragmentación entre las habilidades técnicas, medioambientales y digitales	32
5.3.4.	Utilizar formatos modulares compatibles con formación profesional, universidad y formación continua.....	32



5.3.5.	Posicionamiento de piedra ornamental como maletín piloto europeo	32
6.	CONCLUSIONES	33
7.	REFERENCIAS	34
	Alemania – oferta de formación, gestión de residuos y contexto político	35
	Croacia – oferta de formación, gestión de residuos y contexto político	37
	España – oferta de formación, gestión de residuos y contexto político.....	38
	Rumanía – oferta de formación, gestión de residuos y contexto político	40
	Fuentes de las cifras	41

1. INTRODUCCIÓN

Este documento presenta los hallazgos de la actividad WP2. A2, centrada en un análisis comparativo de los planes de estudio relacionados con la gestión de residuos dentro de la Industria de la Roca Ornamental y sus sectores relacionados. El objetivo principal es mapear y evaluar el panorama educativo existente en las naciones socias participantes y el contexto más amplio de la Unión Europea.

A través de una revisión exhaustiva de informes nacionales, este estudio identifica tanto prácticas educativas exitosas como carencias críticas donde los planes de estudio actuales no satisfacen las necesidades industriales y medioambientales. Estas ideas proporcionan la base probatoria para la fase siguiente, WP2. R3: *"Definición de los objetivos de aprendizaje y resultados de aprendizaje del currículo"*, asegurando que la formación propuesta esté basada en la realidad específica del sector de la piedra.

2. GESTIÓN DE RESIDUOS EN LA INDUSTRIA DE LA ROCA ORNAMENTAL

La gestión de residuos desempeña un papel clave en el sector de la piedra ornamental, no solo como motor para mejorar la sostenibilidad industrial, sino también como herramienta para reducir el impacto ambiental de la actividad. Como industria extractiva, la cantidad de residuos generados durante las etapas de extracción, procesamiento y acabado de la piedra es considerable. Si estos subproductos no se gestionan adecuadamente, pueden causar graves daños ambientales, como la destrucción del hábitat, la erosión del suelo y la contaminación de fuentes de agua.

Al contrario, contar con sistemas de gestión sólidos abre la puerta a estrategias de recuperación más efectivas. A través de los principios de la economía circular, los materiales que antes se consideraban residuos pueden reciclarse y reutilizarse, convirtiéndose en recursos utilizables.

A nivel internacional, se han promovido diversas acciones para mejorar los esquemas de gestión de residuos, desarrollando políticas y mejores prácticas que buscan reducir la generación de residuos en la fuente, especialmente en las etapas de extracción y procesamiento. Este enfoque también promueve el uso responsable de los subproductos, integrándolos de forma sostenible en sectores relacionados, como la construcción y el desarrollo de infraestructuras.

2.1. Introducción a la gestión de residuos en la industria de la roca ornamental

La gestión de residuos en el sector de las piedras ornamentales abarca todo el ciclo de vida del material, desde la reducción de residuos en la fase de extracción hasta el reciclaje y la utilización de subproductos. Los principales tipos de residuos generados, como la suspensión de piedra, fragmentos y polvo fino suponen un riesgo ambiental considerable si no se gestionan adecuadamente. Por lo tanto, la gestión en este sector se basa en tres pilares estratégicos:

- **Reducción de residuos:** Este paso es clave desde las primeras etapas, como la limpieza y el corte de bloques, y requiere la aplicación de técnicas optimizadas. El uso de herramientas de corte de alta precisión y equipos que mejoran el valor del procesamiento de la piedra aumenta la eficiencia y reduce el impacto ambiental en la fuente.
- **Reciclaje y reutilización:** Residuos como la suspensión de piedra y fragmentos pueden tratarse y convertirse en materiales útiles para la construcción, por ejemplo, como áridos, rellenos o aditivos para cemento. Estas prácticas no solo reducen el volumen de residuos, sino que también ayudan a conservar los recursos naturales y mejorar la rentabilidad del proceso.
- **Gestión sostenible:** Esto implica implementar sistemas de gestión ambiental basados en normas internacionales, garantizando un tratamiento responsable de los residuos. Esto permite a las empresas del sector reducir su huella ecológica y contribuir concretamente a los objetivos globales de desarrollo sostenible.

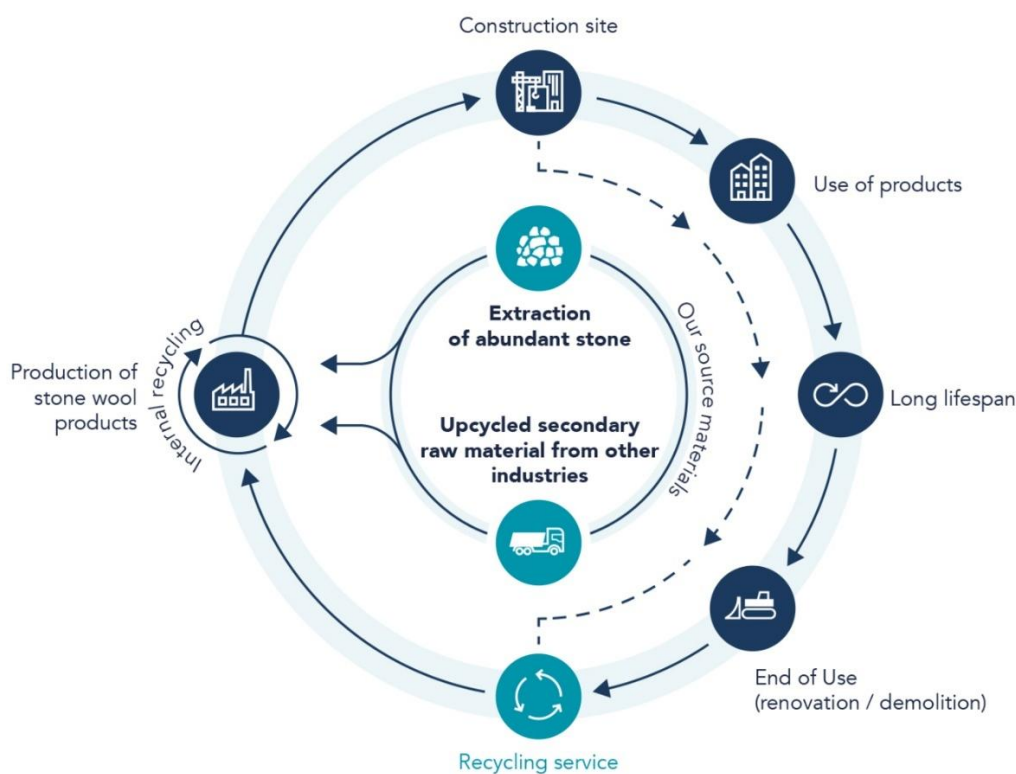


Figura 1: Economía circular en roca ornamental y sector de la construcción.



2.2. Impacto de la gestión de residuos en la industria y sostenibilidad ambiental

La implementación de estrategias efectivas de gestión de residuos ofrece beneficios tanto económicos como medioambientales para la industria de la piedra ornamental. Adoptar medidas sostenibles no solo reduce el consumo de materias primas, sino que también disminuye el impacto medioambiental, impulsando procesos más eficientes en todo el sector.

2.2.1. Beneficios medioambientales y económicos

Aplicar técnicas para minimizar los residuos es esencial para evitar la degradación del suelo causada por una eliminación incorrecta de piedras, así como para reducir la contaminación del agua causada por el escurrimiento de lodos. Desde una perspectiva económica, las empresas que incorporan principios de economía circular — especialmente mediante la reutilización de subproductos de piedra— pueden reducir significativamente sus costes operativos mientras generan ingresos adicionales mediante materiales reciclados. Estas prácticas también reducen la necesidad de vertederos, lo que resulta en menores gastos y una mayor sostenibilidad financiera para el sector.

2.2.2. Responsabilidad social y cumplimiento normativo

Desde una perspectiva social, gestionar los residuos de forma sostenible permite a las empresas demostrar su compromiso con la Responsabilidad Social Corporativa (RSC) y la protección medioambiental. Este enfoque refuerza la imagen institucional y posiciona al sector de la piedra como un actor comprometido con el cumplimiento de las normativas medioambientales internacionales.



Figura 2: Diagrama de triple línea de fondo

2.3. Educación y formación profesional en gestión de residuos

La educación especializada y la formación profesional son pilares fundamentales para transformar la industria de la piedra ornamental. Contar con personal preparado para adoptar prácticas sostenibles no solo es una mejora deseable, sino una necesidad clave para garantizar la viabilidad a largo plazo del sector. Por ello, es esencial que los programas educativos, tanto vocacionales como universitarios, integren sistemáticamente contenidos sobre gestión ambiental y reducción de residuos. Esta formación es fundamental para preparar a profesionales que se enfrenten a los desafíos medioambientales y regulatorios específicos del sector.

2.3.1. Educación y Formación Profesional (VET): enfoque práctico y operativo

En el ámbito de la educación técnica, es importante ir más allá de los conceptos generales y centrarse en habilidades laborales específicas. Los planes de estudio deben centrarse en habilidades técnicas directamente aplicables en el campo, tales como:

- **Optimización de la extracción:** Uso de técnicas avanzadas de minería que reducen la generación de residuos y fracturas innecesarias en la fuente.
- **Eficiencia en el procesamiento:** Formación en el ajuste preciso de maquinaria de corte y pulido para reducir la producción de lodos y polvo fino.
- **Valoración de subproductos:** Desarrollo de habilidades prácticas para clasificar, tratar y reutilizar residuos de procesamiento como materiales secundarios para la construcción.

2.3.2. Educación Superior: Gestión Estratégica y Visión Integral

A nivel universitario, los programas de ingeniería y gestión deberían adoptar un enfoque más amplio y sistémico. Los planes de estudio en ingeniería ambiental o minera, por ejemplo, deberían abordar cuestiones específicas del sector de la piedra ornamental, tales como:

- **Diseño basado en economía circular:** Formación para crear sistemas cerrados en los que los residuos de un proceso se conviertan en insumos para otro (por ejemplo, el uso de lodos de piedra en la fabricación de cemento).
- **Evaluación de impacto ambiental (EIA):** Conocimiento avanzado del cumplimiento normativo, metodologías de análisis del ciclo de vida (LCA) y monitorización ambiental a largo plazo en zonas de cantera.
- **Innovación y tecnología:** Integración de herramientas emergentes, como la digitalización y el uso de blockchain, para rastrear los flujos de residuos y certificar la sostenibilidad de los productos de piedra.

2.4. El papel de la gestión de residuos en la educación profesional

La Educación y Formación Profesional (VET) es un eslabón clave en el funcionamiento del sector de la piedra ornamental. Desempeña un papel fundamental para garantizar que los trabajadores del sector no solo tengan conocimientos teóricos, sino también las habilidades técnicas necesarias para aplicar soluciones específicas de gestión de residuos a diario. La integración sistemática de técnicas de reducción de residuos y estrategias sostenibles en los planes de estudio permite formar personal cualificado para impulsar la innovación ambiental y mejorar significativamente el uso eficiente de los recursos.

El enfoque formativo debe centrarse en el aprendizaje práctico, especialmente en el uso de tecnologías sostenibles para el procesamiento de piedra y la gestión de residuos. Saber utilizar máquinas de corte y pulido con precisión es clave para reducir la generación de finos y lodos, lo que contribuye directamente a disminuir el impacto ambiental de la industria.

Al mismo tiempo, la educación debe ir más allá del aspecto técnico y fomentar una mentalidad orientada a la sostenibilidad. Cuando los trabajadores comprenden las consecuencias ambientales de cada etapa del proceso, desde la extracción hasta el acabado, se convierten en agentes de cambio, capaces de aplicar activamente estrategias de reducción de residuos como parte natural de su trabajo diario.

3. PLANES DE ESTUDIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS

3.1. ALEMANIA

Alemania combina uno de los sistemas de gestión de residuos más avanzados de la Unión Europea con una considerable generación de residuos, especialmente en el sector de la construcción y la demolición. Según datos recientes, en 2022 se produjeron aproximadamente 207,9 millones de toneladas de residuos minerales de construcción. De ese total, aproximadamente el 58,7% era suelo y piedras, lo que convierte a estos residuos en la categoría más voluminosa del país. Aunque más del 90% de estos materiales se recuperan, gran parte se utiliza para fines de bajo valor, como el relleno de vertederos, lo que pone de manifiesto la necesidad de innovar en estrategias de reciclaje y reutilización de mayor calidad para los residuos naturales de piedra.

El marco legal está definido por la Ley de Economía Circular (Kreislaufwirtschaftsgesetz), que adapta la Directiva Marco de Residuos de la UE al contexto alemán. Esta regulación establece una jerarquía estricta de cinco niveles para la gestión de residuos, dando prioridad a la prevención, reutilización y reciclaje sobre la recuperación y eliminación final de la energía. Este entorno regulatorio genera una alta demanda de profesionales formados en reciclaje, economía circular y protección ambiental, especialmente en sectores que gestionan grandes volúmenes de residuos minerales, como la construcción, los áridos y la extracción de piedra natural.

El sistema educativo alemán responde a esta demanda mediante una combinación de programas duales de formación profesional, estudios técnicos en escuelas especializadas y títulos universitarios centrados en temas medioambientales e industriales.

3.1.1. Gestión de residuos en la educación y formación profesional (VET)

En el sistema alemán de formación profesional dual, las ocupaciones relacionadas con la gestión de residuos se regulan a nivel federal y combinan la formación práctica en empresas con estudios teóricos en escuelas profesionales. En el caso de los sectores de piedra ornamental y construcción, los programas más relevantes se centran en el reciclaje de residuos minerales de construcción, materiales de excavación y protección ambiental en entornos industriales.

Técnico en reciclaje y gestión de residuos (Fachkraft für Kreislauf- und Abfallwirtschaft)

- **Institución:** Sistema Dual / Instituto Federal de Educación y Formación Profesional (BIBB)
- **Enlace:** [Perfil de BIBB](#)
- **Descripción:** Un aprendizaje dual de tres años regulado a nivel nacional que prepara a técnicos para operar y optimizar sistemas de gestión de residuos municipales e industriales. Los alumnos aprenden a identificar, clasificar y clasificar residuos, organizar la logística y aplicar el derecho medioambiental. El

perfil actualizado aborda explícitamente la manipulación y reciclaje separados de residuos y agregados minerales de construcción, lo que lo hace directamente relevante para la extracción y el procesamiento de piedra natural.

Asistente Técnico de Protección Ambiental

- **Institución:** Escuela Profesional Butzbach (Formación Profesional Escolar)
- **Enlace:** [Programa Berufliche Schule Butzbach](#)
- **Descripción:** Un programa de dos años a tiempo completo que forma asistentes para realizar mediciones y análisis sobre aire, agua, suelo y residuos. El plan de estudios combina química ambiental y práctica de laboratorio con caracterización de residuos y muestreo. Los graduados están capacitados para trabajar en laboratorios y departamentos medioambientales de empresas extractivas, monitorizando depósitos de residuos y lodos de canteras.

Oficial de Residuos de la Compañía (Curso Básico)

- **Institución:** TÜV SÜD Akademie / Cámaras de Industria y Comercio (IHK)
- **Enlace:** [Curso TÜV SÜD](#)
- **Descripción:** La ley alemana exige a las empresas que consumen mucho consumo de residuos (incluidas canteras y procesadores de piedra) nombren a un Responsable de Residuos. Este curso básico proporciona el conocimiento especializado legalmente prescrito en legislación sobre residuos, tareas de documentación y manejo de residuos peligrosos. Cubre explícitamente los residuos minerales de construcción, lo que los hace esenciales para los responsables de cumplimiento en el sector de la piedra.

Formación continua para profesionales del reciclaje y la gestión de residuos

- **Institución:** Instituto Federal de Educación y Formación Profesional (BIBB)
- **Enlace:** [Suplemento de Certificado BIBB](#)
- **Descripción:** Cursos avanzados para técnicos certificados que buscan profundizar en estrategias de optimización de procesos y economía circular. Estos programas se centran en mejorar la calidad del reciclaje de residuos minerales y restos de construcción, apoyando la transición de la eliminación a una reutilización de alto valor de los subproductos de las canteras.

3.1.2. Gestión de residuos en la educación superior

A nivel universitario, varias instituciones ofrecen títulos especializados en ingeniería del reciclaje e ingeniería ambiental. Aunque estos programas no se centran exclusivamente en piedras ornamentales, incluyen módulos integrales sobre residuos de construcción y materiales minerales, que son esenciales para la gestión sostenible de los residuos generados en canteras.

B.Eng. Reciclaje, Medio Ambiente y Sostenibilidad

- **Institución:** Universidad de Ciencias Aplicadas Magdeburgo-Stendal
- **Enlace:** [Detalles del programa](#)

- **Descripción:** Un título de siete semestres centrado en ingeniería del reciclaje y sostenibilidad. Se pone especial énfasis en los residuos de construcción y demolición, agregados minerales y materias primas secundarias. Esto la hace muy relevante para diseñar rutas de recuperación de residuos de piedra de la explotación.

B.Eng. Tecnología Ambiental y de Reciclaje

- **Institución:** Universidad de Ciencias Aplicadas de Nordhausen
- **Enlace:** [Detalles del programa](#)
- **Descripción:** Forma a ingenieros en ingeniería de procesos ambientales y producción eficiente en recursos. El plan de estudios incluye ciencia de materiales y tecnologías de reciclaje. Los estudios de caso abordan frecuentemente fracciones minerales y subproductos industriales, lo que permite a los graduados desarrollar soluciones para reutilizar residuos de corte de piedra en materiales de construcción.

M.Sc. Ingeniería de Procesos Ambientales y Reciclaje

- **Institución:** Universidad Tecnológica de Clausthal
- **Enlace:** [Detalles del programa](#)
- **Descripción:** Un programa avanzado de máster que cubre tecnologías de residuos, diseño de procesos y recuperación de materias primas secundarias. Incluye estudios de caso sobre el reciclaje de materiales minerales y subproductos industriales directamente transferibles a operaciones de procesamiento de piedra.

M.Sc. Gestión de Residuos y Tratamiento de Sitios Contaminados

- **Institución:** Universidad Técnica de Dresde
- **Enlace:** [Detalles del programa](#)
- **Descripción:** Se centra en la gestión sostenible de residuos y la remediación de sitios contaminados. Los módulos cubren el diseño de vertederos y la gestión del flujo de materiales. Las tesis suelen abordar los residuos minerales y los suelos, relevantes para regiones con intensas actividades de extracción donde los depósitos de residuos heredados son un problema.

M.Eng. Tecnología Ambiental y de Reciclaje

- **Institución:** Universidad de Ciencias Aplicadas de Nordhausen
- **Enlace:** [Detalles del programa](#)
- **Descripción:** Profundiza las competencias en tecnologías avanzadas de reciclaje y optimización de plantas. Su enfoque en la ingeniería de materiales capacita a los graduados para desarrollar cadenas innovadoras de reciclaje de residuos

minerales, incluyendo la transformación de residuos de cantera en materias primas secundarias de alta calidad.

3.2. ESPAÑA

En la última década, España ha logrado avances significativos en el desarrollo de políticas y regulaciones relacionadas con la gestión de residuos y la economía circular. El marco nacional se articula a través del Plan Marco Estatal de Gestión de Residuos (PEMAR) y su nueva versión para el periodo 2024–2035, que establece líneas estratégicas para prevenir la generación de residuos, fomentar el reciclaje y promover el uso de materias primas secundarias en todos los sectores. Estos planes se implementan dentro del marco de la Ley 7/2022 sobre residuos y suelos contaminados, que refuerza la Responsabilidad Extendida del Productor (EPR) e impone objetivos más estrictos para los residuos de construcción y demolición (CDW).

Las actividades de construcción y demolición están entre las principales fuentes de residuos en el país. Se estima que se generan alrededor de 37 millones de toneladas de CDW cada año. Dentro de esta categoría, el sector de roca ornamental y extracción de canteras aporta una cantidad significativa de residuos en forma de lodos de corte, cortes y materiales de cobertura. Sin embargo, este volumen también representa una oportunidad para recuperar estos residuos como agregados secundarios, componentes para "hormigón verde" u otros productos innovadores y ecológicos.

El sistema educativo español responde a estos desafíos mediante una combinación de cursos de formación profesional, certificados profesionales y centros especializados como la Escuela del Mármol de Fines. A nivel universitario, los títulos en ingeniería ambiental e ingeniería de minas ofrecen formación avanzada adaptada a las necesidades del sector.

3.2.1. Gestión de residuos en la educación y formación profesional (VET)

En España, la formación profesional relacionada con la gestión de residuos se organiza principalmente mediante Certificados Profesionales. En el caso de la industria de la roca ornamental, existen dos áreas clave de formación: por un lado, las cualificaciones transversales en gestión de residuos industriales y, por otro, las cualificaciones específicas para el sector extractivo.

Gestión de Residuos Urbanos e Industriales (Código SEAG0108 - Nivel 2)

- **Institución:** SEPE (Servicio Público Estatal de Empleo) / Diversos Proveedores
- **Enlace:** [Detalles del certificado](#)
- **Descripción:** La cualificación nacional básica para operadores en gestión de residuos. Cubre la recogida, transporte y operación de instalaciones de reciclaje. El perfil de competencias incluye la gestión separada de residuos inertes y de

construcción, lo que lo hace directamente aplicable a empresas implicadas en la restauración de canteras y la gestión de residuos minerales.

Operaciones auxiliares en plantas de procesamiento de piedra natural (IEXD0308 - Nivel 1)

- **Institution:** SEPE / Escuela del Mármol de Fines
- **Enlace:** [Detalles de la especialidad](#)
- **Descripción:** Este certificado define el perfil operativo básico para plantas de procesamiento de piedra natural. Los módulos de formación incluyen manejo de bloques de piedra, operación de equipos de corte y mantenimiento básico. Proporciona un punto de entrada natural para integrar temas como la reducción, segregación y reciclaje interno de residuos de piedra en el aprendizaje en el lugar de trabajo.

Itinerario de formación: Procesamiento de Piedra Natural y Competencias Digitales

- **Institution:** Escuela del Mármol de Fines (National Reference Centre)
- **Link:** [CRN Piedra Natural](#)
- **Descripción:** La *Escuela del Mármol de Fines* (Almería) ofrece itinerarios especializados que combinan formación técnica en talla de piedra con habilidades digitales. Como Centro Nacional de Referencia para el sector, sus programas están explícitamente alineados con las necesidades del sector, incluyendo el uso eficiente de materias primas y la gestión responsable de los subproductos de la piedra.

Gestión de residuos de construcción y demolición

- **Institución:** Asociaciones Profesionales / Proveedores Especializados
- **Enlace:** [Ejemplo de curso](#)
- **Descripción:** Cursos cortos de formación profesional dirigidos a responsables y técnicos de obra. Abordan la legislación española y europea sobre CDW, el diseño de planes de gestión de residuos y la demolición selectiva. Para el sector de la piedra natural, estos cursos son esenciales para garantizar que los residuos de piedra se canalicen hacia rutas de reciclaje autorizadas en lugar de vertederos.

3.2.2. Gestión de residuos en la educación superior

A nivel universitario, el país ofrece una amplia gama de títulos en ingeniería ambiental e ingeniería minera. Aunque la mayoría de estos programas tienen un enfoque multisectorial, muchos incluyen módulos especializados en restauración minera y el uso de áridos reciclados, conocimientos directamente aplicables a la cadena de valor de la piedra ornamental.



M.Sc. in Sustainable Mining (Máster Universitario en Minería Sostenible)

- **Institution:** Universidad Politécnica de Madrid (UPM)
- **Enlace:** [Programa UPM](#)
- **Descripción:** Un máster oficial centrado en tecnologías mineras y gestión ambiental. El plan de estudios abarca la evaluación del impacto ambiental, la gestión de residuos mineros (relaves) y la recuperación de sitios extractivos. Los estudios de caso suelen incluir canteras españolas, lo que hace que estas competencias sean muy relevantes para la reutilización de residuos de piedra y la restauración de canteras.

M.Sc. en Gestión de Residuos y Recuperación de Recursos

- **Institución:** Universidad Autónoma de Madrid (UAM)
- **Enlace:** [Programa UAM](#)
- **Descripción:** Un programa especializado que forma a profesionales para diseñar sistemas de gestión de residuos con un fuerte enfoque en la recuperación de recursos. Los estudiantes estudian tecnologías para la valoración de residuos sólidos y lodos. Para el sector de la piedra, estos enfoques pueden aplicarse al tratamiento y reutilización de lodos de corte y residuos minerales inertes.

M.Sc. en Ingeniería Ambiental

- **Institution:** Universidad Politécnica de Valencia (UPV) & Universidad de Valencia
- **Enlace:** [Programa de Máster Conjunto](#)
- **Descripción:** Proporciona formación avanzada en la prevención y control de los impactos medioambientales derivados de actividades industriales. Los módulos incluyen el diseño de vertederos y la evaluación del ciclo de vida (LCA). Estas a menudo abordan vertederos inertes para residuos de canteras, proporcionando un puente directo a los desafíos de la industria de la roca ornamental.

M.Sc. en Economía Circular

- **Institution:** Campus Iberus (Zaragoza, La Rioja, Lleida, Navarra)
- **Enlace:** [Programa Iberus del Campus](#)
- **Descripción:** Un máster interuniversitario que forma a graduados para gestionar flujos complejos de materiales. Cubre métricas de simbiosis industrial y economía circular. Los proyectos suelen abordar materiales de construcción y subproductos minerales, ofreciendo herramientas para diseñar modelos de negocio circulares para residuos de piedra natural (por ejemplo, arrecifes artificiales o impresión 3D).

3.3. RUMANIA

Rumanía ha logrado avances significativos en la adaptación de su sistema de gestión de residuos a los requisitos de la Unión Europea; sin embargo, sigue teniendo una de las tasas de reciclaje de residuos municipales más bajas del bloque. En 2022, la generación de residuos municipales fue de aproximadamente 303 kg per cápita, muy por debajo de la media de la UE-27 (513 kg), pero la mayor parte sigue acabando en vertederos, con tasas de reciclaje de solo alrededor del 12–14%, muy por debajo de los objetivos establecidos para 2025.

Algunas iniciativas recientes, como el sistema nacional de Depósito y Retorno (SGR) para envases de bebidas, lanzado a finales de 2023, han mejorado significativamente la recogida de residuos de envases. Sin embargo, estos flujos representan solo una pequeña parte del volumen total de residuos y no abordan los residuos generados por la construcción, demolición, minería y cantera. Al mismo tiempo, Rumanía cuenta con importantes recursos de piedra ornamental cuya extracción y procesamiento generan grandes cantidades de residuos: cortes, lodos y finos que necesitan ser recuperados urgentemente bajo criterios de economía circular.

Estos desafíos estructurales han impulsado el desarrollo de una amplia gama de programas educativos tanto en formación profesional como en educación superior, centrados en la protección ambiental. Aunque la mayoría tiene un enfoque transversal, el contenido sobre clasificación de residuos, gestión integrada y tecnologías de reciclaje es especialmente relevante para la gestión de residuos minerales complejos, como los del sector de la piedra ornamental.

3.3.1. Gestión de residuos en la educación y formación profesional (VET)

En Rumanía, la formación en gestión de residuos fuera del entorno universitario se organiza principalmente a través de programas de especialización acreditados por el ANC, vinculados a códigos profesionales específicos en el Catálogo de Ocupaciones Rumanas (COR). Estos cursos están dirigidos principalmente a gestores y técnicos medioambientales que trabajan en empresas que generan grandes cantidades de residuos industriales, como canteras y plantas de procesamiento de piedra.

Especialista en gestión de residuos (COR 213310)

- **Institución:** Diversos proveedores (acreditado por ANC)
- **Enlace:** [Detalles del curso](#)
- **Descripción:** Esta especialización, acreditada a nivel nacional, prepara a profesionales para coordinar actividades de gestión de residuos a nivel organizacional. El plan de estudios abarca la clasificación de residuos, el diseño de esquemas internos de recogida y la presentación de informes a las autoridades medioambientales. Para los operadores de minería y talla de piedra,

este perfil es esencial para gestionar los flujos de residuos minerales y desarrollar rutas de reciclaje en lugar de vertederos.

Oficial Ambiental (COR 325710)

- **Institución:** Diversos proveedores (acreditado por ANC)
- **Enlace:** [Ejemplo de curso](#)
- **Descripción:** Se centra en responsabilidades ambientales más amplias dentro de las empresas. Los participantes aprenden a identificar impactos medioambientales, asegurar el cumplimiento de los permisos y monitorizar las emisiones y los residuos. En las empresas extractivas, los titulados actúan como intermediarios clave entre los departamentos de producción y las autoridades regulatorias, asegurando el cumplimiento de la legislación medioambiental.

Oficial de Gestión de Residuos (Curso Vocacional Reconocido por el ANC)

- **Institución:** Diversos proveedores (acreditado por ANC)
- **Enlace:** [Detalles del curso](#)
- **Descripción:** Dirigido al personal directamente responsable de las operaciones diarias: clasificación, etiquetado y almacenamiento. La formación incluye la legislación rumana sobre residuos y el uso correcto de los códigos del Catálogo Europeo de Residuos (CEE). Esencial para evitar el vertido descontrolado de residuos de piedra y garantizar la trazabilidad en las canteras.

Especialista en gestión de residuos (especialización online)

- **Institución:** Academia Avangarde
- **Enlace:** [Curso online](#)
- **Descripción:** Una especialización totalmente online que combina actualizaciones regulatorias con estudios de caso aplicados. Cubre el Plan Nacional de Gestión de Residuos (PNGD) y las tecnologías de tratamiento. El formato flexible es especialmente adecuado para ingenieros en sectores geográficamente dispersos como la cantera, que necesitan integrar prácticas modernas de economía circular sin interrumpir las operaciones.

3.3.2. Gestión de residuos en la educación superior

En cuanto a la educación superior, varias universidades rumanas ofrecen programas específicos en gestión de residuos y economía circular, generalmente dentro del marco de las facultades de ingeniería ambiental. Estos cursos ofrecen formación avanzada en tecnologías de tratamiento y evaluación del ciclo de vida, habilidades clave para abordar los retos del sector de la piedra ornamental desde una perspectiva sostenible.

M.Sc. en Ingeniería de Recuperación de Residuos

- **Institución:** Universidad Babeş-Bolyai (Cluj-Napoca)

- **Enlace:** [Programa de Máster](#)
- **Descripción:** Forma especialistas en la ingeniería de la transformación de residuos en recursos secundarios. Los temas centrales incluyen la caracterización de residuos, la optimización de la tecnología de reciclaje y los indicadores de economía circular. Su perfil multidisciplinar la hace adecuada para abordar cuestiones complejas como la reutilización de lodos de piedra en materiales de construcción.

M.Sc. en Gestión, Tratamiento y Valoración de Residuos

- **Institución:** Universidad Técnica Gheorghe Asachi de Iași
- **Enlace:** [Programa de Máster](#)
- **Descripción:** Se centra en ingeniería avanzada de gestión de residuos. El plan de estudios abarca prevención, diseño de plantas de tratamiento y recuperación de materias primas secundarias. Los graduados están preparados para diseñar sistemas integrados para residuos industriales, directamente aplicables a optimizar la valoración de los residuos minerales en regiones mineras.

B.Sc. en Ingeniería Ambiental

- **Institución:** Universidad Babeş-Bolyai (Cluj-Napoca)
- **Enlace:** [Programa de Grado](#)
- **Descripción:** Proporciona una base amplia en ciencias ambientales, control de la contaminación y gestión de residuos. Los estudiantes realizan proyectos prácticos con autoridades locales y empresas. Altamente relevante para la planificación de sistemas de residuos en construcción y minería, donde los ingenieros deben diseñar esquemas de monitorización y garantizar el cumplimiento legal.

3.4. CROACIA

Croacia genera entre 6 y 7 millones de toneladas de residuos al año, lo que equivale a aproximadamente 1,3–1,5 toneladas por habitante. Una parte significativa de estos residuos proviene de actividades de construcción, demolición, minería y cantera, especialmente en forma de residuos minerales. Aunque el país ha mejorado en cuanto a recogida selectiva y reciclaje, el vertedero sigue siendo el principal método de tratamiento de residuos municipales, por lo que se están intensificando los esfuerzos para cumplir los objetivos europeos de reciclaje y reducción del uso de vertederos.

El Plan de Gestión de Residuos 2023–2028 de la República de Croacia refuerza medidas como la prevención, la recogida separada y el reciclaje, al tiempo que promueve la creación de centros regionales de gestión de residuos, con especial atención a los residuos de construcción y los minerales. Esta estrategia es especialmente relevante para el consolidado sector de minerales no metálicos de Croacia, donde las canteras

históricas de piedra ornamental generan grandes volúmenes de cortes, lodos y residuos minerales que podrían recuperarse como materias primas secundarias.

En este contexto, el sistema educativo croata ofrece una combinación de programas de formación y formación profesional (VET) en protección medioambiental y cantera, junto con microtitulaciones para adultos y una amplia gama de programas de educación superior en ingeniería ambiental y civil.

3.4.1. Gestión de residuos en la educación y formación profesional (VET)

A nivel de educación y formación profesional (VET), Croacia ofrece tanto programas iniciales de educación secundaria superior como titulaciones para adultos, con un enfoque estrechamente vinculado a la protección ambiental y la eficiencia de los recursos. Aunque la mayoría de los planes de estudio tienen un enfoque transversal, las habilidades adquiridas, especialmente en monitoreo ambiental y logística de residuos, son fácilmente aplicables a la construcción y explotación de piedras ornamentales.

Técnico en Protección Ambiental (Ekološki tehničar)

- **Institución:** Diversas escuelas de formación profesional (por ejemplo, Escuela de Construcción, Ciencias y Minería Varaždin)
- **Enlace:** [Detalles del perfil](#)
- **Descripción:** Una titulación de educación secundaria superior de cuatro años (ISCED 3–4) que prepara a técnicos para monitorizar y proteger los medios ambientales en contextos industriales. Los estudiantes estudian legislación medioambiental, evaluación de impacto y módulos dedicados a la gestión de residuos (clasificación, recogida, reciclaje). Estas competencias son directamente aplicables al monitoreo de los flujos de polvo y lodos en instalaciones de cantera.

Cantero / Técnico en cantería (Klesar / Klesarski tehničar)

- **Institución:** Klesarska škola Pučišća (Escuela de Albañilería de Piedra)
- **Enlace:** [PDF del currículo](#)
- **Descripción:** Situada en la isla de Brač, esta escuela especializada ofrece programas de extracción de canteras, corte y acabado de piedra natural. Aunque la gestión de residuos no es una materia independiente, el plan de estudios incorpora resultados relacionados con el uso racional de materias primas, la minimización de pérdidas de piedra y la manipulación segura de lodos y retales, directamente relevantes para la gestión sostenible de las canteras.

Micro-cualificación en gestión de residuos (Gospodarenje otpadom)

- **Institución:** Proveedores de Educación para Adultos (Programa de Vales)
- **Enlace:** [Detalles del programa](#)

- **Descripción:** Impartida bajo el sistema nacional de vales para la educación de adultos, esta microcualificación (aprox. 75 horas) abarca la legislación croata y europea, la clasificación y los principios básicos de economía circular sobre residuos. Se dirige a los trabajadores que manejan residuos en la construcción, servicios municipales y empresas de procesamiento de piedra.

Especialista certificado en gestión de residuos y protección ambiental

- **Institución:** Seminari.hr / Verlag Dashöfer
- **Enlace:** [Detalles del curso](#)
- **Descripción:** Un curso avanzado en línea para profesionales que requieren conocimientos operativos y regulatorios. Cubre la planificación integrada del sistema, la gestión de residuos peligrosos y las mejores técnicas de reciclaje disponibles. El perfil coincide con las necesidades de los gestores responsables de grandes corrientes de residuos minerales en las plantas de cantera.

3.4.2. Gestión de residuos en la educación superior

En cuanto a la educación superior, las universidades croatas ofrecen programas de grado y posgrado en ingeniería ambiental e ingeniería civil, que abordan específicamente los enfoques de residuos minerales, residuos de construcción y demolición, y economía circular orientados a recuperar valor de estos materiales.

B.Sc. en Ingeniería Ambiental

- **Institución:** Universidad de Zagreb, Facultad de Ingeniería Geotécnica (Varaždin)
- **Enlace:** [Detalles del programa](#)
- **Descripción:** Proporciona competencias básicas en protección ambiental, gestión de residuos y geotecnia. Los módulos sobre gestión de residuos sólidos y monitoreo ambiental preparan a los estudiantes para planificar y supervisar sistemas en minería y construcción, incluyendo la valoración de residuos minerales.

M.Sc. en Ingeniería Ambiental (Especialidad de Gestión Ambiental)

- **Institución:** Universidad de Zagreb, Facultad de Ingeniería Geotécnica
- **Enlace:** [Detalles de la pista](#)
- **Descripción:** Profundiza las competencias analíticas y de gestión para el uso sostenible de los recursos. Las materias avanzadas abarcan estrategias de economía circular, evaluación de riesgos y planificación regional de infraestructuras. Los graduados están preparados para diseñar soluciones integradas para los flujos de residuos minerales de alto volumen procedentes de la construcción y la cantera.

Curso de Gestión de Residuos (Ingeniería Civil)

- **Institución:** Universidad Josip Juraj Strossmayer de Osijek
- **Enlace:** [PDF del curso](#)
- **Descripción:** Introduce a futuros ingenieros civiles en sistemas integrados de gestión de residuos, con especial atención a la recuperación de residuos de construcción y demolición. Esto proporciona a los graduados los conocimientos necesarios para incorporar áridos reciclados y subproductos de piedra en proyectos de infraestructura.

Curso de Gestión Sostenible de Residuos y Reciclaje

- **Institución:** Universidad de Slavonski Brod
- **Enlace:** [Detalles del curso](#)
- **Descripción:** Se centra en la gestión sostenible de residuos sólidos y tecnologías de reciclaje dentro del programa de Eco-ingeniería. Los estudiantes analizan líneas de clasificación y modelos de economía circular, preparándose para roles en empresas industriales que buscan aumentar la recuperación de materiales, incluidos productos minerales.

Silvicultura urbana y estudios de protección ambiental

- **Institución:** Universidad de Zagreb, Facultad de Silvicultura
- **Enlace:** [Detalles del programa](#)
- **Descripción:** Integra las ciencias ecológicas con la gestión del entorno urbano. Los graduados contribuyen a la planificación de infraestructuras verdes donde los residuos minerales y de construcción interactúan con objetivos más amplios de gestión del paisaje.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo presenta un análisis comparativo de los programas educativos y planes de estudio relacionados con la gestión de residuos en la industria de la piedra ornamental en los países participantes. El objetivo principal es evaluar hasta qué punto estos programas de formación están alineados con los objetivos del proyecto, especialmente la promoción de prácticas sostenibles de gestión de residuos dentro del sector.

Al comparar el contenido formativo, las habilidades adquiridas y las metodologías aplicadas, este análisis busca destacar buenas prácticas que promueven la sostenibilidad y la eficiencia en la gestión de residuos generados durante la extracción y el procesamiento de piedra. Además, examina cómo los diferentes sistemas educativos nacionales están respondiendo a los desafíos ambientales específicos que plantea esta industria.

El estudio también identifica carencias significativas, es decir, áreas donde los programas actuales no responden a las necesidades reales del sector ni abordan adecuadamente ciertos problemas medioambientales. Estos hallazgos forman la base de una serie de recomendaciones destinadas a mejorar la formación profesional futura.

En última instancia, el objetivo es asegurar que las nuevas generaciones de profesionales estén preparadas para contribuir activamente a la economía circular, la gestión ambiental y el desarrollo sostenible a lo largo de toda la cadena de valor de la piedra ornamental.

4.1. ALEMANIA

Alemania es uno de los líderes más consolidados de Europa en gestión de residuos. Su oferta educativa está profundamente integrada en un sólido marco de economía circular, respaldado por una legislación que prioriza el reciclaje de alta calidad frente a la simple eliminación.

4.1.1. Gestión de residuos aplicada a la industria y sostenibilidad

El ecosistema educativo alemán en gestión de residuos es amplio y está estrechamente vinculado al sector productivo. La formación profesional dual incluye ocupaciones como *Fachkraft für Kreislauf und Abfallwirtschaft* (Técnico en Reciclaje y Gestión de Residuos), que combina prácticas en empresas con formación técnica en escuelas especializadas. Además, existen programas escolares centrados en la protección ambiental.

A esto se suman títulos altamente especializados de grado y posgrado, como Ingeniería de Procesos Ambientales e Ingeniería de Reciclaje, que desarrollan habilidades avanzadas en tecnologías de tratamiento de residuos, eficiencia de recursos y evaluación del ciclo de vida (ACL). Para los fines de este proyecto, Alemania representa un claro ejemplo de cómo un sistema educativo maduro puede apoyar políticas ambiciosas de economía circular.

4.1.2. Integración de la gestión de residuos en la industria de la roca ornamental

A pesar de la solidez del sistema, la industria de la piedra ornamental no se aborda como un enfoque específico, sino que se incluye dentro de la categoría más amplia de residuos de construcción y minerales. Los aprendices y estudiantes adquieren conocimientos sobre el manejo de tierra, piedras y escombros como parte de las operaciones estándar, principalmente relacionadas con la producción de áridos o el reciclaje de hormigón.

Estas habilidades se pueden transferir fácilmente a la gestión de materiales de cobertura, cortes de piedra y subproductos de canteras. Sin embargo, los planes de estudio rara vez abordan aspectos específicos del sector, como el valor estético de la piedra recuperada, el manejo técnico de lodos finos o el desarrollo de productos de alto valor a partir de residuos de piedra. Dado el fuerte tejido industrial e investigativo del

país, existe un gran potencial para desarrollar cadenas de valor avanzadas si los programas de formación incorporan estudios de caso centrados en roca ornamental.

4.1.3. Énfasis en la legislación y el cumplimiento

El sistema alemán pone un fuerte énfasis en los aspectos legales y organizativos de la gestión de residuos. Un elemento clave es el requisito legal de que muchas instalaciones cuenten con un *Betriebsbeauftragte:r für Abfall* (Gestor de Residuos de la Empresa). Esta figura profesional es responsable del cumplimiento normativo, la documentación, las auditorías internas y las relaciones con las autoridades.

Los programas de formación y actualización para este puesto aseguran un conocimiento detallado de la Ley de Economía Circular (KrWG) y de las normativas técnicas aplicables. En el caso de canteras y plantas de procesamiento de piedra, esta cifra representa un pilar clave para el cumplimiento, aunque desde la perspectiva del proyecto, hay margen para evolucionar este papel: pasar de simplemente cumplir con la normativa a promover activamente la circularidad, explorando nuevas oportunidades para la simbiosis industrial con los residuos de piedra.

4.1.4. Proyectos finales y estudios de caso

Las universidades de ciencias aplicadas (*Fachhochschulen*) en Alemania promueven activamente el aprendizaje basado en proyectos y las tesis desarrolladas en colaboración con la industria. Muchos estudiantes de ingeniería ambiental y reciclaje ya están trabajando en temas relacionados con subproductos minerales y diseño de plantas de tratamiento.

Incorporar el sector de la piedra ornamental en este contexto no requeriría grandes cambios curriculares, sino una mejor definición de enfoques y temas. La colaboración con asociaciones industriales podría dar lugar a proyectos que analicen la viabilidad de nuevos productos a partir de residuos de piedra, optimicen las cadenas de procesamiento o evalúen herramientas digitales, incluida la blockchain, para rastrear flujos circulares de materiales.

4.1.5. Conclusiones generales

Alemania es un referente educativo muy maduro, especialmente en lo que respecta al reciclaje de residuos minerales. El principal desafío no radica en la falta de habilidades, sino en la ausencia de una conexión clara con las especificidades del sector de la piedra ornamental.

Para el desarrollo del currículo RockChain, la experiencia alemana proporciona contenido técnico avanzado sobre reciclaje de residuos minerales, optimización de procesos y modelos regulatorios. A su vez, el proyecto puede ofrecer una perspectiva sectorial necesaria, destacando la piedra ornamental como un campo de aplicación de alto valor para estas habilidades. Este enriquecimiento mutuo, que combina la experiencia sistémica de Alemania con una exploración enfocada de los residuos de

pedra, contribuirá a un currículo europeo técnicamente ambicioso y alineado con la realidad industrial.

4.2. ESPAÑA

Un análisis del panorama educativo en España revela un ecosistema sólido pero algo fragmentado. Consta de Certificados Profesionales interdisciplinares centrados en residuos urbanos e industriales, formación profesional especializada en industrias extractivas y una amplia gama de másteres en Ingeniería Ambiental y Economía Circular.

4.2.1. Gestión de residuos aplicada a la industria y sostenibilidad

En conjunto, estos programas abordan habilidades técnicas clave relacionadas con la jerarquía de residuos, tecnologías de tratamiento, prevención de la contaminación y estrategias de economía circular aplicables a sectores intensivos en recursos. Sin embargo, la conexión entre estas habilidades generales y los desafíos específicos de sostenibilidad en la cadena de valor de la piedra ornamental (como la gestión de lodos de corte, cortes o materiales de recubrimiento) permanece en gran medida implícita en los planes de estudio, sin abordarse de manera diferenciada o especializada.

4.2.2. Integración de la gestión de residuos en la industria de la roca ornamental

La integración directa con el sector es más evidente en instituciones especializadas como la Escuela de Mármol de Fines, o en certificados específicos como IEXD0308 (operaciones auxiliares en plantas de procesamiento de piedra natural). En estos casos, la formación se realiza en entornos reales de procesamiento de piedra, donde la gestión de residuos forma parte de los resultados del aprendizaje, integrada con contenidos sobre eficiencia en el uso de materiales, higiene industrial y seguridad laboral.

En cambio, la formación profesional general y los programas universitarios tienden a tratar la piedra como una subcategoría de residuos de construcción y demolición (CDW) o como residuos industriales inertes. Por lo tanto, aunque los estudiantes adquieren habilidades transferibles, no adquieren una comprensión completa del ciclo de vida de los residuos de piedra ornamental, ni de su potencial de recuperación más allá de la trituración básica para agregados.

4.2.3. Énfasis en la legislación y el cumplimiento

Tanto la formación profesional como la educación superior en España otorgan gran importancia a la legislación medioambiental. Certificados como *SEAGO108* y cursos especializados en CDW dedican un tiempo significativo al estudio de la normativa española y europea, la Responsabilidad Extendida del Productor (EPR) y la planificación de la gestión de residuos. De manera similar, los títulos universitarios priorizan los marcos de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA).

Este enfoque regulatorio proporciona una base sólida para un sector como la piedra ornamental, que opera bajo estrictas regulaciones mineras y medioambientales. Sin embargo, falta formación específica sobre cómo traducir estas obligaciones genéricas en protocolos concretos para la gestión de lodos de corte o materiales de cantera. Además, la aplicación de herramientas digitales, como la trazabilidad a través de blockchain para mejorar la transparencia y el cumplimiento, aún no forma parte del currículo actual.

4.2.4. Proyectos finales y estudios de caso

La mayoría de los másteres en ingeniería ambiental o economía circular incluyen un proyecto final o tesis, a menudo desarrollado en colaboración con empresas. Estos proyectos representan una gran oportunidad—aún en gran parte sin explotar—para vincular la educación con los retos que enfrenta el sector.

Actualmente, los estudios de caso se centran en residuos urbanos, aguas residuales o CDW genéricos. Dirigir estos proyectos hacia temas como la recuperación de lodos, el ecodiseño de productos de piedra o el uso de residuos de piedra como materia prima secundaria podría aumentar significativamente la relevancia y especialización de los programas. Esto crearía un perfil de graduado familiarizado con los flujos específicos de residuos del sector de extracción y procesamiento de piedra.

4.2.5. Conclusiones generales

En España, ya existen muchos de los elementos necesarios para construir un currículo avanzado en gestión de residuos de piedras ornamentales, aunque actualmente están dispersos:

- Formación profesional interdisciplinar en gestión de residuos.
- Un centro nacional de referencia especializado en piedra natural (Escuela de Mármol).
- Programas universitarios de alto nivel en ingeniería y economía circular.

Sin embargo, la relación entre estos elementos y los flujos específicos de materiales en el sector de la piedra ornamental sigue siendo débil. Para el proyecto RockChain, esto representa una clara oportunidad estratégica: diseñar un currículo modular que actúe como puente. Este plan de estudios debería conectar las habilidades genéricas existentes con contenidos específicos de cada sector, trazabilidad digital (blockchain) y formas innovadoras de añadir valor.

En lugar de duplicar las ofertas existentes, RockChain debería centrarse en interconectar estas fortalezas dispersas, adaptándolas a las necesidades reales del sector de la piedra ornamental.

4.3. RUMANIA

4.3.1. Gestión de residuos aplicada a la industria y sostenibilidad

Los programas de formación en gestión de residuos en Rumanía tienen un enfoque marcadamente práctico y están orientados al cumplimiento normativo. Los cursos de formación profesional acreditados por el ANC, como Specialist în managementul deșeurilor y Responsable de mediu, se centran en la aplicación de la legislación vigente, el desarrollo de planes de gestión de residuos para empresas y la organización logística de la recogida.

A nivel universitario, másteres como Ingineria valorificării deșeurilor ofrecen una visión más estratégica, abordando tecnologías de tratamiento e indicadores de economía circular. En conjunto, estos programas preparan a profesionales para operar sistemas integrados en entornos industriales, incluidas industrias pesadas donde los residuos minerales son significativos.

4.3.2. Integración de la gestión de residuos en la industria de la roca ornamental

Actualmente, ninguno de los programas analizados está específicamente orientado al sector de la piedra ornamental. Este sector se aborda de forma indirecta, dentro de módulos generales sobre residuos industriales o mineros. Aunque los perfiles profesionales formados en Rumanía teóricamente tienen las habilidades necesarias para gestionar residuos como lodos o cortes de piedra, la falta de ejemplos concretos crea una brecha de conocimiento.

Sin una formación específica y sectorial, es probable que los graduados desconozcan aspectos técnicos relevantes, como el comportamiento reológico particular de los lodos de piedra o las limitaciones estéticas de los productos reciclados. Integrar estudios de caso vinculados a experiencias locales mejoraría significativamente la aplicabilidad de la formación al sector.

4.3.3. Énfasis en la legislación y el cumplimiento

La formación profesional en Rumanía pone un énfasis significativo en la legislación ambiental nacional y europea, como la Ley 211/2011. Los estudiantes deben demostrar un conocimiento detallado de los permisos, obligaciones de reporte y normativas aplicables. Para las empresas mineras, esto proporciona una base sólida para el cumplimiento normativo.

Sin embargo, desde la perspectiva del sector de la piedra ornamental, existe la oportunidad de ir más allá del cumplimiento básico. Los planes de estudio podrían incorporar contenido sobre las Mejores Técnicas Disponibles (BAT) para la restauración de sitios mineros y el seguimiento a largo plazo de residuos de canteras, aspectos que a menudo se pasan por alto en cursos más generales

4.3.4. Proyectos finales y estudios de caso

Los programas de máster suelen incluir proyectos de investigación aplicada, frecuentemente en colaboración con administraciones locales. Actualmente, estos proyectos se centran principalmente en residuos municipales o peligrosos. Redirigir parte de este esfuerzo académico hacia los retos que enfrenta el sector (por ejemplo, optimizar el tratamiento de lodos en talleres de corte de mármol) generaría una valiosa base de conocimiento alineada con los objetivos del proyecto RockChain.

4.3.5. Conclusiones generales

Rumanía cuenta con un sistema educativo denso y coherente en gestión de residuos, con fuertes componentes técnicos y legales. Sin embargo, la industria de la piedra ornamental aún no es visible como contexto de formación. Para un proyecto como RockChain, el país ofrece una base sólida de habilidades, pero con una clara necesidad de contextualización sectorial.

La incorporación de herramientas digitales y el uso de lugares reales de demostración podrían transformar los residuos de piedra, actualmente percibidos como una carga industrial invisible, en un campo atractivo de aprendizaje técnico e innovación aplicada.

4.4. CROACIA

4.4.1. Gestión de residuos aplicada a la industria y sostenibilidad

Croacia ofrece un ecosistema formativo coherente que combina programas de educación profesional de educación secundaria superior, microtitulaciones para adultos y títulos universitarios en ingeniería ambiental. Estos programas abordan temas clave como la supervisión, la clasificación de residuos y la planificación regional.

Dado que la política nacional prioriza la reducción de la eliminación de residuos minerales, la oferta educativa está bien alineada con los objetivos de sostenibilidad. Esto ha permitido que cada vez más técnicos sean formados para entender los residuos no solo como un problema de eliminación, sino como parte de estrategias circulares más amplias.

4.4.2. Integración de la gestión de residuos en la industria de la roca ornamental

Croacia destaca entre los países socios por contar con una escuela especializada en cantería, la Klesarska škola Pučišća, situada en una región con una fuerte tradición en piedra ornamental. La formación profesional inicial ofrece un conocimiento profundo de las propiedades y el procesamiento de la piedra. Sin embargo, el contenido sobre la gestión de residuos está integrado en todos los ámbitos, por ejemplo en el uso racional de materiales, en lugar de como módulos específicos.

Por otro lado, los programas universitarios de ingeniería ambiental desarrollan habilidades avanzadas en gestión de residuos de construcción. La conexión entre la formación artesanal en cantería y el enfoque más técnico de la ingeniería ambiental sigue estando en gran medida sin explotar. El sector se beneficiaría enormemente de proyectos conjuntos que aborden la recuperación de residuos de piedra y la restauración de canteras.

4.4.3. Énfasis en la legislación y el cumplimiento

Programas de formación como *Gospodarenje otpadom* prestan especial atención a la legislación croata y europea, preparando a profesionales para trabajar en centros de reciclaje e interactuar con autoridades de inspección. Este enfoque legal refuerza el cumplimiento normativo en las canteras. Sin embargo, la formación actual rara vez aborda cuestiones emergentes como la monitorización basada en datos, los Pasaportes Materiales o el uso de blockchain para rastrear subproductos de piedra a lo largo de la cadena de valor.

4.4.4. Proyectos finales y estudios de caso

Los programas universitarios suelen incorporar proyectos prácticos. Con pequeños ajustes, estos podrían incluir regiones productoras de piedra ornamental, como Brač o Istria, como laboratorios vivos. Los estudiantes podían analizar flujos de chatarra y lodos para diseñar circuitos circulares en colaboración con los municipios locales. En la formación profesional, introducir pequeños proyectos sobre minimización de residuos en talleres escolares ayudaría a interiorizar la economía circular a través de la práctica diaria.

4.4.5. Conclusiones generales

Croacia aporta un valor único al proyecto: una combinación de formación profesional especializada en mampostería y una sólida educación superior en ingeniería ambiental. La principal debilidad no es la falta de contenido, sino la ausencia de conexiones explícitas entre la formación artesanal y la gestión sistémica de residuos.

La oportunidad estratégica para RockChain radica en crear "puentes" formativos, donde los estudiantes de cantería y ingeniería ambiental colaboren en unidades de aprendizaje comunes. Esta metodología colaborativa aprovecharía las fortalezas de ambos mundos para generar ejemplos reales de innovación sectorial, alineados con los objetivos de la economía circular europea.

5. MEJORES PRÁCTICAS

Un análisis comparativo de los programas de formación en gestión de residuos en Alemania, España, Rumanía y Croacia revela varios elementos comunes que caracterizan

las propuestas más efectivas en formación profesional (VT), educación superior y educación continua. Al mismo tiempo, se identifican carencias persistentes en relación con la industria de la piedra ornamental, especialmente en lo que respecta a la integración de la economía circular y la trazabilidad digital de los flujos de residuos.

5.1. Características comunes de los planes de estudio efectivos de gestión de residuos

El análisis identifica cinco pilares fundamentales que definen el estándar actual de calidad en la educación en gestión de residuos entre los países socios

5.1.1. Marco legal claro y bien integrado

En los cuatro países, los programas más sólidos vinculan la gestión de residuos a un marco regulatorio riguroso. Los estudiantes reciben formación para comprender y aplicar la jerarquía de residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor (EPR) y los procedimientos de permisos medioambientales.

- **Rumanía y Alemania:** Los perfiles acreditados (como especialistas en gestión de residuos o gestores medioambientales) hacen que el cumplimiento legal y la documentación sean elementos clave del aprendizaje.
- **España y Croacia:** Los programas de formación profesional y universitarios integran sistemáticamente la legislación nacional y las directivas europeas, como la Directiva Marco de Residuos, en módulos técnicos.

Impacto: Los graduados reciben formación para diseñar sistemas que cumplan con la normativa en entornos industriales, una habilidad esencial en sectores altamente regulados como la minería y el procesamiento de piedra.

5.1.2. Enfoque práctico de los flujos reales de residuos

Los programas eficaces evitan tratar los residuos como un concepto abstracto, centrándose en su lugar en categorías específicas como residuos industriales, residuos de construcción y demolición (CDW) y residuos mineros.

- **Alemania y España:** Centrarse en residuos minerales, reciclaje de agregados y gestión de residuos.
- **Rumanía:** Los másteres en ingeniería abordan flujos complejos como lodos industriales y residuos peligrosos.
- **Croacia:** Vincula la ingeniería civil con la planificación de centros regionales de gestión de residuos.

Impacto: Las habilidades adquiridas (como la clasificación de residuos, la segregación y la logística) son directamente transferibles a los residuos pesados y voluminosos típicos de la industria de la piedra ornamental (material estéril, cortes, lodos).

5.1.3. Aprendizaje basado en proyectos y en el trabajo

Una fortaleza recurrente es la combinación de teoría y práctica.

- **Educación superior:** En todos los países, los programas incluyen tesis o proyectos finales desarrollados con empresas o entidades públicas.
- **Formación profesional:** Los sistemas duales (como en Alemania) o la formación en el puesto de trabajo (España, Croacia) permiten el aprendizaje en entornos reales. En Rumanía, los cursos acreditados por la ANC incluyen tareas aplicadas como planes de gestión de residuos para empresas.

Impacto: Este enfoque ofrece una vía directa hacia RockChain. Las estructuras existentes pueden adaptarse fácilmente para incluir casos prácticos centrados en piedra ornamental.

Integración transversal de la economía circular y la eficiencia de los recursos

Los planes de estudio están pasando de una visión centrada en la eliminación de residuos a una que considera los residuos como un recurso utilizable.

- **Ingeniería:** Se están promoviendo el análisis de flujo de materiales y la evaluación del ciclo de vida (LCA).
- **Formación profesional:** Muchos cursos incluyen contenido sobre eficiencia de recursos y el uso de materias primas secundarias.

Impacto: Aunque rara vez se menciona explícitamente la piedra ornamental, las herramientas conceptuales para tratar los residuos como recurso ya están presentes. Esto allana el camino para la introducción de circuitos circulares centrados en subproductos de la piedra (como áridos reciclados o materiales de restauración).

5.1.4. Modularidad y orientación al aprendizaje a lo largo de la vida

Una característica estructural común es la diversidad de formatos educativos, lo que facilita la formación continua.

- **Certificaciones** específicas: España, Rumanía y Croacia ofrecen certificados dirigidos a especialistas y gestores medioambientales.
- **Formación continua** obligatoria: En Alemania, la formación inicial se complementa con cursos obligatorios de actualización para gestores de residuos en empresas.

Impacto: Esta flexibilidad apoya el aprendizaje permanente y permite a técnicos experimentados actualizar sus habilidades sin abandonar el mercado laboral. Esto valida el enfoque de RockChain: diseñar unidades de formación flexibles que puedan integrarse fácilmente tanto en la formación profesional como en la educación superior.

5.2. Lagunas y lecciones para un proyecto centrado en piedra ornamental y economía circular

A pesar de los aspectos positivos identificados en los programas educativos nacionales, el análisis pone de relieve tres carencias críticas que justifican directamente la existencia del proyecto RockChain:

5.2.1. Falta de un enfoque sectorial específico en la piedra ornamental

La mayoría de los programas educativos adoptan una perspectiva sectorial neutral, clasificando los residuos en categorías amplias como "*residuos de construcción y demolición*" o "*residuos industriales*". Incluso en países con una fuerte tradición en piedra natural, como España o Croacia, el contenido rara vez aborda los retos técnicos específicos del sector. En particular, los cursos generalistas no suelen incluir:

- Las características físicas y ambientales específicas del lodo generado en el corte de piedra (como los pasteles de filtración).
- La gestión de los residuos de cantera como una responsabilidad ambiental y paisajística a largo plazo.
- El diseño de productos reciclados o híbridos a partir de residuos de piedra, como piedras artificiales.

Aunque existen escuelas especializadas, los aspectos medioambientales suelen tratarse de forma implícita, sin consolidarse como un campo de formación estructurado con indicadores de innovación.

5.2.2. Fragmentación entre habilidades técnicas, medioambientales y digitales

Una debilidad recurrente es la falta de conexión entre disciplinas clave, lo que crea un efecto de "silo". Actualmente, se enseñan por separado tres conjuntos de habilidades esenciales:

- Técnico: Corte, procesamiento y explotación de canteras (formación profesional).
- Medioambiental: Jerarquía de residuos y rutas de recuperación (ingeniería).
- Digital: Trazabilidad y monitorización de datos (TI).

Los programas de extracción rara vez están vinculados a la ingeniería ambiental, y prácticamente ninguno de los programas mapeados integra herramientas digitales de trazabilidad, como blockchain, en la enseñanza de la gestión de residuos. Esto limita la capacidad de los graduados para diseñar soluciones integradas, donde la eficiencia técnica y la transparencia ambiental se refuerzan mutuamente.

5.2.3. Subuso de proyectos aplicados al sector de la piedra

Aunque el aprendizaje basado en proyectos es una metodología ampliamente utilizada, los casos centrados en piedras ornamentales son escasos. Los proyectos finales suelen girar en torno a residuos municipales o aguas residuales.

Esto representa una oportunidad perdida: el sector de la piedra presenta problemas complejos y multidimensionales que abarcan paisaje, materiales y circularidad, ideales para el trabajo interdisciplinar estudiantil.

5.3. Resumen de recomendaciones para RockChain

Basándose en las mejores prácticas y las lagunas identificadas, se propone la siguiente hoja de ruta para el desarrollo del currículo RockChain:

5.3.1. Aprovechar las fortalezas existentes

No hace falta empezar de cero. Los cimientos legales, tecnológicos y de economía circular ya presentes en los países socios deberían reutilizarse y vincularse explícitamente a los flujos de residuos específicos del sector de la piedra ornamental (lodos, cortes, relaves y residuos de demolición a base de piedra).

5.3.2. Dar visibilidad al sector en proyectos y escenarios de aprendizaje

Convierte el aprendizaje basado en proyectos en desafíos específicos para el sector, utilizando datos reales o simulados de canteras y plantas de procesamiento como base para tareas, estudios de caso o juegos serios.

5.3.3. Superar la fragmentación entre las habilidades técnicas, medioambientales y digitales

Diseña resultados de aprendizaje que integren simultáneamente:

- Conocimiento de procesos (extracción y transformación de piedra).
- Gestión ambiental (jerarquía de residuos, rutas de recuperación).
- Trazabilidad digital (grabación de datos, conceptos básicos de blockchain).

5.3.4. Utilizar formatos modulares compatibles con formación profesional, universidad y formación continua

Estructura RockChain como un conjunto de módulos cortos y acumulativos que pueden integrarse fácilmente en ciclos de formación profesional, programas universitarios y educación de adultos, aportando valor sin necesidad de reformar los planes de estudio existentes.

5.3.5. Posicionamiento de piedra ornamental como maletín piloto europeo

Aprovechando las fortalezas complementarias de Alemania, España, Rumanía y Croacia para presentar el sector de la piedra como un modelo de innovación donde los principios de economía circular, tecnologías avanzadas de gestión de residuos y trazabilidad digital pueden ser probados dentro del contexto Erasmus+.

6. CONCLUSIONES

Una revisión comparativa de los programas de formación en gestión de residuos en Alemania, España, Rumanía y Croacia revela un panorama educativo en evolución, pero que aún presenta carencias estructurales significativas en el sector de la piedra ornamental.

Por un lado, la gestión de residuos es una disciplina bien establecida: hay perfiles profesionales de formación dual en reciclaje y medio ambiente, especializaciones acreditadas y una amplia gama de títulos de grado y posgrado en ingeniería. Por otro lado, esta oferta permanece mayormente horizontal: está organizada en torno a categorías generales como residuos urbanos o de construcción, con pocas referencias específicas a los flujos materiales y las realidades operativas de la piedra ornamental.

Uno de los hallazgos más relevantes es la desconexión entre la solidez técnica de los sistemas de gestión de residuos y la ausencia de contenido específico en los planes de formación. Los países socios tienen un buen dominio de conceptos clave como la jerarquía de residuos, el cumplimiento normativo y la economía circular. Sin embargo, estas habilidades rara vez alcanzan los perfiles profesionales más cercanos al sector: operadores de canteras, trabajadores de plantas de procesamiento o directivos en pymes.

El problema no es la falta de formación, sino su desalineación: los programas existentes son demasiado generales o académicos para abordar desafíos específicos como la gestión del barro, la roca residual de cantera o el procesamiento de residuos.

Desde un punto de vista metodológico, todos los países analizados muestran una clara preferencia por combinar teoría y práctica. Los sistemas de formación profesional dual permiten el aprendizaje en contextos laborales reales, y los estudios universitarios requieren la realización de proyectos aplicados.

Este enfoque es ideal para un sector como la piedra ornamental, donde los residuos son visibles, abundantes y complejos. Actividades como planificar el tratamiento de lodos o diseñar estrategias para restaurar canteras son escenarios de formación ideales para trabajos y aprendizaje basados en proyectos a partir de juegos o simulaciones.

En todos los países, la formación pone un fuerte énfasis en la legislación y la documentación. Los profesionales aprenden a interpretar normativas, mantener registros e interactuar con las autoridades. Esta base regulatoria abre una oportunidad estratégica: los mismos principios que sustentan el cumplimiento normativo pueden extenderse al uso de sistemas digitales de trazabilidad.

Así, la formación actual centrada en el "cumplimiento documental" puede evolucionar hacia la transparencia digital, incorporando herramientas como blockchain para rastrear los residuos de piedra y materiales reciclados.

Un obstáculo persistente es que muchos programas avanzados en gestión de residuos están dirigidos a perfiles universitarios o de ingeniería. Hay pocas ofertas estructuradas para perfiles técnicos o de gestión intermedia, aunque son ellos quienes toman las decisiones diarias sobre la gestión de residuos en canteras o plantas.

Para activar el potencial circular del sector, es esencial adaptar los programas de formación en términos de idioma, duración y requisitos de acceso para que sean realmente accesibles a estos perfiles operativos.

Este análisis sugiere que la mejor estrategia para RockChain no es replicar lo que ya existe, sino complementar y redirigir los programas actuales. El reto radica en traducir las fortalezas de cada país en lecciones específicas para el sector de la piedra ornamental:

- Concienciar sobre el desperdicio de piedra como un problema.
- Conectando directamente los principios de la economía circular con la cadena de valor de "la cantera al mercado".
- Integrar la trazabilidad digital de una manera útil y comprensible para los operadores.

De este modo, RockChain puede cubrir una verdadera carencia de formación en los sistemas actuales, alineándose al mismo tiempo con las tendencias y prioridades de política pública identificadas en esta revisión comparativa.

7. REFERENCIAS

- Afonso, P., Bessa, T., Bernardo, E., & Novais, R. (2023). Un enfoque novedoso para la reutilización de residuos de la industria de la piedra natural en materiales compuestos. *Sostenibilidad*, 16(1), 64. <https://doi.org/10.3390/su16010064>
- Careddu, N., & Siotto, G. (2019). Piedras dimensionales en el mundo de la economía circular. *Política de Recursos*, 63, 101412. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101412>
- Lozano-Lunar, A., Pérez-Tapia, G., Fernández-Rodríguez, J. M., Jiménez, J. R., y Merino-Lechuga, A. M. (2025). Uso de residuos ornamentales de minería de roca como materia prima secundaria para la producción sostenible de mortero autocompactante. *Journal of Building Engineering*, 111, 113305. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.113305>

- Marras, G., Carcangiu, G., Meloni, P., & Careddu, N. (2022). Economía circular en la industria del mármol: Desde restos de piedra hasta pinturas sostenibles a base de agua. *Materiales de construcción y construcción*, 341, 127807. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127807>
- Moreira, A. M. M., Ribeiro, M. J., Ferreira, A., & Novais, R. (2022). Procesamiento de residuos de piedras ornamentales como materia prima secundaria en productos de construcción sostenibles: una reseña. *Sostenibilidad*, 14(23), 16071. <https://doi.org/10.3390/su142316071>
- Peñaranda Barba, M. A., Alarcón Martínez, V., Gómez Lucas, I., y Navarro Pedreño, J. (2021). Mitigación de los impactos ambientales en canteras de roca ornamental y áridos de piedra caliza en zonas áridas y semiáridas. *Revista Global de Ciencias y Gestión Ambiental*, 7(4), 565–586. <https://doi.org/10.22034/giesm.2021.04.06>
- Simão, L., Souza, M. T., Ribeiro, M. J., Montedo, O. R. K., Hotza, D., Novais, R. M., & Raupp-Pereira, F. (2021). Evaluación del potencial de reciclaje de residuos de plantas de procesamiento de piedra basada en características fisicoquímicas y oportunidades de mercado. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128678. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128678>
- Vagnon, F., Ghezzi, A., & Pellicelli, M. (2020). Nuevos desarrollos para la explotación sostenible de piedras ornamentales: una revisión sistemática. *Sostenibilidad*, 12(22), 9374. <https://doi.org/10.3390/su12229374>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA). (2015). *Perspectivas globales de gestión de residuos*. UNEP. <https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook>

Alemania – oferta de formación, gestión de residuos y contexto político

- Escuela profesional Butzbach. (2024). *Sustainable Environmental Engineering – Asistente Certificado de Protección Ambiental* [Descripción del programa]. Escuela profesional Butzbach. <https://berufsschule-butzbach.de/hoehere-berufsfachschule/umweltschutztechnik/>
- Agencia Federal de Empleo. (2024). *Reciclaje, medio ambiente y sostenibilidad (B.Eng.)*, Universidad de Ciencias Aplicadas Magdeburg-Stendal [Perfil de estudio]. Agencia Federal de Empleo. <https://web.arbeitsagentur.de/studienwahl>
- Instituto Federal de Educación y Formación Profesional. (2021). *Especialista en reciclaje y gestión de residuos / Tecnólogo medioambiental en economía circular*

- y gestión de residuos [perfil profesional]. BIBB. <https://www.bibb.de/en/berufeinfo.php/profile/abl01>
- Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza, Seguridad Nuclear y Protección del Consumidor (BMUV). (2020). *Ley de Economía Circular (KrWG)* [Ley de Economía Circular, versión consolidada]. BMUV. <https://www.bmu.de/gesetz/kreislaufwirtschaftsgesetz-krwg>
 - Cedefop. (2021). *Educación y formación profesional en Europa – Alemania* (Cedefop ReferNet VET en Europa). Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://data.europa.eu/doi/10.2801/936711>
 - Agencia Europea de Medio Ambiente. (2025a). *Gestión de residuos municipales – Perfil nacional de Alemania 2025*. Agencia Europea de Medio Ambiente. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/waste-and-recycling/municipal-and-packaging-waste-management-country-profiles-2025/de-municipal-waste-factsheet.pdf>
 - FEANI. (2024). *Ingeniería de Procesos Medioambientales y Reciclaje – Technische Universität Clausthal* [Listado de programas]. Base de datos europea de educación en ingeniería. <https://www.feani.org/education-database/environmental-process-engineering-and-recycling>
 - Universidad de Ciencias Aplicadas Magdeburgo-Stendal. (2025). *Reciclaje, medio ambiente y sostenibilidad (B.Eng.)* [Programa de grado]. Universidad de Ciencias Aplicadas Magdeburgo-Stendal. <https://studieren.h2.de/studiengaenge/bachelor/recycling-umwelt-und-nachhaltigkeit>
 - Universidad de Ciencias Aplicadas de Nordhausen. (2023). *Tecnología Ambiental y de Reciclaje (B.Eng.)* [Programa de estudios de grado]. Universidad de Ciencias Aplicadas de Nordhausen. <https://www.hs-nordhausen.de/studium/bachelor/umwelt-und-recyclingtechnik>
 - Hochschule Nordhausen. (2025). *Tecnología Ambiental y de Reciclaje (M.Eng.)* [Programa de estudios de máster]. Hochschule Nordhausen. <https://www.hs-nordhausen.de/studium/master/environmental-and-recycling-technology>
 - Cámara de Industria y Comercio Lahn-Dill. (2022). Cursos de formación para oficiales de residuos. IHK Lahn-Dill. <https://www.lahn-dill.ihk.de>
 - Construcción de economía circular. (2024). *Residuos minerales de construcción – Seguimiento 2022* [Informe de seguimiento sobre residuos minerales de construcción]. Iniciativa Construcción de Economía Circular. <https://www.kreislaufwirtschaft-bau.de/Download/Bericht-14.pdf>

- Conferencia Permanente de los Ministros de Educación y Asuntos Culturales. (2013). *Plan de estudios marco para el Asistente de Protección Ambiental* [currículo marco]. KMK. <https://www.kmk.org/dokumentation/rechtsvorschriften/berufliche-schulen.html>
- Universidad Tecnológica de Clausthal. (2024). *Ingeniería de Procesos Ambientales y Reciclaje (M.Sc.)* [Programa de máster]. Universidad Tecnológica de Clausthal. <https://www.tu-clausthal.de/studieninteressierte/studienangebot/master/environmental-process-engineering-and-recycling>
- Universidad Técnica de Dresde. (2025). *Gestión de Residuos y Tratamiento de Sitios Contaminados (M.Sc.)* [Máster en Gestión de Residuos y Tratamiento de Sitios Contaminados]. Universidad Técnica de Dresde. <https://tu-dresden.de/bu/umwelt/uw/ressourcen/studium/studiengaenge/abfallwirtschaft-und-altlasten-msc>
- Academia TÜV SÜD. (2023). *Oficial de Operaciones de Residuos – Curso básico para responsables de residuos de empresa*. Academia TÜV SÜD. <https://www.tuvsud.com/de-de/store/akademie/seminare-umwelt/abfall/betriebsbeauftragter-abfall-grundlehrgang>
- Agencia Federal de Medio Ambiente. (2025). *Residuos de construcción – Cantidades estadísticamente registradas de residuos minerales de construcción en 2022* [Estadísticas oficiales de residuos minerales de construcción]. Agencia Federal de Medio Ambiente. <https://www.umweltbundesamt.de>
- Wegmann, V. (2023). *Gestión de residuos en Europa* [Informe]. Unión Europea de Servicio Público. https://www.epsu.org/sites/default/files/article/files/Waste%20Management%20in%20Europe_EN.pdf

Croacia – oferta de formación, gestión de residuos y contexto político

- Gobierno de la República de Croacia, Ministerio de Economía y Desarrollo Sostenible. (2023). *Plan de gestión de residuos de la República de Croacia para el periodo 2023–2028*. <https://mingor.gov.hr/UserDocImages//UPRAVA%20ZA%20GOSPODARENJE%20OTPADOM//Plan%20gospodarenja%20otpadom%20Republike%20Hrvatske%20za%20razdoblje%202023.-2028..pdf>
- República de Croacia. (2021). *Zakon o gospodarenju otpadom* [Ley de Gestión de Residuos, Boletín Oficial 84/2021, 143/2023]. Narodne novine. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_07_84_1550.html

- Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA). (2024). *Croacia – Hoja informativa del país de prevención de residuos 2024*. Agencia Europea de Medio Ambiente. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/waste-and-recycling/country-profiles-on-waste-prevention-2025/hr-waste-prevention-factsheet-final.pdf>
- Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA). (2025). *Croacia – Perfil nacional de gestión municipal de residuos 2025*. Agencia Europea de Medio Ambiente. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/waste-and-recycling/municipal-and-packaging-waste-management-country-profiles-2025/hr-municipal-waste-factsheet.pdf>
- Ministerio de Economía y Desarrollo Sostenible. (2020). *Informe sobre el estado del medio ambiente de la República de Croacia 2020* [Capítulo sobre residuos y economía circular]. [https://mingor.gov.hr/UserDocsImages//UPRAVA%20ZA%20ZA%C5%A0TITU%20OKOLI%C5%A0A/Izvje%C5%A1%C4%87e%20o%20stanju%20okoli%C5%A1a//Izvjesce o stanju okolisa za 2020.pdf](https://mingor.gov.hr/UserDocsImages//UPRAVA%20ZA%20ZA%C5%A0TITU%20OKOLI%C5%A0A/Izvje%C5%A1%C4%87e%20o%20stanju%20okoli%C5%A1a//Izvjesce%20o%20stanju%20okolisa%20za%202020.pdf)
- Ministerio de Medio Ambiente y Energía, y Banco Mundial. (2019). *Insumos al Plan Nacional de Gestión de Residuos e implementación de las directivas de residuos de la UE* [documento de antecedentes técnicos]. Banco Mundial. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/418811580369661687/croatia-inputs-to-the-national-waste-management-plan-and-implementation-of-eu-waste-directives>
- Consorcio de Proyecto AWaRe / AWASTER. (2022). *AWASTER – Recursos a partir de residuos: soluciones circulares para residuos de construcción y demolición en Italia– Croacia* [proyecto Interreg Italia–Croacia]. <https://www.italy-croatia.eu/web/awaster>
- Escuela de Cantería Pučišća. (2024). *Plan de estudios de la Escuela de Albañilería Pučišća 2024/2025* [Currículo escolar]. <https://www.klesarskaskola.hr/kurikulum>
- Escuela de Cantería Pučišća. (2024). *El uso de nuevas tecnologías en la gestión de residuos de la industria de la piedra* [Nota curricular sobre blockchain, IoT y Big Data en la gestión de residuos de la industria de la piedra]. <https://www.klesarskaskola.hr>

España – oferta de formación, gestión de residuos y contexto político

- España. (2008). *Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición*. Boletín Oficial del Estado, 38, 7724–7736. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2008/02/01/105/con>

- España. (2022). *Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular*. *Boletín Oficial del Estado*, 85, 1–132. <https://www.boe.es/eli/es/ley/2022/04/08/7/con>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2020). *España Circular 2030. Estrategia Española de Economía Circular*. https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-espanola-economia-circular/espanacircular2030_tcm30-506003.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2015). *Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016–2022*. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/pemar2016-2022_tcm30-703894.pdf
- Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA). (2025). *España – Perfil nacional de gestión de residuos municipales 2025*. Agencia Europea de Medio Ambiente. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/waste-and-recycling/municipal-and-packaging-waste-management-country-profiles-2025/es-municipal-waste-factsheet.pdf>
- Servicio Público de Empleo Estatal (SEPE). (2009). *Certificado de profesionalidad SEAG0108 Gestión de residuos urbanos e industriales* [Real Decreto 1377/2009, de 28 de agosto]. *Boletín Oficial del Estado*, 228, 78491–78530. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2009/08/28/1377/con>
- Ministerio de Educación. (2011). *Real Decreto 384/2011, de 18 de marzo, por el que se establece el título de Técnico Superior en Educación y Control Ambiental y se fijan sus enseñanzas mínimas*. *Boletín Oficial del Estado*, 89, 35272–35323. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2011/03/18/384/con>
- Ministerio de Educación y Formación Profesional, & MITECO. (2021). *Técnico Superior en Educación y Control Ambiental – Ficha del título y perfil profesional* [Formación profesional de grado superior]. <https://www.educacionyfp.gob.es/servicios-al-ciudadano/catalogo/general/99/998615/ficha.html>
- Servicio Público de Empleo Estatal (SEPE). (2020). *Familia profesional Seguridad y Medio Ambiente – Especialidades formativas y certificados relacionados con gestión de residuos (SEAG0211, SEAG0212, SEAG024PO, SEAG027PO, etc.)*. <https://www.sepe.es/HomeSepe/Personas/formacion/certificados-profesionalidad/que-es/certificados-seguridad-y-medio-ambiente.html>
- Comunidad Autónoma de Galicia. (2019). *Programas SEAG024PO, SEAG026PO, SEAG027PO, SEAG028PO – Gestión de residuos urbanos, industriales y peligrosos*

[Catálogo de especialidades formativas TR302A]. <https://ficheiros-web.xunta.gal/transparencia/2019/11/21/14/19/10/tr302a.pdf>

Rumanía – oferta de formación, gestión de residuos y contexto político

- ANC. (s.f.). *CURSO – Especialista en Gestión de Residuos – COR 213310* [Especialización acreditada]. Autoridad Nacional de Cualificaciones (NCA). <https://cursanc.ro>
- Academia Avangarde. (s.f.). *Cursos online – Especialización en gestión* [curso de especialización online]. Academia Avangarde. <https://avangardeacademy.ro>
- Universidad Babeş-Bolyai. (s.f.-a). *Ingeniería en Recuperación de Residuos (IVD)* [programa de máster en Ingeniería en Recuperación de Residuos]. Facultad de Ciencias e Ingeniería Ambiental. <https://enviro.ubbcluj.ro>
- Universidad Babeş-Bolyai. (s.f.-b). *Desarrollo Sostenible y Gestión Ambiental* [programa de máster]. Facultad de Ciencias e Ingeniería Ambiental. <https://enviro.ubbcluj.ro>
- Bălănică Dragomir, C. M., & Coadă, M. T. (2025). Evaluación de la sostenibilidad de la gestión municipal de residuos en Rumanía. *Los Anales de la Universidad "Dunărea de Jos" de Galați. Fascicle IX, Metalurgia y Ciencia de Materiales*, 48(1), 43–46. <https://www.gup.ugal.ro/ugaljournals/index.php/mms/article/view/6980>
- Cámara de Comercio, Industria y Agricultura Timiș. (s.f.). *Programa de formación profesional autorizado – Oficial ambiental (COR 325710)* [Formación de oficial ambiental]. CCIAT. <https://www.cciat.ro>
- ECOSIMPLE SRL. (s.f.). *Oficial Ambiental – COR 325710; Especialista en gestión de residuos – COR 213310* [Cursos de formación]. ECOSIMPLE SRL. <https://ecosimplu.ro>
- EEE. (2013). *Gestión de residuos municipales en Rumanía* [Hoja informativa del país]. Agencia Europea de Medio Ambiente. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/managing-municipal-solid-waste/romania-municipal-waste-management>
- EEE. (2025a). *Rumanía – ficha informativa sobre residuos municipales 2025*. Agencia Europea de Medio Ambiente. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/waste-and-recycling/municipal-and-packaging-waste-management-country-profiles-2025/ro-municipal-waste-factsheet.pdf>

- EEE. (2025b). *Rumanía – hoja informativa sobre prevención de residuos 2025*. Agencia Europea de Medio Ambiente. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/waste-and-recycling/country-profiles-on-waste-prevention-2025/ro-waste-prevention-factsheet-final.pdf>
- EuroAcademia. (s.f.). *Curso de oficial ambiental (código COR 325710)*. Fundación EuroAcademia. <https://euroacademia.ro>
- Universidad Técnica Gheorghe Asachi de Iași. (s.f.). *Máster en Gestión de Residuos, Tratamiento y Valorización*. Facultad de Ingeniería Química y Protección Ambiental "Cristofor Simionescu". <https://www.ch.tuiasi.ro>
- Centro de la Glía. (s.f.). *Curso de oficial de gestión de residuos*. Centro de la Glía. <https://gliacenter.ro>
- Meda Consulting. (s.f.-a). *Curso de especialista en gestión de residuos (código COR 213310)*. Meda Consulting. <https://medaconsulting.ro>
- Meda Consulting. (n.d.-b). *Curso responsabil de mediu (cod COR 325710)* [Environmental officer course]. Meda Consulting. <https://medaconsulting.ro>
- Năstase, C., Chasovschi, C., & State, M. (2019). Gestión de residuos municipales en Rumanía en el contexto de la UE: la perspectiva de los actores implicados. *Desarrollo Tecnológico y Económico de la Economía*, 25(5), 850–876. <https://doi.org/10.3846/tede.2019.10295>
- UpTraining. (s.f.). *Curso de especialista en gestión de residuos (COR 213310)* [Curso de especialista en gestión de residuos]. UpTraining. <https://uptraining.ro>

Fuentes de las cifras

- **Figura 1**
Rockpanel. *Cómo los productos Rockpanel reciclables contribuyen a una economía circular*. <https://www.rockpanel.com/uk/product-benefits/sustainability/how-recyclable-rockpanel-products-contribute-to-a-circular-economy/>
- **Figura 2**
Diagrama de triple resultado final (interconexión de los elementos del concepto de triple resultado final). https://www.researchgate.net/figure/The-interconnection-of-the-elements-of-the-Triple-Bottom-Line-concept_fig1_329185478