



Curso RockChain:

UNIDAD 1.

Introducción a la industria de la piedra ornamental y la minería.



Esta obra está licenciada bajo una [Licencia Internacional Creative Commons](#)
[Atribución-CompartirIgual 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.	VISIÓN GENERAL DEL SECTOR: ESCALA, IMPACTO, PRINCIPALES PAÍSES.....	4
1.1.	Sector Europeo de la Piedra — Escala y principales países.....	4
1.2.	Principales productores y exportadores europeos	4
1.3.	Tipos y segmentos de piedra.....	4
1.4.	Sector Global de la Piedra Natural — Escala y Crecimiento	5
2.	TIPOS DE PIEDRAS ORNAMENTALES (MÁRMOL, GRANITO, PIZARRA, PIEDRA CALIZA...).....	7
2.1.	Mármol	7
2.2.	Granito	7
2.3.	Slate	7
2.4.	Piedra caliza	7
2.5.	Arenisca	8
2.6.	Travertino	8
2.7.	Ónix.....	8
2.8.	Cuarcita.....	8
2.9.	Otras piedras decorativas.....	9
2.10.	Resumen	9
3.	DE LA CANTERA AL MERCADO: EL PROCESO INDUSTRIAL.....	10
3.1.	Exploración y Estudio Geológico	10
3.2.	Planificación y desarrollo de canteras.....	10
3.3.	Extracción (explotación de canteras)	10
3.4.	Manejo y transporte de bloques	10
3.5.	Procesamiento primario (Aserrado y Encapsulado).....	11
3.6.	Procesamiento secundario (acabado y moldeado).....	11
3.7.	Control de calidad y calificación	11
3.8.	Embalaje y logística	11
3.9.	Comercialización y mercado.....	12
4.	ACTORES CLAVE: PYMES, ASOCIACIONES, INSTITUCIONES	13
4.1.	Pymes y empresas	13



UNIDAD 1. Introducción a la industria de la piedra ornamental y la minería

4.2.	Asociaciones	13
4.3.	Instituciones e investigadores	13
4.4.	Apoyo a los Grupos de Interés	14
5.	DESAFÍOS ACTUALES: COSTES ENERGÉTICOS, EMISIONES DE CO ₂ , TRAZABILIDAD	15
5.1.	Costes de la energía.....	16
5.2.	Emisiones de CO ₂ e impacto medioambiental	16
5.3.	Trazabilidad	17
5.4.	Resumen	17
6.	CONTEXTO LEGAL Y MEDIOAMBIENTAL (PACTO VERDE EUROPEO, TAXONOMÍA...)	18
6.1.	Pacto Verde Europeo (2019–)	18
6.2.	Taxonomía de la UE para las Finanzas Sostenibles (2020–).....	19
6.3.	Otra legislación relevante de la UE.....	19
6.4.	Resumen	20
	REFERENCIAS	21



1. VISIÓN GENERAL DEL SECTOR: ESCALA, IMPACTO, PRINCIPALES PAÍSES

1.1. Sector Europeo de la Piedra — Escala y principales países

En Europa, los ingresos del mercado de piedra natural fueron de aproximadamente 1.879,8 millones de USD (\approx 1.880 millones de USD) en 2024, con un aumento esperado hasta 2.695,1 millones de USD (\approx 2.700 millones de USD) para 2030, reflejando una tasa compuesta anual del 6,4%.

Otra fuente estima que el mercado europeo más amplio de piedra natural y mármol será de 16.040 millones de USD en 2021, creciendo hasta 18.440 millones de USD en 2025 (CAGR \approx 3,55%), y se proyecta que alcance los 24.390 millones de USD para 2033.

1.2. Principales productores y exportadores europeos

Italia: Principal productor de la UE (\approx 51% de la extracción y procesamiento). Famosa por su mármol de Carrara de alta calidad y numerosos depósitos de granito.

España: Segunda en la UE (\approx 19% de la producción), con una fuerte producción de granito, mármol y pizarra —especialmente de Galicia, responsable del \approx 90% de la pizarra europea (\approx 4 millones de toneladas/año).

Portugal: Exportador clave de granito y piedra caliza, con granito gris y rosa popular utilizado extensamente en pavimentos y revestimientos.

Grecia: Famosa por el mármol; también productora de granito en volúmenes menores

Noruega, Suecia, Finlandia: Destacada por granitos de alta resistencia (por ejemplo, Blue Pearl, Balmoral Red) exportados principalmente como bloques en bruto.

Alemania, Francia, Polonia: poseen canteras nacionales pero dependen significativamente de las importaciones para productos de piedra procesada; zonas tradicionales de producción reconocidas como el Bosque Bávaro en Alemania y Bretaña en Francia.

Europa del Este (Ucrania, Kazajistán, etc.): Tienen mercados de menor escala, mayormente nacionales, pero con potencial geológico.

1.3. Tipos y segmentos de piedra

En Europa, el granito ostenta la mayor cuota de ingresos (\approx 37,7%) en 2024.



UNIDAD 1. Introducción a la industria de la piedra ornamental y la minería

El mármol es el segmento de más rápido crecimiento tanto en Europa como en Estados Unidos.

En España, la pizarra es un material súper dominante para cubiertas, representando el 90% del suministro europeo de tejados de pizarra.

1.4. Sector Global de la Piedra Natural — Escala y Crecimiento

Tamaño del mercado

El mercado global de piedra natural está valorado en 41.810 millones de USD en 2025 y se prevé que alcance los 43.270 millones de USD en 2026, progresando de forma constante hasta 60.860 millones de USD en 2035, con una tasa compuesta anual compuesta del 3,5% entre 2026 y 2035.

El mercado global de piedras naturales creció rápidamente en 2022 y se espera que siga creciendo para 2028, con una tasa compuesta anual compuesta significativa en el periodo de previsión. Con el aumento de la demanda de materiales de construcción estéticos y duraderos y con el avance en tecnologías de corte, acabado e instalación, el mercado de la piedra natural se ha impulsado. Con sus usos en construcción, diseño de interiores y paisajismo, la piedra natural ha encontrado un mercado inmenso gracias a su durabilidad, atemporalidad y versatilidad. Además, existe una tendencia creciente al uso de materiales de construcción ecológicos y sostenibles, lo que apoya aún más la demanda de piedra natural en diferentes sectores.

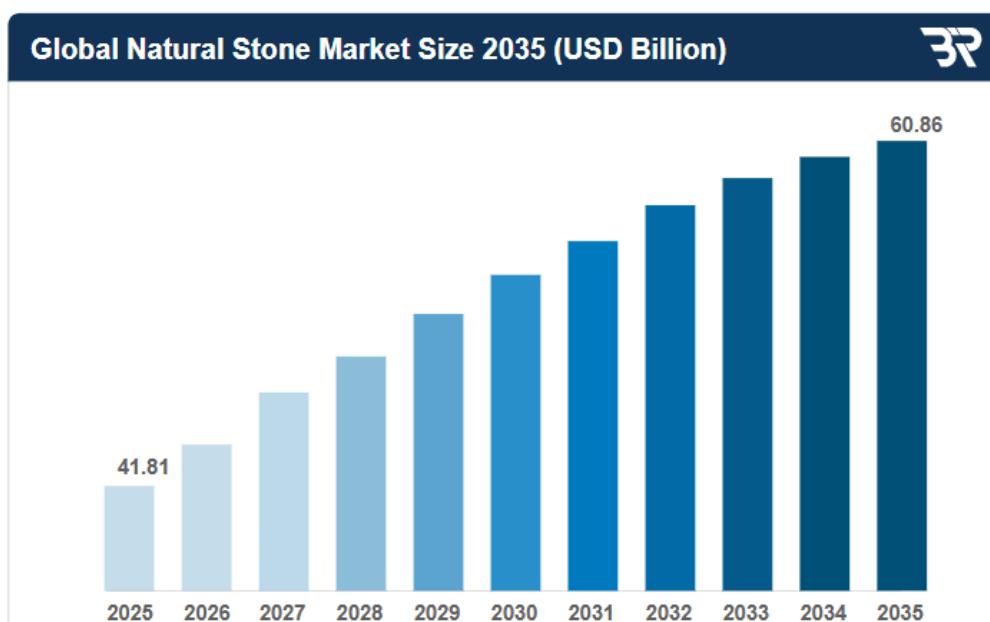


Figura 1. Tamaño del mercado global de piedra natural hasta 2035. Fuente:
<https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/natural-stone-market-118807>



Distribución regional

- Asia-Pacífico domina, contribuyendo con más del 46% de la demanda global, especialmente impulsada por China e India, impulsada por la rápida urbanización y el crecimiento de infraestructuras.
- Europa posee alrededor del 18,5 % del mercado mundial de piedra natural en 2024 y aproximadamente el 25 % del consumo global
- Norteamérica representa aproximadamente el 21% del consumo.

Principales impulsores y tendencias

- La construcción sigue siendo el motor principal ($\approx 42\%$ de la demanda), especialmente para suelos, revestimientos y aplicaciones arquitectónicas de alta gama.
- La renovación/restauración (especialmente de sitios históricos) contribuye $\approx 28\%$ de la demanda.
- Las tendencias de sostenibilidad están impulsando el uso de piedra: alrededor del 19% de los proyectos de construcción sostenible especifican piedra natural por su reciclabilidad y bajo impacto ambiental.

Retos

Las limitaciones en la cadena de suministro, las normativas medioambientales, los altos costes de procesamiento y los desafíos logísticos son frecuentes, especialmente en Europa.

Resumen

La industria de la piedra natural es considerable y crece de forma constante, especialmente en Europa, donde el patrimonio, los materiales de calidad y la demanda de renovación refuerzan el sector. Sin embargo, el escenario global está claramente dominado por Asia-Pacífico, gracias a su auge urbanizador. Actores europeos clave como Italia y España siguen siendo significativos no solo a nivel regional, sino también global en términos de artesanía y exportación.



2. TIPOS DE PIEDRAS ORNAMENTALES (MÁRMOL, GRANITO, PIZARRA, PIEDRA CALIZA...)

En el sector de la piedra ornamental (algunos otros nombres: piedra arquitectónica, piedra dimensional), el término se refiere a las piedras naturales utilizadas con fines decorativos y arquitectónicos, principalmente en construcción, monumentos, diseño de interiores y arte.

Los principales tipos de piedras ornamentales son:

2.1. Mármol

- Composición: roca metamórfica, caliza recristalizada (calcita/dolomita).
- Características: Vetas finas, pulibles, elegantes, variedad de colores (blanco, negro, verde, rosa).
- Usos: suelos, revestimientos de paredes, esculturas, monumentos, encimeras de lujo.
- Ejemplos famosos: Carrara (Italia), Pentelic (Grecia), Makrana (India), Rosa Portugues (Portugal).

2.2. Granito

- Composición: roca ígnea (cuarzo, feldespato, mica).
- Características: Muy duro, duradero, resistente a la intemperie; Amplia gama de colores (gris, negro, rojo, azul).
- Usos: Fachadas, adoquines, memoriales, encimeras, escaleras.
- Ejemplos famosos: Balmoral Red (Finlandia), Blue Pearl (Noruega), Rosa Beta (Italia).

2.3. Slate

- Composición: Roca metamórfica de lutita.
- Características: Se divide fácilmente en láminas finas, resistente al clima, tonos oscuros (gris, negro, verde, morado).
- Usos: Tejados, suelos, revestimientos, mesas de billar.
- Ejemplos famosos: Galician Slate (España – 90% de la pizarra para cubiertas de Europa), Welsh Slate (Reino Unido).

2.4. Piedra caliza

- Composición: roca sedimentaria, principalmente calcita.



UNIDAD 1. Introducción a la industria de la piedra ornamental y la minería

- Características: Más suave que el mármol/granito, tonos beige/crema cálidos, puede ser fosilífero.
- Usos: Fachadas, revestimientos interiores, suelos, edificios históricos.
- Ejemplos famosos: Jura (Alemania), Moca Cream (Portugal), Vicenza Stone (Italia).

2.5. Arenisca

- Composición: roca sedimentaria, granos de arena cementada (cuarzo dominante).
- Características: Fácil de cortar/tallar, tonos terrosos (amarillo, rojo, marrón, gris).
- Usos: Muros, adoquines, columnas decorativas, paisajismo.
- Ejemplos famosos: Yorkshire Sandstone (Reino Unido), Dholpur (India), Raj Green (India).

2.6. Travertino

- Composición: Variedad porosa de piedra caliza, formada por la precipitación en manantiales termales.
- Características: Cavidades/venas características, colores terrosos (crema, beige, dorado).
- Usos: suelos, fachadas, zonas de baño, monumentos.
- Ejemplos famosos: Travertino Tivoli (Italia), Travertino Denizli (Turquía).

2.7. Ónix

- Composición: Forma en bandas de calcedonia/cuarzo o piedra con bandas calcíticas (a menudo usada decorativamente).
- Características: Translúcido, bandas de color llamativas (verde, miel, rojo).
- Usos: paneles decorativos, interiores de lujo, instalaciones retroiluminadas.
- Ejemplos famosos: ónix mexicano, ónix verde paquistaní.

2.8. Cuarcita

- Composición: Arenisca metamorfoseada (alto contenido de cuarzo).
- Características: Aspecto muy duro, brillante, variedad de colores.
- Usos: encimeras, revestimientos, pavimentación.
- Ejemplos famosos: Cuarcita del Taj Mahal (Brasil), Macaubas Blanca (Brasil).



2.9. Otras piedras decorativas

- Basalto (volcánico, oscuro, utilizado en pavimentos y monumentos).
- Serpentina (Metamórfica, piedra decorativa, paneles interiores, esculturas)
- Toba y Pórfido (volcánico, adoquidos, uso histórico romano).
- Breccia (fragmentos angulares cementados entre sí, paredes/suelos decorativos).
- Alabastro (piedra blanda de yeso, translúcida, esculturas y pequeños objetos).

2.10. Resumen

Las principales piedras ornamentales son el mármol, granito, piedra caliza, arenisca, pizarra, travertino, ónix y cuarcita , con muchas variedades locales que otorgan a cada país su identidad única en el sector de la piedra.



3. DE LA CANTERA AL MERCADO: EL PROCESO INDUSTRIAL

El proceso industrial, desde la cantera de piedra ornamental hasta el mercado, pasa por varias etapas.

3.1. Exploración y Estudio Geológico

Objetivo: Identificar y evaluar depósitos (mármol, granito, piedra caliza, etc.).

Actividades:

- Cartografía geológica, muestreo y perforación.
- Comprobar color, textura, venos, integridad estructural, patrones de fractura.
- Estudios de viabilidad (reservas, coste de extracción, demanda de mercado).

3.2. Planificación y desarrollo de canteras

Planificación:

- Decide el diseño de la cantera, la altura de los bancos, las calles de acceso.
- Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).
- Permisos y licencias (países y UE).

Infraestructura instalada: carreteras de acceso, suministro de agua/electricidad, áreas de gestión de residuos.

3.3. Extracción (explotación de canteras)

Técnicas diferentes según el tipo de piedra y la calidad deseada del bloque:

- Sierras de hilo de diamante: para mármol, granito, travertino (preciso, mínimo desperdicio).
- Máquinas de motosierra: Cortar piedras de dureza blanda/media (piedra caliza, mármol).
- Perforación y partitura con cuñas: método tradicional para pizarra y arenisca.
- Detonación controlada: Se usa ocasionalmente pero se evita en piedras ornamentales (causa fracturas).

3.4. Manejo y transporte de bloques

- Los bloques se cortan en formas normales.
- Grúas pesadas, cargadoras y camiones los trasladan desde el suelo de la cantera hasta los corrales de ganado.



- Bloques graduados por color, patrón, grietas y dimensiones.
- Transporte a plantas de procesamiento (en la isla de Brač, cercana, pero a menudo lejana).

3.5. Procesamiento primario (Aserrado y Encapsulado)

- Sierras de banda o cortadores de bloques: Cortar bloques grandes en losas (de 2 a 10 cm de grosor).
- Calibración de losas: Garantiza un grosor uniforme.
- Líneas de pulido: losas pulidas con abrasivos (diamante, almohadillas de resina) hasta acabados brillantes, afilados, cepillados o texturizados.
- Los residuos como producto secundario (purina, polvo, retales) se gestionan o reciclan cuando es posible.

3.6. Procesamiento secundario (acabado y moldeado)

- Acabados superficiales: pulidos, afilados, flameados, martilleados, arenados, encuadrados, antiguos.
- Modelado y perfilado de bordes: Para encimeras, escalones, alféizares.
- Productos especiales: sillerías, azulejos, paneles de revestimiento, piezas decorativas, mosaicos
- Tratamiento con resina: Algunas canicas y ónix reforzadas con resina/fibra de vidrio para mayor resistencia.

3.7. Control de calidad y calificación

- Inspección de uniformidad de color, acabado superficial, grosor y precisión dimensional.
- Clasificación de bloques de piedra en primera, segunda y tercera clase (según grietas y otras discontinuidades, calidad comercial).
- Pruebas de propiedades físicas y mecánicas (absorción de agua, densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la helada).

3.8. Embalaje y logística

- Losas empaquetadas en paquetes de madera (cajas).
- Azulejos empaquetados en palés o cajas.
- A veces los bloques se envían en bruto.
- Transporte por camiones, ferrocarril o contenedores.



3.9. Comercialización y mercado

- Ventas directas: Desde empresas de cantera hasta distribuidores, contratistas, arquitectos.
- Ferias y exposiciones de piedra: Marmomac (Italia), Feria de la Piedra de Xiamen (China), Coverings (EE. UU.).
- Red de distribución: mayoristas, canteros, fabricantes.
- Usos finales: arquitectura, monumentos, restauración, paisajismo, diseño de lujo.

Muy importante es la tendencia de sostenibilidad , lo que significa que el reciclaje de lodos, el tratamiento de agua, la optimización de la rehabilitación de canteras y las evaluaciones del ciclo de vida son prioridades crecientes.



4. ACTORES CLAVE: PYMES, ASOCIACIONES, INSTITUCIONES

4.1. Pymes y empresas

La mayor parte de la industria está dominada por pymes (pequeñas y medianas empresas), especialmente en Europa, aunque también existen grandes grupos integrados.

- Empresas de extracción – extraen bloques en bruto (a menudo de PIMEs familiares).
- Empresas de procesamiento – aserraderos, plantas de pulido, fabricantes (azulejos, losas, encimeras).
- Distribuidores y comerciantes – astilleros de piedra, mayoristas, exportadores/importadores.
- Estudios de Diseño y Artesanía – canteros, escultores, talleres de arquitectura.
- Grandes Empresas Integradas – grupos verticalmente integrados que gestionan la cantera hasta el procesamiento y las ventas.

4.2. Asociaciones

Estos organismos representan a empresas, hacen lobby para obtener regulaciones favorables, promueven la sostenibilidad y organizan ferias.

Internacional

- Asociación Mundial de Piedra Natural (WONASA) – red global de la industria.
- ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas) – comunidad técnica/científica relevante para métodos de extracción.
- Comité de Piedra de ICOMOS – expertos en preservación del patrimonio que utilizan piedra natural.

Europeo

- EUROROC – Federación Europea de Industrias de la Piedra Natural, paraguas de asociaciones nacionales.
- Construction Products Europe (CPE) – cubre la piedra como material de construcción.

4.3. Instituciones e investigadores

Proporcionar marcos científicos, técnicos y de políticas.

- Universidades e Institutos Técnicos – geología, minería, ciencia de materiales, restauración.



UNIDAD 1. Introducción a la industria de la piedra ornamental y la minería

- por ejemplo, Universidad de Pisa (Italia), Universidad Politécnica de Madrid (España), NTUA Atenas (Grecia).
- Centros de investigación.
 - CTMARMOL (España) – centro tecnológico para el mármol.
 - CEVALOR (Portugal) – centro tecnológico para piedra natural.
- Organismos de Normalización y Certificación
 - CEN (Comité Europeo de Normalización) – pruebas de piedras y estándares de productos.
 - ISO (Organización Internacional de Normalización) – normas sobre piedra natural.
- Gobierno e instituciones de la UE
 - Ministerios de Industria, Comercio y Medio Ambiente (licencias, permisos de cantera, regulación medioambiental).
 - programas de la UE que apoyan la innovación, la sostenibilidad y la economía circular en el sector de la piedra.

4.4. Apoyo a los Grupos de Interés

- Ferias y exposiciones comerciales (principales plataformas comerciales):
 - Marmomac (Verona, Italia) – la principal feria mundial de piedras.
 - Feria de la Piedra de Xiamen (China) – la mayor feria mundial de piedra natural.
 - Coverings (EE. UU.) – La principal exposición de azulejos y piedras de Norteamérica.
- Arquitectos y Diseñadores – especifican piedras ornamentales en los proyectos.
- Autoridades de Conservación/Patrimonio – seleccionar piedra para monumentos y restauración.
- ONG medioambientales y comunidades locales – influyen en la sostenibilidad de las canteras y en el uso del suelo.



5. DESAFÍOS ACTUALES: COSTES ENERGÉTICOS, EMISIONES DE CO₂, TRAZABILIDAD

La industria de la piedra ornamental se enfrenta a varios desafíos estratégicos que van más allá de la simple extracción y acabado. Hoy en día, tres de los más urgentes son:

- costes energéticos,
- emisiones de CO₂, y
- Trazabilidad.



5.1. Costes de la energía

La extracción, el aserraje, el pulido y el transporte requieren un gran consumo energético. Los precios de la energía en Europa (especialmente tras 2021) aumentaron drásticamente, reduciendo la competitividad frente a los productores de menor coste (China, India, Turquía).

Procesos más afectados:

- Corte de alambre de diamante, sierras de banda, líneas de pulido - consumo eléctrico elevado.
- Diésel para equipos de cantera y transporte de bloques/piedras.

Impactos:

- Márgenes de beneficio reducidos para las pymes.
- Algunas empresas recortan turnos o retrasan la inversión.

Tendencias/soluciones:

- Cambiar hacia energías renovables en canteras y plantas (solar, eólica).
- Tecnologías de corte más eficientes energéticamente (sierras multihilo).
- Incentivos de la UE para proyectos de eficiencia energética industrial.

5.2. Emisiones de CO₂ e impacto medioambiental

Emisiones directas:

- Maquinaria diésel en canteras.
- Transporte de bloques pesados (a veces intercontinentales).

Emisiones indirectas:

- Consumo eléctrico (especialmente si la red funciona con combustibles fósiles).

Desafíos:

- La piedra ornamental compite con la cerámica, el cuarzo ingeniero y el hormigón, todos ellos promocionados como más "controlados" o "ecológicos".
- Presión de las certificaciones de construcción sostenible (LEED, BREEAM) que requieren documentación de huella de carbono.

Tendencias/soluciones:

- Evaluación del ciclo de vida (LCA) y Declaraciones Ambientales de Producto (EPD) para productos de piedra.
- Reciclaje de lodos, polvo y recortes (para áridos, rellenos, industria del cemento).



- Compromisos de reducción de carbono (Pacto Verde de la UE → emisiones netas cero para 2050).
- Desarrollo de logística de bajo impacto (transporte ferroviario, eficiencia naviera).

5.3. Trazabilidad

Arquitectos, clientes y reguladores exigen cada vez más prueba de origen (obtención ética, impacto medioambiental, trabajo justo).

Además, las normativas de la UE sobre cadenas de suministro sostenibles se están endureciendo.

Desafíos:

- Muchas piedras se comercializan a través de intermediarios; es difícil verificar el origen de la cantera.
- Riesgo de "blanqueo de piedra" (etiquetado falso de origen para evitar aranceles o ganar prestigio).

Tendencias/soluciones:

- Sistemas digitales de trazabilidad (códigos QR, blockchain desde la cantera de certificación hasta la fábrica y el usuario final).
- Normas ISO y CEN sobre etiquetado y pruebas.
- Un papel más fuerte de las asociaciones industriales (por ejemplo, EUROROC, federaciones nacionales) en la creación de esquemas de certificación transparentes.
- La trazabilidad se convierte en una ventaja competitiva (por ejemplo, "100% mármol italiano de Carrara").

5.4. Resumen

El sector de la piedra ornamental está bajo presión para reducir costes, demostrar la sostenibilidad y garantizar la transparencia. Las empresas que inviertan en energía limpia, midan su huella de carbono y adopten sistemas de trazabilidad estarán mejor posicionadas para mantenerse competitivas en Europa y a nivel global.



6. CONTEXTO LEGAL Y MEDIOAMBIENTAL (PACTO VERDE EUROPEO, TAXONOMÍA...)

El contexto legal y medioambiental de la industria de la piedra ornamental en Europa se basa en dos pilares: el Pacto Verde Europeo y la Taxonomía de la UE. Estos dos pilares están transformando la regulación y financiación de la explotación de canteras, el procesamiento y la comercialización de la piedra.

6.1. Pacto Verde Europeo (2019–)

El Pacto Verde Europeo es la principal estrategia de la UE para alcanzar la neutralidad climática para 2050.

Impacta directamente en las industrias extractivas, incluida la piedra ornamental. Las áreas clave que afectan a la industria de la piedra son:

Clima y energía

- Objetivo: -55% de emisiones de GEI para 2030.
- Las plantas de extracción y procesamiento → presión para reducir las emisiones relacionadas con el diésel y la electricidad.
- Impulsar energías renovables y tecnologías eficientes en extracción y procesamiento.

Plan de Acción para la Economía Circular (CEAP)

- Prioriza la reducción de residuos y el reciclaje.
- Los residuos de cantera (lodos, retales) deben valorarse cada vez más (áridos, rellenos, aditivos para cemento).
- Se espera que las empresas informen sobre la eficiencia de los recursos y las tasas de reciclaje.

Regulación de Productos Sostenibles (bajo el marco de Ecodiseño)

- Los productos de construcción (incluida la piedra) deben demostrar larga durabilidad, poca huella y reciclabilidad.
- Favorable para piedra natural frente a cerámica/hormigón (piedra = duradera, bajo procesamiento).

Biodiversidad y Uso del suelo

- La explotación en las zonas de Natura 2000 se enfrenta a estrictas limitaciones.
- Los operadores deben implementar planes de rehabilitación (restauración de tierras, compensaciones de biodiversidad).



6.2. Taxonomía de la UE para las Finanzas Sostenibles (2020–)

Un sistema de clasificación que define qué actividades son "ambientalmente sostenibles" y cruciales para la financiación, las subvenciones y la credibilidad de los inversores. Criterios relevantes para el sector de la piedra:

Para estar "alineadas con la taxonomía", las actividades con piedra deben:

1. Contribuyen sustancialmente a la mitigación/adaptación al clima (por ejemplo, material duradero y bajo en carbono en la construcción).
2. No causar daño significativo (**DNSH**) a otros objetivos medioambientales (agua, economía circular, biodiversidad, contaminación).
3. Cumplir con las salvaguardas mínimas (trabajo, gobernanza, derechos humanos).

Pero estos marcos también ofrecen algunas oportunidades para la piedra:

- La piedra natural destaca en durabilidad y reciclabilidad; puede considerarse un producto de construcción sostenible en comparación con la cerámica o el hormigón.
- Si las empresas demuestran baja huella de CO₂ y trazabilidad, podrían acceder a mercados de financiación verde, subvenciones y contratación pública.

Y pon en marcha algunos retos y riesgos, por ejemplo:

- Las pymes suelen carecer de recursos para la presentación de informes taxonómicos, estudios de LCA y auditorías.
- Riesgo: si los productores de piedra no cumplen los criterios taxonómicos, los bancos pueden clasificarlos como "no verdes", limitando el acceso a la inversión.

6.3. Otra legislación relevante de la UE

- Reglamento de Productos de Construcción (CPR)
- Establece reglas para la marcado CE y las declaraciones de productos.
- Probablemente requerirán Declaraciones de Producto Ambiental (EPD) para la piedra en el futuro.
- Directiva de Emisiones Industriales (IED)
- Controla polvo, ruido y vertidos de agua de canteras y plantas de procesamiento.
- Directiva Marco de Residuos
- Impulsa la valoración de residuos de las canteras y la correcta eliminación de la purina.
- Directiva de Informes de Sostenibilidad Corporativa (CSRD)



UNIDAD 1. Introducción a la industria de la piedra ornamental y la minería

- Las grandes empresas (y eventualmente las pymes en las cadenas de suministro) deben revelar el desempeño ambiental y social.

Estas regulaciones tienen diferentes implicaciones para la industria de la piedra, tales como:

- Mayores costes de cumplimiento: Más informes medioambientales, monitorización y auditorías.
- Oportunidad competitiva: Si se comercializa correctamente, la piedra natural puede posicionarse como "la opción sostenible" frente a la cerámica o el hormigón.
- Presión financiera: Solo los proyectos alineados con la taxonomía atraen financiación verde y préstamos con intereses más bajos.
- Impulso a la innovación: Las tecnologías de reciclaje, las energías renovables y la trazabilidad digital se convierten en inversiones estratégicas.

6.4. Resumen

El contexto legal y medioambiental en Europa se está endureciendo, pero también otorga a la piedra natural una oportunidad única: si los productores pueden documentar durabilidad, baja huella de carbono y un origen responsable, la piedra podría ser reconocida como un material de construcción sostenible preferido bajo el Pacto Verde y la Taxonomía de la UE.



REFERENCIAS

Informes de Investigación de Mercado y Consultoría, Grand View Research, Inc.,

(<https://www.grandviewresearch.com/>)

Tamaño y perspectivas del mercado europeo de piedra natural, 2024-2030

(https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/natural-stone-market/europe?utm_source=chatgpt.com)

Informe Global del Mercado de Piedra Natural y Mármol Edición 2025, Tamaño del mercado, Cuota de Mercado, CAGR, Pronóstico, Ingresos (https://www.cognitivemarketresearch.com/natural-stone-and-marble-market-report?utm_source=chatgpt.com)

Linkedin, Piedra natural del mercado global 2025

(https://www.linkedin.com/pulse/global-market-natural-stone-2025-maksym-kurechko--xbgce?utm_source=chatgpt.com)

Análisis de Crecimiento Global, Informe de Investigación de Mercado y Consultoría, (<https://www.globalgrowthinsights.com/>)

Industria de la pizarra en España - Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Slate_industry_in_Spain?utm_source=chatgpt.com)

Informe del mercado de piedras para construcción, previsión global de 2025 a 2033, (https://dataintelo.com/report/construction-stone-market?utm_source=chatgpt.com)

Tamaño del mercado de piedra natural y cuota de la industria, (https://www.reanin.com/reports/global-natural-stone-market?utm_source=chatgpt.com)

EL PACTO VERDE EUROPEO, (https://www.esdn.eu/fileadmin/ESDN_Reports/ESDN_Report_2_2020.pdf)

Taxonomía de la UE para actividades sostenibles - Finanzas - Comisión Europea, (https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en)

B. Crnković, Lj. Šarić, CONSTRUCCIÓN CON PIEDRA NATURAL, Facultad de Minería, Geología e Ingeniería Petrolera, Universidad de Zagreb, 1992.



Curso RockChain:

UNIDAD 2.

Fundamentos de la tecnología blockchain.



Esta obra está licenciada bajo una [Licencia Internacional Creative Commons Atribución-CompartirIgual 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. ¿QUÉ ES BLOCKCHAIN? ORIGEN Y EVOLUCIÓN	3
1.1. Introducción	3
1.2. Definición de Blockchain.....	3
1.3. Origen y evolución	3
2. CONCEPTOS BÁSICOS: BLOQUES, CADENA, HASH, MARCA TEMPORAL, CRIPTOGRAFÍA	7
3. LIBROS MAYORES DISTRIBUIDOS Y DESCENTRALIZACIÓN	11
4. CONTRATOS INTELIGENTES: DEFINICIÓN Y USOS	13
5. COMPARACIÓN CON BASES DE DATOS TRADICIONALES	14
6. CASOS DE USO EN LOGÍSTICA, FINANZAS, GESTIÓN DE RESIDUOS Y MINERÍA	16
6.1. Casos de uso en logística	16
6.2. Casos de uso en finanzas	17
6.3. Casos de uso en la gestión de residuos	18
6.4. Casos de uso en minería	19
REFERENCIAS	22



1. ¿QUÉ ES BLOCKCHAIN? ORIGEN Y EVOLUCIÓN

1.1. Introducción

En los últimos años, las tecnologías digitales se han convertido en un elemento imprescindible para la innovación y la competitividad en diversas industrias. Una de las tecnologías que se distingue por su potencial para aportar más transparencia, seguridad y eficiencia en la gestión de datos y procesos es la blockchain.

En la industria de la roca ornamental, donde la optimización de recursos es muy importante, esta tecnología permite el registro y la verificación de transacciones, lo que hace eficiente la gestión responsable de los recursos y respalda los principios de la economía circular (Crosby, Pattanayak, Verma y Kalyanaraman, 2016; Yaga, Mell, Roby y Scarfone, 2018).

1.2. Definición de Blockchain

La blockchain es una tecnología distribuida que permite el almacenamiento y la transmisión de información de manera protegida, transparente y descentralizada. También se conoce como Tecnología de Libro Mayor Distribuido (DLT).

Según Crosby, Pattanayak, Verma y Kalyanaraman (2016), una blockchain puede entenderse como un libro mayor público distribuido de todas las transacciones, verificado por unanimidad entre los participantes. De manera similar, Yaga, Mell, Roby y Scarfone (2018) definen blockchain como un libro mayor distribuido implementado como una cadena de bloques, cada uno con un conjunto de transacciones criptográficamente vinculadas. Estas características garantizan que los datos no puedan alterarse sin afectar a toda la cadena y que la confianza se mantenga colectivamente por la red en lugar de una autoridad central.

Aunque se ha hecho conocida mundialmente a través de las criptomonedas, blockchain no se limita a este campo.

1.3. Origen y evolución

El origen de la blockchain está estrechamente ligado a la crisis financiera de 2008, que redujo la confianza pública en las instituciones bancarias y financieras tradicionales. En este contexto, Satoshi Nakamoto publicó el artículo "Bitcoin: A Peer-to-peer Electronic Cash System", en el que propuso un sistema de pago electrónico descentralizado basado en una red peer-to-peer y un libro mayor distribuido (Nakamoto, 2008). Este artículo, publicado en octubre de 2008, se considera el certificado de nacimiento de blockchain.



Unos meses después, en enero de 2009, se lanzó la red Bitcoin, la primera aplicación práctica de la tecnología. Demostró que era posible transferir dinero y otras formas de valor digital entre dos participantes, sin necesidad de intermediarios, como bancos o procesadores de pagos, y que las transacciones podían validarse mediante el acuerdo de los participantes de la red.

Desde esta primera aplicación, blockchain ha experimentado una rápida evolución, que puede dividirse en varias etapas.

Blockchain 1.0

La primera etapa corresponde al periodo en el que la tecnología se utilizó casi exclusivamente para monedas digitales. La atención se centró en las transacciones financieras seguras y descentralizadas, y Bitcoin siguió siendo la principal aplicación. Esta etapa se denominó Blockchain 1.0.

Blockchain 2.0

Una segunda etapa estuvo marcada por la aparición de la plataforma Ethereum en 2015, propuesta por Vitalik Buterin. Ethereum introdujo el concepto de contratos inteligentes, programas autoejecutables que se ejecutan en la blockchain y permiten la automatización de procesos complejos, desde transacciones financieras hasta la gestión de la cadena de suministro. Esta innovación ha ampliado radicalmente las posibilidades de blockchain, transformándola en una infraestructura capaz de alojar aplicaciones descentralizadas.

Blockchain 3.0

La expansión del uso de tecnologías más allá del ámbito financiero y la integración en los sectores industrial y social ha dado lugar a la tercera etapa llamada Blockchain 3.0. Desde 2019, la tecnología blockchain se ha utilizado para la trazabilidad de productos, la seguridad de datos médicos, la validación de identidad digital o la gestión de energías renovables (Guo, 2025). Tapscott y Tapscott (2016) enfatizan que la blockchain tiene el potencial de revolucionar la forma en que las empresas y gobiernos gestionan la información y los recursos, mediante la transparencia y la reducción de intermediarios.

Blockchain 4.0

Hoy se habla de una cuarta etapa, Blockchain 4.0, que pretende integrarse con otras tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas o la realidad virtual, enfatizando la escalabilidad, la sostenibilidad y la interoperabilidad.

La blockchain ha trascendido durante mucho tiempo los límites del ámbito financiero y ha demostrado ser extremadamente valiosa para la trazabilidad de recursos y la gestión sostenible de los flujos de materiales. En las industrias de gestión de residuos y minería, blockchain puede utilizarse para monitorizar la trayectoria de los residuos, certificar



procesos de reciclaje y garantizar el cumplimiento de las normativas medioambientales (BlockWaste Project, 2023).

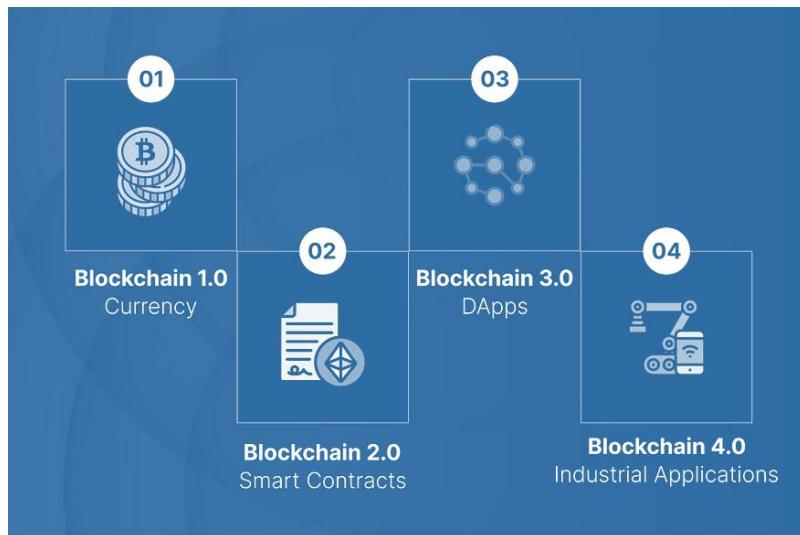


Figura 1. Evolución de la blockchain. Fuente: <https://medium.com/coinmonks/blockchain-4-0-the-next-generation-of-blockchain-technology-78de1cac6479>

Como se ilustra en la Figura 1, la evolución de la blockchain puede rastrearse desde su uso inicial en monedas digitales (Blockchain 1.0), pasando por la aparición de contratos inteligentes (Blockchain 2.0) y aplicaciones descentralizadas (Blockchain 3.0), hasta su etapa actual de aplicaciones industriales (Blockchain 4.0), destacando una expansión progresiva tanto de la funcionalidad como del impacto.

Tipos de blockchain

A medida que la tecnología ha evolucionado, se han desarrollado varios tipos de blockchain, adaptados a diferentes necesidades organizativas. Estos tipos pueden agruparse en cuatro categorías principales: públicas, privadas, de consorcio e híbridas.

Las blockchains públicas son completamente abiertas, cualquiera puede participar en la red, validar transacciones y ver datos. Ejemplos relevantes son Bitcoin y Ethereum. Este tipo de blockchain es muy transparente, pero la escalabilidad y la velocidad de las transacciones siguen siendo un reto.

En cambio, las blockchains privadas son gestionadas por una sola organización, que controla el acceso a la red. Esto ofrece rapidez y eficiencia, pero limita el acceso a la información y al proceso de validación. De este modo, se reduce el nivel de transparencia, ya que no todos los usuarios pueden verificar los datos, y el grado de descentralización, ya que el control de la red permanece concentrado en manos de una sola organización.



Una solución intermedia es la blockchain del consorcio, donde varias organizaciones colaboran para gestionar la red. En este caso, el control se divide entre los participantes, lo que proporciona un equilibrio entre eficiencia y descentralización.

La blockchain híbrida combina elementos de los dos tipos anteriores. Un ejemplo es IBM Food Trust, utilizado para la trazabilidad de alimentos. Permite que algunos datos sean públicos, mientras que otros permanecen privados, dependiendo de las necesidades de los socios implicados.

Para destacar las diferencias entre los principales tipos de blockchain, la Tabla 1 resume algunos criterios esenciales, como la accesibilidad, la transparencia, la velocidad de las transacciones y el nivel de control.

Tabla 1. Análisis comparativo de tipos de blockchain.

Tipo de blockchain	Accesibilidad	Transparencia	Velocidad de la transacción	Nivel de control	Ejemplos
Público	Cualquiera puede participar, abierto a todos	Muy alto: todos los datos son visibles para los participantes	Menor, debido al gran número de nodos y a los complejos mecanismos de consenso	Distribuido – el control se comparte entre todos los participantes	Bitcoin, Ethereum
Soldado	Usuarios restringidos, solo autorizados	Bajo – el acceso a los datos es limitado	Altos – pocos nodos y mecanismos de validación rápidos	Centralizado – control ejercido por una sola organización	Tejido Hyperledger
Consorcio	Limitado a organizaciones miembros	Medio – los datos son visibles entre los participantes del consorcio	Consenso alto – rápido entre un grupo limitado de nodos	Parcialmente descentralizado – control compartido por varias organizaciones	R3 Corda, Quórum
Híbrido	Mezcla de acceso público y privado	Variable: algunos datos son públicos, otros privados	Medio – equilibrio entre seguridad y rendimiento	Control combinado: algunos procesos abiertos, otros centralizados	IBM Food Trust

Fuente: Adaptado de Mougayar, W. (2016). *La cadena de bloques empresariales*. Wiley.

Desde sus orígenes en el contexto de la crisis financiera de 2008, blockchain ha evolucionado rápidamente de ser una tecnología asociada exclusivamente con criptomonedas a una infraestructura digital con aplicaciones complejas y diversas. El



hecho de que existan múltiples tipos de blockchain permite adaptar las tecnologías a diferentes escenarios, desde redes públicas totalmente transparentes hasta redes privadas para empresas. Hoy en día, blockchain se sitúa en la intersección de la innovación tecnológica y los profundos cambios en la sociedad y la economía, con el potencial de transformar la gestión de los datos y la confianza que se construye en el entorno digital.

2. CONCEPTOS BÁSICOS: BLOQUES, CADENA, HASH, MARCA TEMPORAL, CRIPTOGRAFÍA

Para entender la blockchain, es necesario aclarar algunos conceptos fundamentales que constituyen su mecanismo operativo. Los elementos técnicos esenciales que hacen posible a blockchain incluyen los bloques, la cadena que los conecta, las funciones hash, las marcas de tiempo y los mecanismos criptográficos (Yaga et al., 2018).

Los bloques son unidades de datos que contienen un conjunto de transacciones validadas y hashes criptográficos que se enlazan con bloques anteriores, formando así registros inmutables en la red blockchain.

Cada bloque en la blockchain es un contenedor digital que almacena para todos los datos de transacciones de la red. Cuando llegan nuevas transacciones, se agrupan en un bloque. Después de eso, la red valida estas transacciones, el bloque se bloquea y se vincula criptográficamente a bloques anteriores. Esto crea una cadena en la que el contenido de cada bloque no puede cambiarse sin afectar a los demás.

Los principales componentes de un bloque en una blockchain son:

- Datos
- El hash del bloque
- El hash del bloque anterior

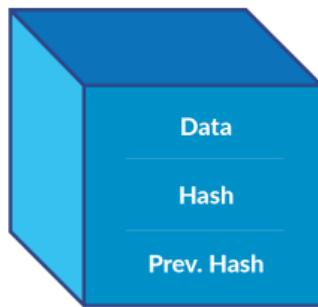


Figura 2. Componentes de un bloque en la blockchain. Fuente: <https://mastechnofotrellis.com/hubfs/Fundamentals-of-Blockchain-Technology-Explained.pdf>

Los datos son la parte más importante del bloque. Los datos dentro de un bloque pueden ser de cualquier tipo, dependiendo de la aplicación blockchain: desde acuerdos



contractuales en contratos inteligentes hasta registros de votación, información médica y más, dependiendo del caso de uso.

El hash del bloque es un código generado a partir de los datos del bloque. Identifica el Bloque y todo su contenido y siempre es única. Si los datos dentro del bloque cambian de alguna manera, el hash también cambia, lo cual es muy importante para la seguridad de la blockchain. Este hash es lo que une un bloque a otro, formando la cadena duradera.

El Hash anterior es el código Hash del bloque anterior. Esto crea la cadena real de bloques y es esencial para la corrección de la blockchain. Cada bloque incluye el Hash del anterior, lo que dificulta modificar los datos de cualquier bloque sin afectar a toda la cadena. El primer bloque en la blockchain no contiene un hash anterior y se llama bloque Genesis. La conexión entre los bloques se realiza mediante funciones hash criptográficas, que aseguran que incluso una pequeña modificación en un bloque alteraría todos los bloques posteriores. Este mecanismo garantiza la inmutabilidad y fortalece la confianza en el sistema blockchain. Por tanto, los hashes desempeñan un papel crucial para garantizar la integridad y seguridad de los datos.

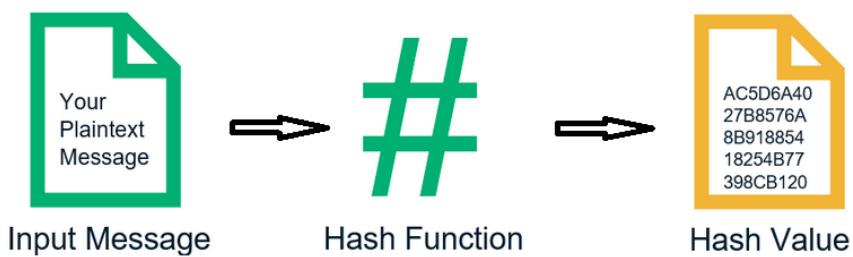


Figura 3. Hash criptográfico en acción. Fuente: <https://sectiqostore.com/blog/hash-function-in-cryptography-how-does-it-work/>

La **cadena** es el eslabón que une los bloques, de modo que forman una secuencia segura e inalterable.

Una cadena blockchain es una secuencia de bloques, cada uno con una lista de transacciones, que sirve como columna vertebral de sistemas descentralizados. Estos bloques están enlazados cronológicamente, formando una cadena (Chilz, 2024).

Una **marca de tiempo** es un registro digital que indica el momento exacto en que se creó y validó un bloque. Sirve para establecer el orden cronológico de las transacciones y para asegurar que la información del libro mayor sea precisa y transparente, protegida por normas que impiden cambios posteriores.

La **criptografía** es la ciencia de codificar datos para protegerlos y garantizar la integridad y seguridad de las transacciones, evitando que terceros accedan a los datos durante un proceso de comunicación (Crosby et al., 2016).



La criptografía, en la blockchain, se utiliza para proteger las transacciones que tienen lugar entre dos nodos en una red blockchain. Se basa en dos mecanismos principales: el cifrado (clave simétrica y clave asimétrica) y el hashing criptográfico.

Estos mecanismos se ilustran en la Figura 4, que destaca cómo el cifrado y el hashing trabajan juntos para asegurar las transacciones en blockchain.

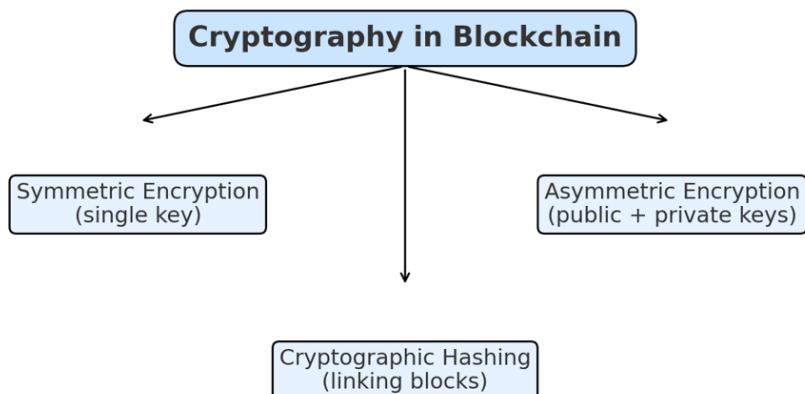


Figura 4. Criptografía en Blockchain.

El cifrado de claves simétricas utiliza una clave similar tanto para cifrado como para descifrado. El algoritmo y la clave se combinan para cifrar la información sensible original convirtiendo el texto plano en texto cifrado.

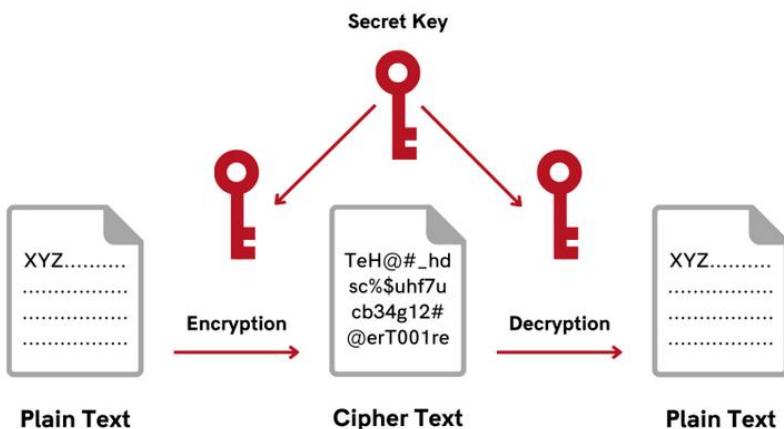


Figura 5. Criptografía de clave simétrica. Fuente: https://blog.ctfe.education/what-is-cryptography-in-blockchain/#Definition_of_Cryptography

El cifrado asimétrico utiliza diferentes claves, como una clave pública y una clave privada, para el cifrado. La clave pública se utiliza para cifrar datos y puede ser vista por cualquier otra persona, y la clave privada, que no está disponible para todos, se usa para descifrar los datos.

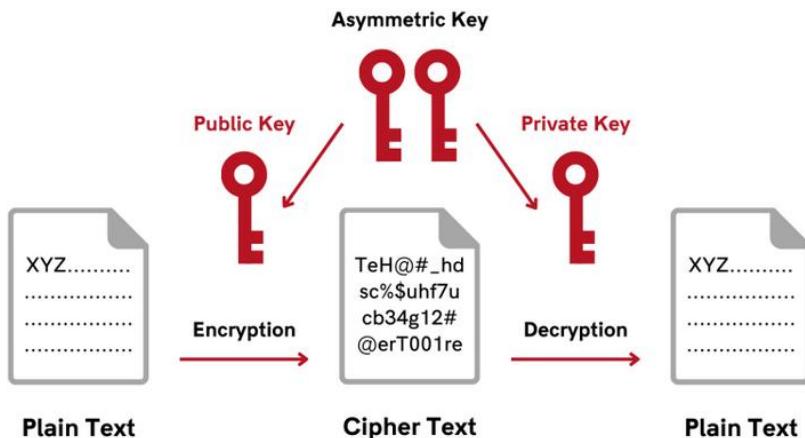


Figura 6. Criptografía de clave asimétrica. Fuente: https://blog.cfte.education/what-is-cryptography-in-blockchain/#Definition_of_Cryptography

El *hashing criptográfico* convierte los datos en cadenas únicas, que permiten detectar cualquier cambio y aseguran la conexión segura entre bloques. No implica el uso de claves, sino que utiliza un cifrado para formar un valor hash de longitud fija. Usando un algoritmo hash, cualquier información de texto plano puede convertirse en una única cadena de texto. Independientemente de la longitud del valor de entrada, el hash siempre tiene una longitud fija. Este principio se ilustra en la Figura 7, donde las entradas 'hello' y 'HELLO' producen valores hash diferentes de la misma longitud fija.

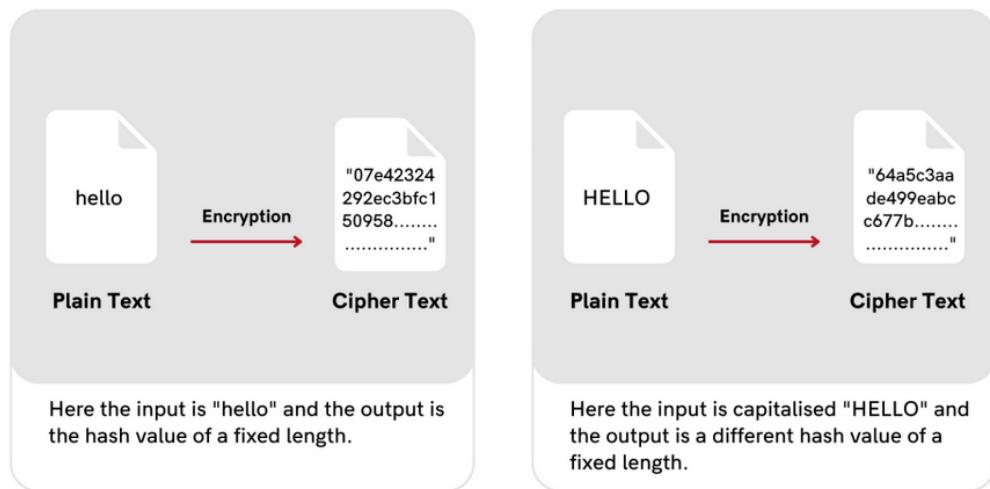


Figura 7. Función hash. Fuente: https://blog.cfte.education/what-is-cryptography-in-blockchain/#Definition_of_Cryptography

Utilizando estos mecanismos, la criptografía garantiza la integridad y confidencialidad de los datos, hace que las transacciones sean seguras y verificables, y otorga a blockchain el carácter de un libro mayor descentralizado y de confianza.

3. LIBROS MAYORES DISTRIBUIDOS Y DESCENTRALIZACIÓN

Libros mayores de distribución

La infraestructura tecnológica y los protocolos que permiten el acceso, validación y actualización simultánea de registros en una base de datos en red se denominan tecnología de libro mayor distribuido (DLT) (Harvard Law School Forum on Corporate Governance, 2022). A diferencia de las bases de datos tradicionales, que están centralizadas y mantenidas por una sola entidad, la DLT es descentralizada y opera en una red peer-to-peer¹ (Crosby et al., 2016). Cada participante, o nodo, en la red tiene una copia del libro mayor, y cualquier actualización del libro mayor se construye y registra de forma independiente por cada nodo. El libro mayor se mantiene mediante acuerdos entre nodos, asegurando que todas las copias del libro mayor sean idénticas.

La DLT es la tecnología que se utiliza para construir blockchains, y la infraestructura es la que permite a los usuarios ver qué cambios se han realizado y por quién, reduciendo la necesidad de auditorías de datos, garantizando la integridad de los datos y proporcionando acceso solo a quienes lo necesitan. Esto se ilustra en la Figura 8, donde cuatro nodos intercambian actualizaciones para mantener sus libros mayores idénticos, demostrando cómo DLT mantiene la transparencia y sincronización sin una autoridad central

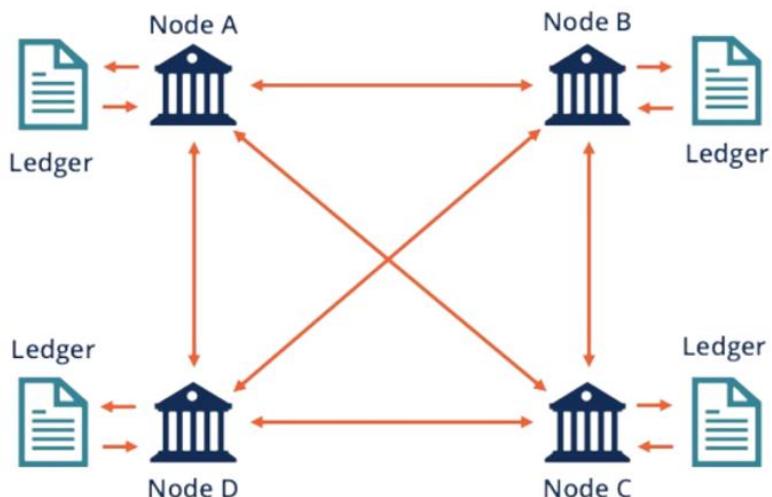


Figura 8. Libros de contabilidad distribuidos. Fuente:
<https://corporatefinanceinstitute.com/resources/cryptocurrency/distributed-ledgers/>

El libro mayor distribuido es uno de los componentes lógicos clave de un entorno blockchain. Su característica más notable es la descentralización (Yaga et al., 2018).

¹ Peer-to-peer = Compartición directa de recursos e información entre dispositivos o usuarios sin necesidad de una autoridad central o servidor



Descentralización

La descentralización es el principio fundamental que lleva a cabo blockchain y libros de contabilidad distribuidos. En lugar de tener un único punto de control, la red se comparte entre todos los participantes. Esto reduce el riesgo de ataques porque no hay una sola entidad sobre la que presionar.

La descentralización reduce la dependencia de intermediarios, dando a las personas mayor control sobre sus datos (Harvard Law School Forum on Corporate Governance, 2022). La descentralización de los sistemas de gestión de residuos mejora el reciclaje local y la reutilización de recursos, reduciendo significativamente el impacto ambiental en comparación con los sistemas centralizados.



4. CONTRATOS INTELIGENTES: DEFINICIÓN Y USOS

Los contratos inteligentes son acuerdos digitales autoejecutables almacenados en una blockchain. Los términos del contrato se redactan en código y se hacen cumplir automáticamente una vez cumplidas las condiciones especificadas, sin necesidad de intermediarios. Esta automatización reduce los retrasos, previene disputas y garantiza transparencia (Comisión Europea, Observatorio y Foro de Blockchain de la UE, 2020; Tapscott et al. 2016).

Un elemento clave de los contratos inteligentes es la automatización. Esto significa que ciertas acciones, como actualizar un certificado, se realizan tan pronto como se cumplen las condiciones establecidas en el contrato, sin necesidad de intervención humana (Saberi et al., 2018).

Otro aspecto clave es la inmutabilidad de los contratos inteligentes. Una vez que un contrato se ha implementado en la blockchain, no puede modificarse. De este modo, todas las partes implicadas pueden confiar en que los términos establecidos inicialmente permanecerán sin cambios.

Otro aspecto fundamental es la transparencia. La blockchain permite que todas las partes vean los mismos términos y resultados, eliminando posibles malentendidos. Además, al utilizar criptografía, estos contratos ofrecen un mayor nivel de seguridad, reduciendo el riesgo de fraude o manipulación.



5. COMPARACIÓN CON BASES DE DATOS TRADICIONALES

La gestión de datos en industrias como la piedra natural se ha basado tradicionalmente en bases de datos centralizadas. Aunque estos sistemas son efectivos para los registros internos de la empresa, enfrentan limitaciones en ecosistemas multipartidistas donde la transparencia y la trazabilidad son cruciales (Zheng et al., 2018).

En el caso de las bases de datos tradicionales, el control recae en una única organización o administrador de TI, que confiere autoridad centralizada sobre la información. Además, los datos almacenados pueden modificarse, eliminarse o sobrescribirse, lo que genera problemas de confianza en situaciones en las que la integridad de la información es crítica. La transparencia también se reduce, ya que partes externas —como clientes o reguladores— a menudo dependen de informes proporcionados por la organización propietaria, informes que no siempre reflejan la realidad completa. Sin embargo, estas bases de datos resultan efectivas cuando se utilizan dentro de los flujos de trabajo internos de una sola organización, pero pierden relevancia al gestionar cadenas de suministro transfronterizas con múltiples partes involucradas.

En cambio, las bases de datos basadas en blockchain funcionan bajo el principio de libros mayores distribuidos. Se almacenan copias de la base de datos en todos los nodos participantes, lo que elimina el riesgo de un único punto de fallo (Comisión Europea, 2020). Además, una vez que una transacción ha sido validada, se vuelve inmutable, garantizando así la integridad de los datos. Otra gran ventaja es que todas las partes implicadas pueden verificar la información directamente, sin depender de una autoridad central, lo que fortalece la confianza entre los actores. Además, blockchain permite la integración con contratos inteligentes, lo que permite automatizar procesos, como la actualización automática de pasaportes de materiales.

Para comprender mejor las diferencias entre ambos tipos de bases de datos, la siguiente tabla presenta una comparación sintética entre bases de datos tradicionales y basadas en blockchain.

Tabla 2. Comparando bases de datos tradicionales frente a bases de datos blockchain.

Aspecto	Base de datos tradicional	Base de Datos Blockchain
Control	Centralizado	Descentralizado
Integridad de los datos	Editable	Inmutable
Transparencia	Limitada	Compartido entre todos
Requisito de fideicomiso	Alto (en autoridad)	Bajo (en código)
Automatización	Requiere herramientas externas	Integrado mediante contratos inteligentes

La relevancia de esta comparación para la industria de la piedra natural es significativa. Por ejemplo, rastrear los procesos de reciclaje de residuos de piedra a través de fronteras



UNIDAD 2. Fundamentos de la cadena de bloques

requiere la colaboración de múltiples actores y un alto nivel de confianza entre ellos. La tecnología blockchain proporciona la trazabilidad necesaria y facilita el cumplimiento de las directivas europeas de gestión de residuos. Al mismo tiempo, la información sobre sostenibilidad —un requisito esencial para alinearse con el Pacto Verde Europeo y los criterios taxonómicos— se vuelve mucho más sencilla cuando los datos no pueden ser manipulados. Así, blockchain no solo resuelve los problemas de transparencia y confianza, sino que también aporta una gran ventaja práctica para cumplir con los requisitos legislativos y medioambientales.



6. CASOS DE USO EN LOGÍSTICA, FINANZAS, GESTIÓN DE RESIDUOS Y MINERÍA

La blockchain y los contratos inteligentes no son tecnologías abstractas: ya se están aplicando en logística, finanzas, gestión de residuos y minería. Su integración en el sector de la piedra natural puede cerrar los circuitos de materiales, reducir ineficiencias y garantizar el cumplimiento de las políticas de sostenibilidad de la UE (Saberi et al., 2018).

6.1. Casos de uso en logística

Walmart, uno de los mayores minoristas del mundo, se enfrentaba a un gran problema: la trazabilidad de los alimentos en su cadena de suministro. Rastrear el origen de un producto contaminado podía llevar hasta siete días, lo que implicaba altos costes y riesgos para la salud del consumidor.

En 2017, Walmart lanzó la plataforma Food Trust, basada en blockchain, junto con IBM. Integra todas las etapas de la cadena de suministro – desde la granja hasta el procesador y el almacén – en un libro mayor distribuido y transparente (IBM, 2017).

El resultado fue espectacular: el tiempo necesario para rastrear el origen de un producto bajó de 7 días a solo 2,2 segundos. De este modo, Walmart pudo aumentar la eficiencia operativa, reducir el desperdicio y, lo más importante, proporcionar a los consumidores mayor seguridad y confianza (Walmart Global Tech, 2021 a,b).

La blockchain no solo permite identificar rápidamente las fuentes de contaminación alimentaria, sino que también ayuda a reducir el desperdicio, ya que las retiradas de productos del mercado se dirigen únicamente a los lotes afectados. Esto mejora significativamente la gestión del proceso de retirada.

El gráfico de la Figura 9 compara los métodos tradicionales de gestión de datos con soluciones basadas en blockchain utilizando cinco criterios clave: trazabilidad, confianza, costes de auditoría, seguridad alimentaria y rapidez. Las áreas sombreadas muestran el rendimiento de cada método: gris para métodos tradicionales y azul para blockchain.



Figura 9. La implementación de la tecnología Blockchain por parte de Walmart.

Se observa que el polígono azul (blockchain) se extiende mucho más allá del gris, lo que significa que blockchain supera a los métodos convencionales en todos los capítulos analizados.

6.2. Casos de uso en finanzas

En el sector financiero, un desafío constante es la complejidad de los pagos internacionales. Una sola transferencia podría pasar por varios bancos intermediarios, lo que genera retrasos de días, costes adicionales y falta de transparencia.

Para resolver este problema, JPMorgan lanzó en 2017 la Red de Información Interbancaria, que más tarde pasó a llamarse Liink, basada en su propia infraestructura blockchain, Onyx. La red permitió a los bancos participantes compartir en tiempo real la información necesaria para procesar los pagos y corregir instantáneamente los errores (SA23026, 2023). El tiempo de procesamiento de transacciones disminuyó significativamente y la introducción de JPM Coin permitió liquidar instantáneamente entre los participantes. La solución aportó más transparencia, servicios más rápidos y reducción de costes operativos (Cousaert, 2021; Anguiano, 2023).

El caso Liink es un ejemplo ilustrativo de cómo la blockchain puede aplicarse en el sector bancario para resolver problemas de eficiencia y transparencia. JPMorgan ha demostrado que, en el ámbito de los pagos transfronterizos, una red distribuida puede simplificar el complicado proceso y generar beneficios tangibles a escala global.

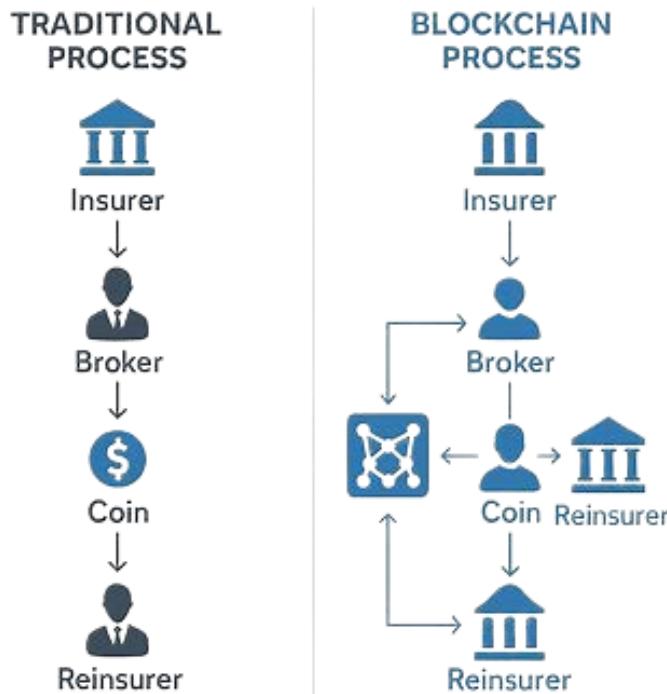


Figura 10. Diferencias entre el proceso tradicional y el proceso blockchain.

La Figura 10 destaca cómo los procesos tradicionales implican un flujo lineal, pasando por múltiples intermediarios uno tras otro, lo que conduce a retrasos y costes adicionales. En cambio, el proceso basado en blockchain permite a todos los actores acceder a la misma información en tiempo real, reduciendo cuellos de botella y errores. Fíjate cómo el corredor, la aseguradora y los reaseguradores están conectados simultáneamente a través del libro mayor distribuido, lo que explica cómo esta solución JPMorgan pudo reducir los tiempos de procesamiento y aumentar la transparencia en la red bancaria.

6.3. Casos de uso en la gestión de residuos

Un ejemplo relevante de aplicación blockchain en la gestión de residuos es el **proyecto CIRCULARPORT/CIRCULARPASS** en España (Blue Room Innovation, s.f.; Taylor et al., 2020; Jovanovic, 2025; Picvisa, s.f.). Los puertos generan grandes cantidades de residuos procedentes de los barcos, y garantizar una recogida, transporte y tratamiento adecuados es un desafío. Tradicionalmente, este proceso carecía de transparencia y era propenso a errores o incluso a la eliminación ilegal.

Los aspectos clave de este estudio de caso se resumen en la Figura 11, que destaca el problema, la solución basada en blockchain y el impacto resultante.



Figura 11. Blockchain para la gestión de residuos: Problema–Solución–Impacto en el proyecto CIRCULARPORT/CIRCULARPASS (España).

Como se muestra en la Figura 11, las iniciativas CIRCULARPORT y CIRCULARPASS introdujeron un sistema de trazabilidad basado en blockchain que registra cada etapa del flujo de residuos — desde la recogida en el puerto hasta el tratamiento final. Todos los actores implicados (autoridades, operadores portuarios, plantas de tratamiento de residuos) pueden acceder a los mismos datos inmutables, lo que aumenta la confianza y la rendición de cuentas.

El resultado es un sistema que no solo cumple con la Directiva Marco de Residuos de la UE, sino que también mejora la eficiencia al reducir la papeleo y permitir un seguimiento en tiempo real. Las autoridades obtienen mayor control, las empresas pueden demostrar cumplimiento y la sociedad en su conjunto se beneficia de una gestión de residuos más sostenible.

6.4. Casos de uso en minería

En el sector minero, un caso ilustrativo viene de CurrencyWorks en Canadá, que desarrolló un modelo de conversión de residuos en energía para impulsar operaciones de minería de criptomonedas (Pappas, 2021). La minería de activos digitales como Bitcoin consume enormes cantidades de energía y a menudo ha sido criticada por su huella medioambiental.

CurrencyWorks abordó este reto integrando plantas de conversión de residuos en energía con infraestructura de minería blockchain. Los residuos municipales se convierten en energía, que alimenta directamente las instalaciones de minería de criptomonedas. La red blockchain registra tanto el proceso de generación de energía como su uso, garantizando total transparencia y cumplimiento de las normativas medioambientales.

La Figura 12 ilustra este proceso, mostrando cómo los residuos se transforman en energía que impulsa las actividades mineras, mientras que blockchain garantiza transparencia y cumplimiento de sostenibilidad.

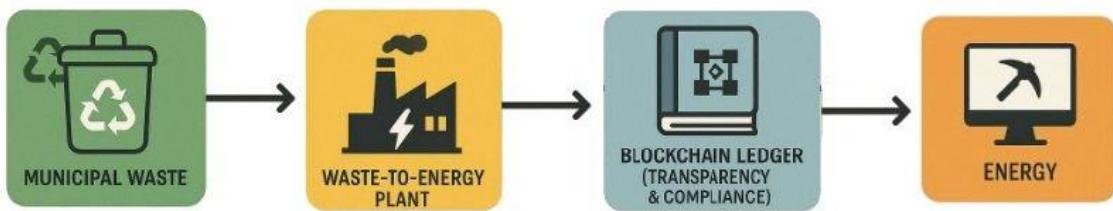


Figura 12. Proceso de conversión de residuos en energía que impulsa la minería de blockchain (estudio de caso de CurrencyWorks).

El enfoque muestra cómo blockchain puede formar parte de una solución de economía circular, transformando un problema de residuos en un recurso mientras reduce las emisiones de carbono (Taylor et al., 2020; Jovanovic, 2025; Picvisa, s.f.). Destaca el potencial de blockchain no solo para mejorar la trazabilidad y la rendición de cuentas, sino también para apoyar modelos de negocio innovadores y ecológicos en industrias intensivas en recursos.

Los cuatro estudios de caso mencionados anteriormente pueden compararse entre sectores. La Tabla X ofrece un resumen de los casos de uso, destacando las principales aplicaciones, beneficios y referencias.

Tabla 3. Casos de uso de blockchain en diferentes sectores.

Sector	Estudio de caso	Resúmenes
Logística	Walmart & IBM Food Trust	Blockchain para la trazabilidad de la cadena de suministro alimentaria; reducción del tiempo de seguimiento de origen de 7 días a 2,2 segundos; Mejorada de la seguridad y eficiencia alimentaria
Finanzas	JPMorgan – Lío	Pagos transfronterizos en libro mayor distribuido; Se unieron 400+ bancos; transacciones más rápidas, transparencia, moneda JPM para acuerdos



UNIDAD 2. Fundamentos de la cadena de bloques

Gestión de residuos	CIRCULARPORT / CIRCULARPASS (España)	Trazabilidad blockchain de los residuos generados por barcos; cumplimiento de la Directiva Europea de Residuos; Mayor transparencia entre autoridades y plantas de tratamiento
Minería	CurrencyWorks (Canadá)	Modelo de conversión de residuos en energía que impulsa la minería cripto; blockchain garantiza transparencia y cumplimiento medioambiental; Ejemplo de innovación en economía circular

Como se muestra en la Tabla 3, blockchain genera valor en diferentes sectores al mejorar la transparencia, la eficiencia y la confianza. Aunque las aplicaciones específicas varían, el principio subyacente sigue siendo el mismo: los registros descentralizados e inmutables refuerzan la rendición de cuentas.



REFERENCIAS

- Anguiano, T. D. (2023). El estado del arte, las oportunidades y los retos de la blockchain en la industria aseguradora: una revisión sistemática de la literatura. *PMC*.
- Innovación en la sala azul. (s.f.). *CircularPort y CircularPass: Aprovechar la blockchain para promover la economía circular*. Plataforma Europea de Partes Interesadas en Economía Circular. Consultado el 26 de agosto de 2025, de <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/circularport-and-circularpass-leveraging-blockchain-promote-circular-economy>
- Chiliz (2024, agosto de 2027) ¿Qué es una cadena en la tecnología blockchain? Consultado el 18 de agosto de 2025, desde <https://www.chiliz.com/what-is-a-chain-in-blockchain-technology/>
- Cousaert, S., Vadgama, N., & Xu, J. (2021). Soluciones de seguros basadas en tokens en blockchain. *arXiv*.
- Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., & Kalyanaraman, V. (2016). Tecnología blockchain: Más allá de bitcoin. *Revisión de Innovación Aplicada*, 2(6–10). <https://j2-capital.com/wp-content/uploads/2017/11/AIR-2016-Blockchain.pdf>
- Comisión Europea. (19 de febrero de 2020). *Una estrategia europea para los datos* (COM(2020) 66 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52020DC0066>
- Comisión Europea, Observatorio y Foro de Blockchain de la UE. (2020). *Contratos inteligentes: desafíos legales y oportunidades* (Informe final). Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. https://blockchainobservatory.ec.europa.eu/document/download/53a0aeb4-d144-4054-841e-dc169b44f94d_en?filename=SmartContractsReport_Final.pdf
- Guo, H. (2025). El impacto de la tecnología blockchain y los contratos inteligentes. *La naturaleza*.
- Foro de Gobierno Corporativo de la Facultad de Derecho de Harvard. (2022). Blockchain en el sector bancario: Un análisis del panorama y las oportunidades.
- IBM. (14 de diciembre de 2017). Walmart, JD.com, IBM y la Universidad de Tsinghua lanzan una alianza blockchain de seguridad alimentaria en China. *Sala de redacción de IBM*. Consultado el 21 de agosto de 2025, desde <https://newsroom.ibm.com/2017-12-14-Walmart-JD-com-IBM-and-Tsinghua-University-Launch-a-Blockchain-Food-Safety-Alliance-in-China>
- Jovanovic, D. (abril de 2025). Blockchain y gestión sostenible de residuos: Una inmersión profunda. Diversys. <https://www.diversys.com/white-papers/blockchain-and-sustainable-waste-management-a-deep-dive/>
- Mougar, W. (2016). *La blockchain empresarial: Promesa, práctica y aplicación de la próxima tecnología de Internet*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: Un sistema de dinero electrónico peer-to-peer*. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>



SA23026. (2023). Cómo JP Morgan Chase aprovecha la tecnología blockchain para modernizar los servicios financieros. *Manuscrito AABRI*.

Pappas, A. (17 de junio de 2021). *El sector energético canadiense podría ganar en la minería de criptomonedas verde*. EnergyNow.ca. <https://energynow.ca/2021/06/canadas-energy-sector-could-win-at-green-crypto-mining-alex-pappas/>

Picvisa. (s.f.). Tecnología blockchain para la gestión sostenible de residuos. Picvisa. Consultado el 23 de agosto de 2025, de <https://picvisa.com/blockchain-technology-for-sustainable-waste-management/>

Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2018). La tecnología blockchain y sus relaciones con la gestión sostenible de la cadena de suministro. *Revista Internacional de Investigación en Producción*, 56(1-2), 2117–2135

Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Revolución blockchain: Cómo la tecnología detrás de bitcoin está cambiando el dinero, los negocios y el mundo*. Nueva York, NY: Penguin.

Taylor, P., Steenmans, K., & Steenmans, I. (2020) Tecnología blockchain para la gestión sostenible de residuos. Al frente. Ciencias Políticas 2:590923. doi: 10.3389/fpos.2020.590923

La Asociación de Ginebra. (2023). Seguro DeFi: Seguro basado en blockchain y su potencial.

Walmart Global Tech. (14 de junio de 2021). Blockchain en la cadena de suministro alimentaria. Walmart. Consultado el 21 de agosto de 2025, desde https://tech.walmart.com/content/walmart-global-tech/en_us/blog/post/blockchain-in-the-food-supply-chain.html

Walmart Global Tech. (30 de noviembre de 2021). Blockchain en la cadena de suministro alimentaria: ¿Cómo es el futuro? Walmart. Consultado el 19 de agosto de 2025, de https://tech.walmart.com/content/walmart-global-tech/en_us/blog/post/blockchain-in-the-food-supply-chain.html

Yaga, D., Mell, P., Roby, N., & Scarfone, K. (2018). Visión general de la tecnología blockchain. *Informe Interinstitucional/Interno del NIST (NISTIR) 8202*. Instituto Nacional de Estándares y Tecnología. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8202>

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H.-N., Chen, X., & Wang, H. (2018). Desafíos y oportunidades en blockchain: una encuesta. *Revista Internacional de Servicios Web y de Red*, 14(4), 352. <https://doi.org/10.1504/IJWGS.2018.095647>



Curso RockChain:

UNIDAD 3.

Economía circular en el contexto de la piedra natural.



Esta obra está licenciada bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional](#)

"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. DEFINICIÓN Y PILARES DE LA ECONOMÍA CIRCULAR	3
2. DE MODELOS LINEALES A CIRCULARES: DESAFÍOS Y BENEFICIOS	5
3. PRÁCTICAS CIRCULARES EN EXTRACCIÓN, PROCESAMIENTO Y DISEÑO DE PRODUCTOS	7
4. RECICLAJE DE RESIDUOS DE PIEDRA: ÁRIDOS, RELLENOS, DECORACIONES, ETC.	9
5. EC Y DIGITALIZACIÓN: TRAZABILIDAD, DATOS, MONITORIZACIÓN DEL CICLO DE VIDA ..	11
6. CONTEXTO DE LA UE: GREEN DEAL, PLAN DE ACCIÓN PARA LA ECONOMÍA CIRCULAR, TAXONOMÍA	13
REFERENCIAS	14



1. DEFINICIÓN Y PILARES DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

Definición de la economía circular para la piedra natural

La economía circular tiene como objetivo prevenir el desperdicio y la contaminación. La piedra natural usada debe permanecer en el ciclo y regenerarse durante todo su ciclo de vida. Esto aleja a la industria de un modelo lineal de "extraer-usar-eliminar", en el que las piedras en bruto se extraen, procesan, usan y finalmente se eliminan, hacia un sistema de circuito cerrado. En este sistema, cada fase —desde la extracción y procesamiento hasta la construcción, demolición y reutilización— se centra en aumentar el valor de la piedra natural, reducir el impacto ambiental y conservar recursos geológicos finitos.

Pilares de la economía circular para la piedra natural

1. Reducir

Minimizar el uso de materiales y energía en cada fase de la producción de piedra es la piedra angular del pilar de "reducir". Optimizando procesos y diseños, la industria de la piedra natural puede reducir drásticamente los residuos, disminuir las emisiones de CO₂ y preservar canteras.

- Corte de precisión y plantillas digitales para adaptar la piedra exactamente a las especificaciones
- Diseño para un mínimo desperdicio mediante paneles modulares y dimensiones estandarizadas
- Uso de técnicas de fabricación enxuta para optimizar el consumo de agua y energía
- Preferencia por fuentes locales de suministro para reducir las distancias de transporte y las emisiones asociadas

2. Reutilización

Prolongar la vida útil de la piedra natural manteniendo su forma y función en nuevas aplicaciones evita la extracción de nuevas materias primas y la eliminación en vertederos. El pilar de "reutilización" enfatiza el desmontaje, reacondicionamiento y reutilización de elementos de piedra intactos.

- Protocolos de desmantelamiento para el cuidadoso desmontaje de fachadas, suelos, encimeras, mampostería, aceros y adoquines de piedra
- Certificación y mercados de piedra recuperada para garantizar la calidad y la trazabilidad
- Adaptación creativa de losas y piezas recicladas a nuevas características arquitectónicas o de diseño



- Colaboraciones con empresas de demolición para extraer elementos de piedra del flujo de residuos

3. Reciclaje

Si la piedra no puede reutilizarse en su forma original, su valor se recupera como materia prima secundaria mediante procesos mecánicos de reciclaje. El pilar de reciclaje transforma la piedra natural usada en nuevos materiales de construcción o materias primas industriales.

- Trituración de piezas residuales y escombros de demolición en agregados para hormigón, subsuelo de carretera o paisajismo
- Producción de harina de piedra como relleno para mortero, cerámica y pinturas
- Reciclaje de polvo fino de piedra como aditivos minerales en materiales compuestos o estabilizadores de suelo
- Cerrando el ciclo reintegrando fracciones de roca reciclada en nuevos procesos de fabricación

Al implementar estos tres pilares – reducir, reutilizar y reciclar – la piedra natural se transforma de un recurso desecharable en un material circular, protegiendo nuestro patrimonio geológico y promoviendo el desarrollo sostenible.



2. DE MODELOS LINEALES A CIRCULARES: DESAFÍOS Y BENEFICIOS

De modelos lineales a circulares: desafíos y beneficios para la piedra natural

La transición del enfoque tradicional de "extraer-usar-eliminar" a un paradigma circular en el sector de la piedra natural requiere una reconsideración en cada etapa del ciclo de vida de la piedra. Aunque este cambio puede ser complejo, abre oportunidades medioambientales y económicas que superan con creces los obstáculos.

Retos

- Tecnología e infraestructuras. El desarrollo de instalaciones para triturar, limpiar y clasificar los residuos de piedra in situ requiere una inversión significativa y equipos especializados.
- Viabilidad económica. Los costes iniciales de desmontar, certificar materiales recuperados y logística de devolución pueden disuadir a los jugadores que buscan devoluciones a corto plazo.
- Complejidad de la cadena de suministro. El rastreo y rastreo de piedra reciclada o reutilizada a través de plataformas digitales aún está en sus inicios, lo que dificulta el control de calidad y la transparencia de materiales.
- Diseño y especificaciones. Arquitectos e ingenieros deben adaptar los detalles estándar para tener en cuenta las diferencias en tamaño, acabado superficial y tolerancias de los elementos de piedra reutilizados.
- Lagunas en la normativa y los estándares. En muchos países, las normativas de construcción y las directrices de contratación carecen de directrices claras para la aprobación de piedra natural reutilizada o reciclada.

Beneficios

- Menor impacto ambiental. Tasas de extracción más bajas conservan las reservas geológicas y protegen los hábitats en las proximidades de las canteras.
- Ahorro a largo plazo. Desviar piedra de los vertederos y utilizar materiales recuperados localmente puede reducir los costes de eliminación de residuos y los costes de transporte.
- Mejora de la marca y el posicionamiento en el mercado. Los proyectos que adoptan estrategias de economía circular atraen a clientes conscientes del medio ambiente y a menudo califican para certificaciones de sostenibilidad.
- Resiliencia y seguridad de los recursos. Establecer un circuito cerrado para el suministro de piedra reduce los riesgos asociados a la escasez de materias primas y a las fluctuaciones de precios.
- Promoción de la innovación. La demanda de soluciones circulares promueve nuevos modelos de negocio —como el arrendamiento de piedra o sistemas de recuperación— que pueden conducir a la diversificación de las fuentes de ingresos.



Tabla 1. Resumen comparativo.

Aspecto	Modelo lineal	Ventajas del modelo circular
Consumo de recursos	Extracción continua de piedra natural intacta	Minimizado mediante la reutilización y el reciclaje
Residuos	Grandes cantidades de residuos y escombros	Los ciclos cerrados reducen los residuos de los vertederos
Balance de CO2	Aumento de emisiones debido al transporte	Menor huella gracias a la recuperación local
Más	Creación de valor única	Valor extendido a través de múltiples ciclos de vida
Riesgo regulatorio	Dependencia de nuevos permisos de extracción	Alineación con los incentivos para la gestión de residuos

La introducción de un concepto de economía circular en la industria de la piedra natural no solo aborda preocupaciones ambientales urgentes, sino que también allana el camino para prácticas resilientes, innovadoras y económicamente sólidas.



3. PRÁCTICAS CIRCULARES EN EXTRACCIÓN, PROCESAMIENTO Y DISEÑO DE PRODUCTOS

Reducir los residuos y proteger los ecosistemas comienza en la cantera. Al replantear la forma en que extraemos la roca de la tierra, estamos creando las condiciones para una verdadera economía circular.

- Minería de precisión: Uso de topografía controlada por dron y sierras de alambre diamantado para extraer bloques, reduciendo los residuos hasta en un 30%.
- Sistemas de recirculación de agua: Recogida y tratamiento de agua de escorrentía y proceso en el lugar, reduciendo el consumo de agua dulce en un 60%.
- Integración de energías renovables: Las trituradoras, cintas transportadoras y la iluminación de la cantera funcionan con sistemas de energía solar o eólica.
- Renaturalización progresiva: Restauración de la biodiversidad rellenando las zonas minadas con escombros clasificados y plantas autóctonas durante la extracción.
- Planificación modular en bloques: Dividir la extracción en zonas más pequeñas orientadas a la demanda para evitar la sobreextracción y minimizar rutas de transporte.

Transformación

En plantas de fabricación y talleres, cada astilla de piedra y cada gota de barro tienen valor. El procesamiento inteligente mantiene estos subproductos en juego.

- Plantillas digitales y optimización del corte: Uso de software de escaneo 3D y CAM para que se puedan producir múltiples piezas a partir de una sola placa en bruto, reduciendo el desperdicio.
- Ciclo cerrado de purina: Recogida de la mezcla de polvo de piedra/agua de sierras y máquinas de moler, separación de sólidos para agregados reciclados y clarificación del agua para su recirculación.
- Plantas de trituración in situ: Convertir chatarras de tablas, recortes y fragmentos desmontados en agregados clasificados para nuevos compuestos de piedra o subbases de carretera.
- Máquinas eficientes energéticamente: Sierras y rectificadoras de remodelación con convertidores de frecuencia y frenos regenerativos para reducir el consumo de energía.
- Plantas de clasificación de materiales: Utiliza cintas transportadoras y escáneres ópticos para separar las piezas inutilizables de la piedra natural de alta calidad y enviarlas para su reutilización selectiva.

Diseño de producto

Las decisiones de diseño determinan cuánto tiempo dura la piedra y qué tan fácil es que se devolva a un nuevo ciclo. Los detalles bien pensados de hoy abren los materiales de mañana.



UNIDAD 3. Economía circular en el contexto de la piedra natural

- Diseño para desmontaje: Especificar sistemas mecánicos de anclaje (abrazaderas, pañas, soportes) en lugar de moldear mortero en el lugar para que las losas puedan retirarse limpiamente.
- Módulos estandarizados: Utiliza una selección limitada de tamaños y grosos de losas para simplificar la adaptación, reutilización o reconfiguración posterior.
- Pasaportes de materiales: Adjunta códigos QR o etiquetas RFID a elementos de piedra que registren el origen, el tratamiento de la superficie y el historial de reparaciones para simplificar la verificación.
- Plantillas para la reutilización adaptativa: Crea directrices de diseño que muestren cómo se pueden reciclar antiguas encimeras, revestimientos o adoquines para convertirlos en muebles, mosaicos o elementos de jardín.
- Modelos de devolución y arrendamiento: Trabajar con los proveedores para ofrecer piedra en régimen de arrendamiento y garantizar la devolución y recuperación al final de su vida útil para el reprocesamiento.



4. RECICLAJE DE RESIDUOS DE PIEDRA: ÁRIDOS, RELLENOS, DECORACIONES, ETC.

Reciclando los residuos de piedra, los recortes, escombros y polvo se convierten en materias primas secundarias de alta calidad. Este enfoque mantiene muchas toneladas de escombros de piedra fuera de los vertederos, reduce la demanda de piedra nueva y abre nuevas oportunidades de negocio.

Agregados

Los fragmentos de piedra triturada y los residuos de construcción son áridos duraderos y rentables para la ingeniería civil y la construcción.

- Subbase para carreteras y aceras
- Áridos gruesos para hormigón y mortero
- Material de relleno para zanjas y muros de contención
- Sistemas de subdrenaje y lechos de filtración
- Elementos de paisajismo (caminos de grava, grava decorativa)

Rellenos

El polvo de piedra y los polvos finos pueden sustituir o complementar los rellenos minerales convencionales y mejorar las propiedades mecánicas y térmicas de diversos productos.

- Pinturas, recubrimientos y imprimaciones (mejor resistencia a la abrasión)
- Compuestos de polímero y caucho (resistencia al fuego, rigidez)
- Selladores, masillas y rellenos para juntas (estabilidad dimensional)
- Mezclas de asfalto (asfalto de mástic de piedra)
- Papel y plásticos (opacidad y poder de llenado)

Aplicaciones decorativas y arquitectónicas

Las losas más grandes y los recortes con vetas únicas desbloquean aplicaciones creativas de diseño, dando una segunda vida a la piedra de desecho en contextos estéticos.

- Mosaico e incrustaciones para paredes y suelos
- Paneles de mobiliario hechos a medida, bancos y encimeras de mesa
- Adornos de jardín, peldaños y bordes
- Paneles de revestimiento de pared en varios colores y texturas
- Esculturas artísticas, señalización y muros de acento

Compósitos Ingenierizados y Productos Avanzados

Al mezclar residuos de piedra con aglutinantes u otros subproductos industriales, se crean materiales técnicos con propiedades personalizadas.

- Superficies recicladas de cuarzo o mármol (piedra triturada + resina)
- Paneles de revestimiento prefabricados con áridos reciclados



- Enyesos de yeso y respaldos de paneles (polvo + yeso)
- Encofrado impreso en 3D hecho de lodos de cemento de piedra
- Estabilizadores de suelo y ladrillos de cemento con harina de piedra

Tabla 2. Visión comparativa

Ruta de reciclaje	Material de entrada	Producto inicial	Principal ventaja
Aditivos	Pedazos triturados y escombros	Subbase de carretera, agregados de hormigón	Resistencia estructural; Evitación de vertederos
Rellenos	Polvo y polvo de piedra fina	Pinturas, plásticos, selladores	Durabilidad mejorada; Ahorro de costes
Elementos decorativos	Restos y losas intactas	Mosaicos, muebles, revestimientos	Estética única; Estimulación del mercado
Composiciones técnicas	Polvo mezclado con aglutinante	Encimeras, paneles, encofrados impresos	Propiedades personalizables; Economía circular

El reciclaje de residuos de piedra no solo fortalece la economía circular en la construcción, sino que también impulsa la innovación en ciencia de materiales, diseño y logística de la cadena de suministro.



5. EC Y DIGITALIZACIÓN: TRAZABILIDAD, DATOS, MONITORIZACIÓN DEL CICLO DE VIDA

Las tecnologías digitales están abriendo nuevas oportunidades para la economía circular en el sector de la piedra natural. Al recopilar y analizar información a lo largo de todo el ciclo de vida de la piedra —desde la cantera hasta el final de su uso— los interesados pueden tomar decisiones más inteligentes, garantizar la integridad del material y cerrar el ciclo de forma más eficaz.

Trazabilidad

La trazabilidad garantiza que cada losa, baldosa o pieza sólida tenga un historial verificable en cuanto a origen, procesamiento y propiedad. Esta transparencia refuerza la confianza en la piedra reciclada o reutilizada.

- Códigos QR y etiquetas RFID Aplica marcas permanentes en cajas o losas individuales para registrar la fecha de extracción, la ubicación de la cantera y los detalles del lote.
- Registros de blockchain Utiliza libros de contabilidad inmutables para documentar transferencias entre cantera, fabricante, distribuidor y revendedor para prevenir fraudes y greenwashing.
- Sistemas de información geográfica (SIG): Mapea ubicaciones activas e históricas de canteras y vincula modelos digitales de terreno con permisos de extracción y planes de restauración.
- Pasaportes digitales de materiales Crea un archivo de datos uniforme para cada elemento de piedra que registre sus propiedades, acabado superficial y medidas de mantenimiento ().

Datos

Recopilar datos en bruto es solo el primer paso. Un marco robusto de gestión de datos convierte diversas entradas en conocimientos accionables, impulsando ganancias de eficiencia y mejorando la recuperación de materiales.

- Plataformas centralizadas en la nube. Rendimiento agregado de canteras, rendimientos de fabricación e instalaciones en obras en un repositorio escalable.
- Sensores IoT Monitorizar la calidad del agua en los circuitos de lodo, el tiempo de uso de las máquinas y las condiciones ambientales en la cantera para optimizar la utilización de los recursos.
- Integración de Modelado de Información de Edificios (BIM) Metadatos de los elementos de piedra a los modelos de proyecto para crear listas de corte precisas y minimizar el desperdicio.
- Inteligencia artificial y analítica Identificar patrones en la generación de residuos, predicir las necesidades de mantenimiento y recomendar ajustes de procesos para mejorar el rendimiento.



- Evaluación del ciclo de vida (LCA) Automatiza el cálculo de la huella de carbono y agua para cada variante de producto y toma decisiones de diseño respetuosas con el medio ambiente.

Monitorización del ciclo de vida

El seguimiento del ciclo de vida de extremo a extremo monitoriza el rendimiento, mantenimiento y reutilización de las piedras, ampliando su vida útil y simplificando la recuperación posterior.

- Gemelos digitales Crea réplicas virtuales de instalaciones de piedra para simular tensiones, desgaste y tintes a lo largo del tiempo.
- Monitorización remota Utiliza drones o cámaras fijas para inspeccionar fachadas y detectar grietas, erosión o crecimiento biológico antes de que sean necesarias reparaciones importantes.
- Notificaciones predictivas de mantenimiento Establezca alertas basadas en umbrales para los programas de mantenimiento, reaplicación de sistemas de protección superficial o resellado de juntas para mantener la integridad estética y estructural.
- Paneles de planificación al final de la vida Visualizan cuándo y dónde los elementos de piedra alcanzan su edad de reemplazo y activan solicitudes de recuperación o rutas de reciclaje.
- Portales para la colaboración con partes interesadas Proporcionan a arquitectos, contratistas y empresas de recuperación una interfaz común para presentar ofertas para grupos de piedra recuperada y planificar trabajos de demolición.

El uso de la trazabilidad, la gestión de datos y el seguimiento del ciclo de vida no solo aumenta la sostenibilidad de la piedra natural, sino que también crea nuevas fuentes de valor, transformando una industria tradicional en un ecosistema circular respaldado digitalmente.



6. CONTEXTO DE LA UE: GREEN DEAL, PLAN DE ACCIÓN PARA LA ECONOMÍA CIRCULAR, TAXONOMÍA

El panorama político en Europa está evolucionando rápidamente para integrar la sostenibilidad en todos los niveles del entorno construido. Los actores de la industria de la piedra natural deben alinear la extracción, el procesamiento y el uso de sus productos con tres iniciativas fundamentales: el Pacto Verde Europeo, el Plan de Acción para la Economía Circular y la Taxonomía de la UE para Actividades Sostenibles.

Pacto Verde Europeo

El Pacto Verde Europeo establece una hoja de ruta ambiciosa para que la UE se mantenga en la neutralidad climática para 2050, promoviendo al mismo tiempo la biodiversidad y la eficiencia de los recursos. Para el sector de la piedra natural, esto significa

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en canteras y durante el procesamiento mediante el uso de energías renovables y maquinaria energéticamente eficiente.
- Restaurar antiguos sitios de extracción como parte de la Estrategia de Biodiversidad mediante el rediseño de las áreas extraídas y la reintroducción de plantas autóctonas.
- Integrar la piedra en métodos de construcción bajos en carbono a través de la Iniciativa de Productos Sostenibles, que tiene como objetivo promover materiales duraderos, de bajo mantenimiento y reciclables.
- Aprovechando la ola de renovaciones para estimular la demanda de fachadas y suelos de piedra duraderos que prolonguen la vida útil de los edificios.

Plan de acción para la economía circular

El Plan de Acción de Economía Circular (CEAP) publicado en 2020 acelera la transición de Europa de un modelo desecharable a uno de reciclaje. Las medidas más importantes que afectan a la piedra natural incluyen:

- Política de productos sostenibles
 - Introducción de normativas sobre la Huella Ambiental del Producto (PEF) para materiales de construcción, que permiten una comparación de la huella de CO₂ y agua de la piedra.
 - Creación de pasaportes de materiales como parte del próximo Reglamento de Productos de Construcción para rastrear lotes de piedra desde la cantera hasta la demolición.
- Directiva Marco de Residuos
 - Clasificación de los residuos de piedra como posibles materias primas secundarias en lugar de residuos inertes, facilitando la aprobación de áridos triturados.



- Obligación para los Estados Miembros de establecer objetivos elevados de reciclaje para los residuos de construcción y demolición, incluidas las fracciones de piedra natural.
- Digitalización de las cadenas de suministro
- Interoperabilidad obligatoria de las plataformas de trazabilidad para que la piedra recuperada pueda ser certificada y comercializada a través de fronteras.

Taxonomía de la UE para actividades sostenibles

La taxonomía de la UE es un sistema uniforme de clasificación que define qué actividades económicas contribuyen significativamente a los objetivos medioambientales sin afectar significativamente a otros.

La industria de la piedra natural puede clasificarse en dos categorías principales:

Tabla 3. Taxonomía de la UE para actividades sostenibles

Objetivo de la taxonomía	Actividad	Criterios técnicos clave
Mitigación del cambio climático	Extracción y procesamiento de piedra	≤ consumo energético de 100 g CO ₂ e/MJ; La cuota de energías renovables ≥ 30%
Economía circular	Fabricación de productos de construcción	≥ el 70% de los residuos se reciclan en el lugar; Pasaporte digital de producto con datos del ciclo de vida

Para ser consideradas conformes con la taxonomía, las empresas de piedra deben:

- Demostrar el cumplimiento de los estrictos límites de emisiones durante la extracción y producción.
- Presentar planes sólidos de gestión de residuos que reciclen materiales residuales en áridos o rellenos.
- Proporcionar pruebas digitales (por ejemplo, pasaportes materiales) de abastecimiento, tratamiento y eliminación sostenibles.

Alinear las prácticas de piedra natural con estos tres pilares garantiza el cumplimiento de los requisitos legales, mejora el acceso al mercado para proyectos "verdes" y posiciona al sector a la vanguardia de la construcción sostenible en Europa.

REFERENCIAS

[Plan de acción para la economía circular – Comisión Europea](#)



Curso RockChain:

UNIDAD 4.

La blockchain aplicada a la gestión de residuos.



Esta obra está licenciada bajo una [Licencia Internacional Creative Commons](#)
[Atribución-CompartirIgual 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. CORRIENTES DE RESIDUOS EN EL PROCESAMIENTO DE PIEDRAS ORNAMENTALES: TIPOS Y DESTINOS.....	4
1. 1 Introducción	4
1.2 Tipos de residuos en el procesamiento de piedra.....	4
1.3 Volumen estimado de residuos	6
1.4 Destinos actuales de residuos y tendencias emergentes	6
1.4.1 Vertedero y almacenamiento temporal.....	6
1.4.2 Restauración y relleno medioambiental	6
1.4.3 Reciclaje y simbiosis industrial	6
1.4.4 Reutilización creativa o artesanal	7
1.4.5 Energía y valoración digital	7
1.5 Economía circular como marco estratégico	7
2. OBLIGACIONES LEGALES Y REQUISITOS DE REPORTE EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS ..	8
2.1 Marco Jurídico Europeo	8
2.2 Legislación específica para las industrias extractiva y de piedra	9
2.2.1. Directiva de Residuos Extractivos (Directiva 2006/21/CE).....	9
2.2.2. Directiva sobre vertederos (Directiva 1999/31/CE)	9
2.2.3. Directiva de Emisiones Industriales (Directiva 2010/75/UE)	9
2.2.4. Sistemas de Gestión Ambiental: EMAS (Reglamento 1221/2009).....	9
2.3 Obligaciones de Reporte de Residuos y Trazabilidad	9
2.4 Consecuencias del incumplimiento	10
2.5 Relevancia en la formación para los estudiantes de formación profesional	10
3. APLICACIONES BLOCKCHAIN: PASAPORTES MATERIALES, GEMELOS DIGITALES, LIBROS DE CONTABILIDAD DESCENTRALIZADOS.....	12
3.1 Pasaportes materiales.....	12
3.2 Gemelos digitales.....	12
3.3 Libros mayores descentralizados y redes blockchain.....	13
3.4 Ventajas y desafíos	14
3.5 Aplicación al sector de la piedra: flujo de trabajo propuesto	15
4. CONTRATOS INTELIGENTES PARA CUMPLIMIENTO, INFORMES E INCENTIVOS	16
4.1 ¿Qué es un contrato inteligente y cómo funciona?	16



4.2 Aplicaciones en la gestión de residuos y la economía circular.....	16
4.3 Casos de uso específicos en el sector de la piedra	17
4.3.1. Certificación automática de cumplimiento.....	17
4.3.2. Incentivos para el desempeño medioambiental.....	17
4.3.3. Automatización de la información legal.....	17
4.4 Beneficios y desafíos.....	18
4.4.1. Principales ventajas:.....	18
4.4.2. Principales desafíos:	18
4.5 Propuesta de enseñanza para la Educación y Formación Profesional (VET).....	18
5. INTEGRACIÓN DE BLOCKCHAIN CON HERRAMIENTAS DE IOT Y RECOPILACIÓN DE DATOS.....	20
5.1 El papel del IoT en la gestión de residuos.....	20
5.2 Blockchain como columna vertebral de la trazabilidad.....	20
5.3 Arquitectura técnica combinada: Edge, IoT y Blockchain	21
5.4 Beneficios y desafíos de la integración IoT + Blockchain.....	21
5.4.1. Beneficios clave:.....	21
5.4.2. Principales desafíos:	21
5.5 Aplicación práctica en el sector de la piedra	22
REFERENCIAS	23



1. CORRIENTES DE RESIDUOS EN EL PROCESAMIENTO DE PIEDRAS ORNAMENTALES: TIPOS Y DESTINOS

1. 1 Introducción

En Europa, la industria de la piedra ornamental se considera una actividad estratégica en algunas regiones. Está asociado con el patrimonio cultural y arquitectónico, así como con el sector de la construcción, la decoración y, más recientemente, el diseño sostenible. La extracción y transformación de materiales a partir de piedra natural implica inherentemente una generación de residuos materiales, por lo que este es uno de los principales retos para la industria en términos de sostenibilidad.

Cada fase del proceso, desde la preparación de la superficie terrestre hasta la comercialización del objeto producido, implica la pérdida de materiales, un factor que históricamente se clasifica como inevitable o gestionado por métodos tradicionales (vertedero, relleno, etc.). Hoy en día es posible valorar el desperdicio que genera la industria de la piedra ornamental como una oportunidad de innovación, valoración y trazabilidad debido a las nuevas tecnologías emergentes, incluyendo la digitalización y la blockchain, en el contexto del Pacto Verde Europeo y el Plan de Acción para la Economía Circular (Comisión Europea, 2020a). Esta unidad explorará los tipos de residuos, las cantidades estimadas y los destinos existentes y potenciales de residuos, principalmente aquellos relacionados con prácticas circulares.

1.2 Tipos de residuos en el procesamiento de piedra

La cadena de valor de las piedras ornamentales es responsable de diferentes tipos de residuos, que varían en forma, composición y posible reutilización. Este es un residuo que puede clasificarse en cinco categorías:

1. Sobrecarga o cobertura vegetal y mineral:

Estos residuos se originan en la capa superficial del suelo (suelos, arcillas, arenas) que deben ser eliminados antes de llegar a una superficie minera. Aunque es material inerte, puede causar problemas de estabilidad si no se maneja adecuadamente. Puede reutilizarse como restauración de paisajismo o como parte de un proceso de relleno si se desarrollan planes adecuados.

2. Residuos de extracción:

Una explosión volumétrica de roca no puede utilizarse como bloques o valores beneficiosos mediante voladura, sierra de alambre o simplemente serrando el material. Las grietas naturales, fisuras o la heterogeneidad mineralógica provocan que muchos bloques se conviertan en residuos en la cantera por razones estructurales o estéticas. Se estima que al menos entre el 20 y el 30% de la piedra extraída es un desecho en la cantera (LIFE-ZSW, 2024).

3. Lodos y residuos finos de corte (lodo, marbrettola):

Una de las formas de residuos más frecuentes y agravantes es la mezcla de agua, abrasivos, partículas de carbonato cálcico y aceites producidos al cortar bloques en losas, ya sea con discos o alambres. Esta suspensión se clasifica como residuos semilíquidos y normalmente acaba en un estanque o se incorpora como residuos peligrosos si contienen metales o productos químicos. Los estudios sugieren que el lodo puede situarse entre el 22 % y el 37 % del volumen inicial del bloque (Chen et al. 2023).

4. Fragmentos, desperdicios y cortes finales:

Al dimensionar, dimensionar o cortar losas, bordes, esquinas, cortes irregulares o piezas rotas. Estos materiales serán reutilizados, triturados o eliminados. Aunque visualmente puedan parecer residuos en muchos casos, conservan la composición mineral del producto final y, por tanto, son recuperables en otros sectores.

5. Residuos auxiliares (envasado, transporte, herramientas):

La gestión de residuos también debe incluir materiales vinculados al proceso logístico: maderas de palés, film transparente, residuos metálicos o de tela. A pesar de que su volumen parece relativamente pequeño, incluyen sustancias que pueden alterar el perfil de sostenibilidad y deben ser gestionadas bajo una legislación general sobre residuos (Directiva 2008/98/CE).

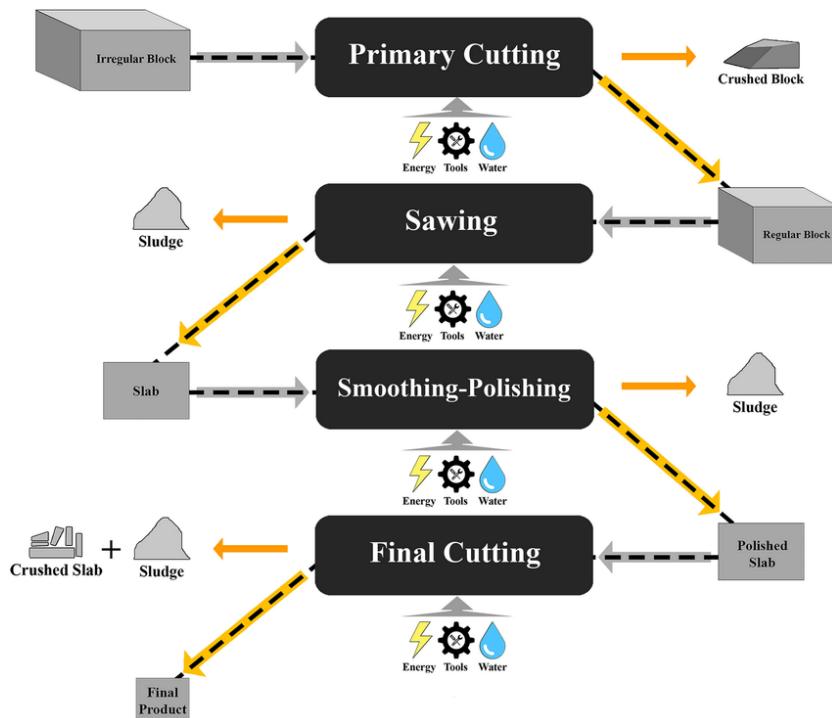


Figura 1. Tipos de residuos en el procesamiento de piedra. Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-overview-of-the-dimension-stone-processing-procedure_fig3_353943463



1.3 Volumen estimado de residuos

La magnitud del desafío se hace evidente cuando analizamos algunos de los estudios sectoriales:

- En Italia se estima que hasta el 65 % del material de piedra ornamental extraído se pierde como residuo durante todo el proceso productivo (Jalalian et al., 2021).
- En España, el proyecto DAPcons sobre Declaraciones de Producto Ambiental (RCP004 para piedra natural), desarrollado por el Instituto de Tecnología de la Construcción (ITeC) en colaboración con centros como la CTM, indica que los residuos y lodos generados durante el procesamiento de piedra natural pueden tener entre el 200 % y más del 200 % de peso que el producto final, dependiendo del tipo de piedra y del método de corte utilizado (DAPcons, 2021).
- En la región de Piamonte, Italia, una sola planta industrial registró más de 37.000 toneladas de lodo cada año procedente del corte de mármol (Estudio Piamonte, 2021).
- A nivel europeo, se estima que se producen anualmente más de 10 millones de toneladas de residuos del sector de la piedra como lodos, recortes y astillas (Eurostat, 2022).

Estas cifras no solo muestran el impacto medioambiental, sino que también muestran el potencial de recuperación de estos materiales si se implementan tecnologías adecuadas de trazabilidad, clasificación y procesamiento.

1.4 Destinos actuales de residuos y tendencias emergentes

1.4.1 Vertedero y almacenamiento temporal

Hay leyes que limitan cada vez más la actividad de vertederos, pero aún ocurre, especialmente en zonas rurales o lugares con un control institucional mínimo. El lodo se coloca en estanques o se deja secar. El riesgo de infiltración o erosión está presente si el lodo no se gestiona de forma relativamente específica.

1.4.2 Restauración y relleno medioambiental

Los residuos inertes (sobrecarga, piedras fracturadas) pueden utilizarse para llenar el vacío dejado por la minería y crear taludes o rellenos en taludes si el plan de cierre lo permite en el plan de restauración aprobado por las autoridades mineras.

1.4.3 Reciclaje y simbiosis industrial

Existen varios ejemplos de proyectos exitosos que utilizan residuos de piedra ornamental para:

- Hormigones ligeros y morteros especiales.
- Producción de cemento como sustituto de la piedra caliza primaria.
- Rellenos para resinas, cerámicas o polímeros como demostró el proyecto LIFE ZSW.



- Se utiliza como enmiendas de piedra caliza en agricultura o en tratamiento de agua (aplicación experimental).

1.4.4 Reutilización creativa o artesanal

Las piezas irregulares pueden reutilizarse como:

- Jardinería, adoquines.
- Móvilario urbano o esculturas.
- Paneles de aglomerado para interiores sostenibles.

1.4.5 Energía y valoración digital

Aunque aún está en sus inicios, existe interés en evaluar cómo los datos de residuos, la trazabilidad y la calidad de los datos pueden alimentarse en pasaportes digitales de materiales o integrarse como parte de un sistema blockchain de recompensas (véanse los bloques 3 y 4).

1.5 Economía circular como marco estratégico

La economía circular a veces se presenta no solo como una opción medioambiental, sino también como una opción industrial europea (Comisión Europea, 2020a). En el caso del sector de la piedra:

- El desperdicio se reinterpreta como recurso secundario.
- La trazabilidad y la digitalización (blockchain, IoT) ofrecen oportunidades para integrar estos residuos en flujos industriales seguros.
- Promueve la creación de nuevos empleos en clasificación, clasificación, diseño de productos reciclados o en el mantenimiento de datos.
- La huella de carbono se reduce por la reducción de la extracción primaria.

Conocer estos flujos y su gestión moderna es clave para formar a los técnicos del futuro en canteras, plantas de corte, centros de recuperación o entidades públicas.

2. OBLIGACIONES LEGALES Y REQUISITOS DE REPORTE EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

2.1 Marco Jurídico Europeo

La Directiva Marco de Residuos (Directiva 2008/98/CE) es un pilar clave de la regulación de residuos en la UE. Proporciona definiciones, como residuos, subproductos, fin de residuos, e introduce una jerarquía de residuos legalmente exigible, de la siguiente manera: prevención, preparación para la reutilización, reciclaje, otra recuperación (incluida la recuperación energética) y eliminación (Parlamento Europeo y Consejo, 2008). La jerarquía de residuos sustenta todas las consideraciones relacionadas con los residuos. La jerarquía de residuos es especialmente relevante para la industria de la piedra ornamental, que produce tanto corrientes de residuos inertes como semilíquidas.

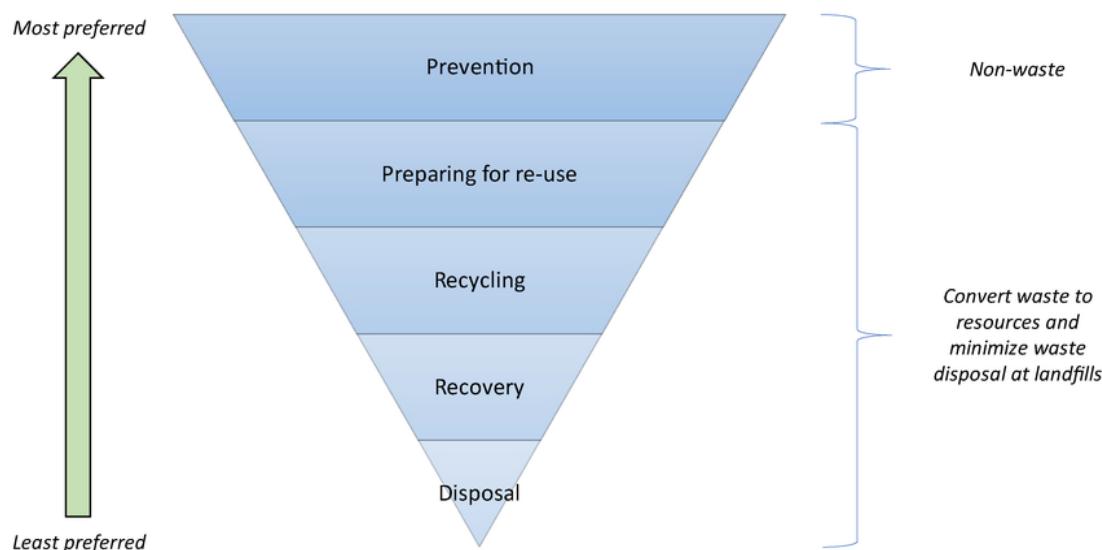


Figura 2. Marco Legal Europeo. Fuente: https://www.researchgate.net/figure/The-five-step-waste-hierarchy-of-the-European-Union-Waste-Framework-Directive_fiq1_368495266

La directiva también reitera el principio del que contamina paga y el concepto de responsabilidad extendida del productor. Esto significa que quienes generan residuos deben asumir la responsabilidad de su tratamiento y costes, independientemente de que los costes o tratamientos puedan haberse externalizado (Comisión Europea, 2020a). Esta responsabilidad se extiende a los materiales reales producidos durante el proceso de extracción y transformación, al embalaje y al proceso de manipulación de materiales, así como a las economías de transporte y almacenamiento.

La Directiva Marco de Residuos fue revisada nuevamente en 2018 (Directiva (UE) 2018/851) para incluir el requisito de que los instrumentos económicos (impuestos sobre vertederos, esquemas de pago por lanzamiento, sistemas ampliados de



responsabilidad del productor) promuevan la minimización de residuos y prácticas circulares (Comisión Europea, 2020a).

2.2 Legislación específica para las industrias extractiva y de piedra

2.2.1. Directiva de Residuos Extractivos (Directiva 2006/21/CE)

Esta directiva es especialmente importante en el sector de la piedra ornamental, ya que abarca la gestión de residuos procedentes de las industrias mineras, incluidas las explotaciones de cantera. Los operadores deben crear un Plan de Gestión de Residuos Mineros (EWMP) detallando estrategias para reducir, monitorizar y eliminar residuos. Este plan requiere la aprobación de las autoridades medioambientales y debe actualizarse regularmente (Comisión Europea, 2019).

El Anexo II de esta directiva también establece requisitos específicos para los residuos inertes, como restos de mármol o fragmentos de piedra, que deben gestionarse meticulosamente para evitar daños al medio ambiente natural o contaminación del agua.

2.2.2. Directiva sobre vertederos (Directiva 1999/31/CE)

Esta ley regula la eliminación de residuos en vertederos, diferenciando entre residuos peligrosos, no peligrosos e inertes. Aunque la mayoría de los residuos de piedra son inertes, una mala gestión, especialmente de lodos que contienen aditivos químicos, puede contravenir los criterios de diseño o admisión de vertederos (Parlamento y Consejo Europeo, 1999). La directiva también impone límites estrictos a los residuos biodegradables que pueden depositarse en vertederos y fomenta su tratamiento antes de su eliminación.

2.2.3. Directiva de Emisiones Industriales (Directiva 2010/75/UE)

Cuando una planta de procesamiento de roca se considera una gran instalación industrial, está sujeta a la Directiva de IED, que requiere un permiso para la prevención y control integrado de la contaminación (IPPC). Esto abarca regulaciones sobre emisiones al aire, agua y tierra, así como sobre la producción y gestión de residuos (Parlamento y Consejo Europeo, 2010).

2.2.4. Sistemas de Gestión Ambiental: EMAS (Reglamento 1221/2009)

Aunque opcional, el Programa de Gestión Ecológica y Auditoría Comunitaria (EMAS) es muy recomendable para empresas que trabajan en el procesamiento de piedra. Promueve la implementación de la contabilidad ambiental y simplifica la presentación de datos de residuos rastreables y claros, en línea con los objetivos de la economía circular (Comisión Europea, 2020b).

2.3 Obligaciones de Reporte de Residuos y Trazabilidad



Todos los países miembros de la Unión Europea están obligados a garantizar que los generadores de residuos:

- Clasificar sus residuos conforme a la Lista Europea de Residuos (códigos LoW).
- Registrar información clave como cantidades, tipos de residuos, destino y tipo de tratamiento aplicado.
- Informar regularmente a las autoridades nacionales mediante informes anuales o semestrales.
- Garantizar la trazabilidad de los residuos, especialmente en el caso de residuos peligrosos o semilíquidos, como los lodos de corte (Comisión Europea, 2018; Eurostat, 2022).

En países como España, Italia y otros miembros de la UE, esta trazabilidad se gestiona a través de plataformas digitales como eSIR, SISTRI o SIGRE. Estas herramientas permiten informar volúmenes, clasificar los residuos y confirmar el lugar de eliminación. Además, los informes de residuos suelen integrarse en las Declaraciones Ambientales de Producto (EPD), como RCP004 para piedra natural, desarrolladas por ITeC y CTM (ITeC & CTM, 2021). Estas declaraciones incluyen indicadores de impacto ambiental, como los kilogramos de residuos generados por metro cuadrado de piedra procesada, el consumo de agua y las emisiones de CO₂.

2.4 Consecuencias del incumplimiento

El incumplimiento de las obligaciones legales en la gestión de residuos puede tener consecuencias graves, incluyendo:

- **Multas y sanciones:** Infracciones como el transporte indebido de residuos, el vertido ilegal o el etiquetado incorrecto pueden conllevar sanciones administrativas o incluso penales (Comisión Europea, 2020a).
- **Responsabilidad medioambiental:** La Directiva de Responsabilidad Ambiental (2004/35/CE) establece el principio de 'el contaminador paga', que obliga a las empresas a reparar o compensar cualquier daño causado al medio ambiente, incluso si fue no intencionado (Parlamento Europeo y Consejo, 2004).
- **Suspensión o retirada de permisos:** Las instalaciones que operan bajo autorizaciones IPPC o IED pueden enfrentarse al cierre si se detecta un incumplimiento repetido.

2.5 Relevancia en la formación para los estudiantes de formación profesional

Para preparar adecuadamente a estudiantes o adultos de formación profesional que estén desarrollando carreras en cantería, procesamiento de piedra o gestión medioambiental, es esencial que el marco legal no se perciba como un conjunto de reglas abstractas, sino como una parte integral de las actividades laborales cotidianas.



Tema de aprendizaje	Objetivo pedagógico
Jerarquía de residuos y economía circular	Entiende cómo priorizar la prevención y la valorización
Clasificación del código LoW	Aprende a identificar y documentar correctamente los diferentes tipos de residuos
Formularios y sistemas de reporte de residuos	Utiliza plataformas digitales reales (por ejemplo, software EPD, registros nacionales)
Planes de Gestión de Residuos Extractivos (EWMP)	Comprender la estructura y los componentes de los planes de residuos necesarios para las canteras
Estudios de caso	Analizar escenarios reales con resultados de cumplimiento legal exitosos y fallidos

Integrar este contenido legal en actividades prácticas —como llenar informes simulados o utilizar plataformas de simulación— no solo aumenta los niveles de concienciación y participación, sino que también proporciona habilidades directamente aplicables en el entorno laboral.



3. APLICACIONES BLOCKCHAIN: PASAPORTES MATERIALES, GEMELOS DIGITALES, LIBROS DE CONTABILIDAD DESCENTRALIZADOS

3.1 Pasaportes materiales

Un pasaporte material es un registro digital que organiza información clave sobre la composición, el origen y el ciclo de vida de un producto o material de manera estructurada. En el caso de la piedra ornamental, este pasaporte puede incluir datos como el tipo de roca, la ubicación de la cantera, la fecha de extracción, el tratamiento aplicado, la cantidad de residuos generados y las posibilidades de reutilización o reciclaje.

Este enfoque fue impulsado por el proyecto europeo BAMB – Buildings As Material Banks, que sentó las bases de lo que hoy conocemos como Pasaportes de Producto Digitales (DPPs). Estos pasaportes han ganado impulso en el marco del Pacto Verde Europeo y la Estrategia Industrial de 2020 (Comisión Europea, 2020a). Empresas como Circularise ya están aplicando esta idea en la industria, utilizando tecnologías blockchain para garantizar que la información sea transparente, rastreable e inalterable a lo largo de toda la cadena de suministro (Circularise, 2023).

En el sector de la piedra natural, esta tecnología permite rastrear cada bloque o lote desde su origen en la cantera hasta su transformación final. Se pueden registrar eventos clave como el volumen de residuos generados, el destino de los fragmentos sobrantes o la composición química del lodo de corte. Todo esto está documentado y puede ser auditado digitalmente, facilitando la certificación de prácticas sostenibles.

Ejemplo: Un lote de mármol con pasaporte digital puede mostrar que el 70% de los residuos generados durante su procesamiento se reutilizaron como árido para mortero. Esta información es valiosa tanto para compradores responsables como para los procesos de certificación medioambiental.

3.2 Gemelos digitales

Un gemelo digital es una réplica virtual, precisa y en tiempo real de un objeto, proceso o sistema físico. Cuando se combina con la tecnología blockchain, se convierte en una herramienta poderosa para monitorizar de forma segura y transparente variables críticas en procesos como la extracción y transformación de piedra.

Por ejemplo, datos como el volumen de suspensión generada por cada máquina, el consumo energético según el tipo de piedra o el nivel de depósitos de residuos pueden capturarse automáticamente mediante sensores IoT. Esta información se refleja directamente en el gemelo digital, permitiendo un monitoreo constante y detallado



(Suhail et al., 2021). Al almacenar estos datos en blockchain, se protege contra la manipulación, lo cual es clave en contextos donde se requiere el cumplimiento de normativas o auditorías.

Según Liu et al. (2022), la combinación de gemelos digitales y blockchain en la industria no solo facilita la toma de decisiones automatizada y la optimización de procesos, sino que también mejora la gestión de residuos peligrosos al proporcionar una representación precisa del flujo físico y digital de los materiales.

Esta tecnología ya se está aplicando en sectores como el tratamiento de agua y la fabricación de cemento, donde el control preciso de residuos es esencial (Homaei et al., 2025).

Aplicación en piedra: Una planta de corte de granito puede operar con un gemelo digital que recibe datos en tiempo real sobre la humedad, el caudal y la composición química de la suspensión generada. Cuando alguno de estos valores supera los límites legales establecidos, el sistema puede activar alertas automáticas o tomar medidas correctivas al instante.

3.3 Libros mayores descentralizados y redes blockchain

El corazón tecnológico que hace posibles todas estas funciones es la tecnología de libro mayor distribuido, conocida como DLT. Dentro de este grupo, la más conocida es blockchain. Plataformas como Ethereum, Hyperledger Fabric y VeChain permiten la creación de redes en las que diferentes actores — canteras, plantas de corte, recicladores y autoridades medioambientales — pueden compartir información de forma segura, sin depender de una entidad central que la controle (Ko et al., 2022).

Gracias a esto, los datos relacionados con los residuos se vuelven verificables y permanentes, lo que ayuda a prevenir fraudes en los informes de sostenibilidad y mejora el cumplimiento de las normativas medioambientales. Además, esta tecnología permite el uso de contratos inteligentes: acuerdos digitales que se ejecutan automáticamente cuando se cumplen ciertas condiciones.

Por ejemplo, imagina que un transportista entrega un lote de fragmentos a una planta de reciclaje. Una vez que la planta confirma la recepción y el uso como materia prima, un contrato inteligente podría:

- Emite un token o certificado digital al generador de residuos como prueba de recuperación.
- Notifique automáticamente al sistema nacional de residuos.
- Activa un bono económico o beneficio fiscal si el plan de residuos se ha cumplido correctamente.

UNIDAD 4. Blockchain aplicada a la gestión de residuos

Este tipo de modelo ya se está probando en iniciativas como Circularise for Plastics y en proyectos de pasaporte digital de producto (DPP) en los sectores textil y de la construcción (Jiang et al., 2023; Ko et al., 2022).

How It Works: Recording Recycling Activity on the Blockchain

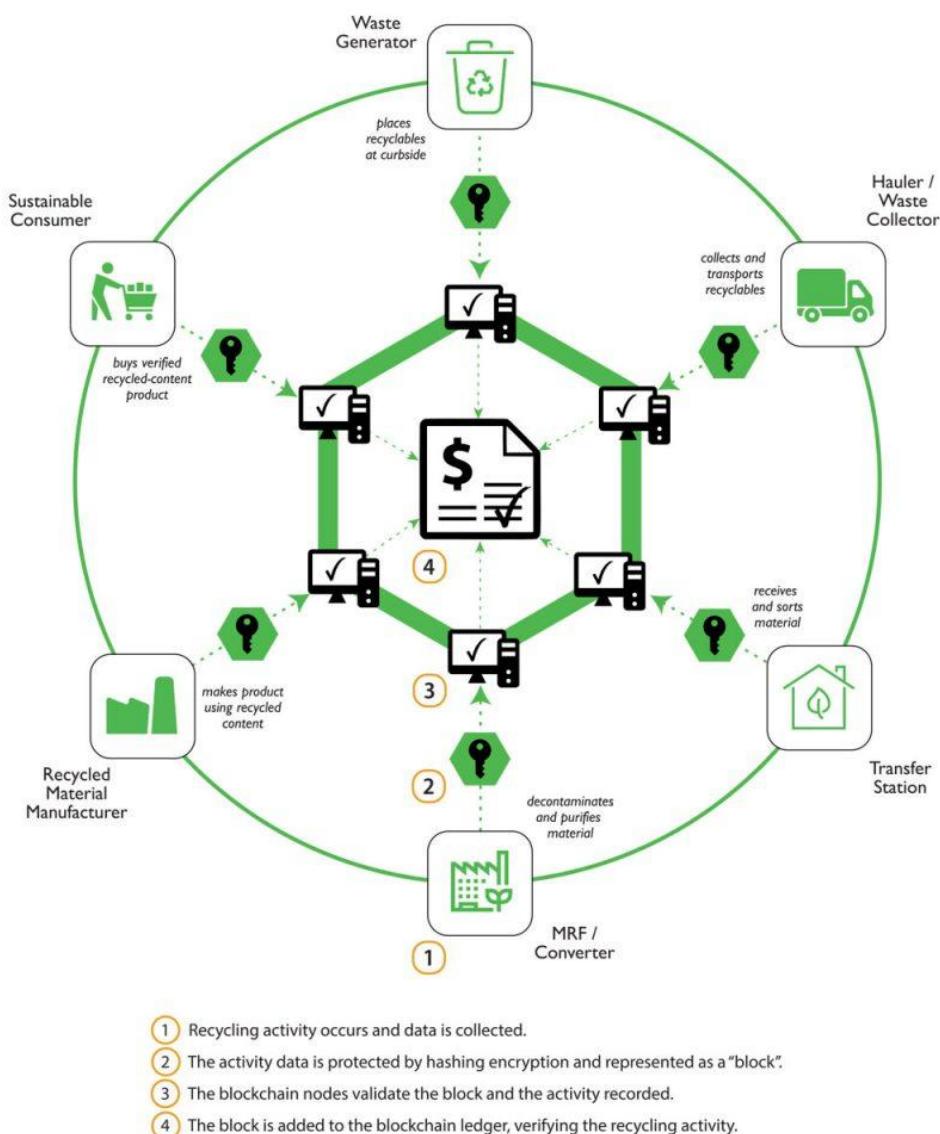


Figura 3. Actividad de reciclaje en la cadena de bloques. Fuente: https://wasteadvantagemag.com/fixing-the-recycling-supply-chain-a-blockchain-solution/?utm_source=chatgpt.com

3.4 Ventajas y desafíos

Ventajas

Transparencia total y datos que no pueden modificarse

Retos

Altos costes energéticos y económicos en algunas blockchains públicas



Ventajas

Integración sencilla con sensores, plataformas digitales y sistemas de gestión

Automatización de certificaciones, informes e incentivos con contratos inteligentes

Útil para auditorías, procesos de licitación y certificaciones circulares

Retos

Problemas de compatibilidad entre diferentes blockchains y bases de datos existentes

Necesidad de cumplir con el RGPD y proteger la confidencialidad de los datos industriales

Barreras tecnológicas y curva de aprendizaje en pequeñas y medianas empresas (pymes)

3.5 Aplicación al sector de la piedra: flujo de trabajo propuesto

1. Al salir de la cantera, cada bloque de piedra recibe una identificación digital única que lo identifica durante toda su vida útil.
2. Durante su transformación, los residuos se generan y registran automáticamente mediante sensores conectados al gemelo digital.
3. Cada acción relevante —como cortar, generar suspensión o separar fragmentos— se almacena en una blockchain con una marca temporal.
4. Si se alcanza cierto nivel de valoración o se confirma la trazabilidad completa, el sistema emite automáticamente una verificación digital.
5. Toda esta información está integrada en un Pasaporte Digital de Materiales, accesible para todos los interesados: desde productores hasta auditores y clientes finales.

Este modelo no solo refuerza la trazabilidad legal del proceso, sino que también incrementa el valor comercial del producto y abre puertas en mercados donde se valoran las prácticas alineadas con criterios ESG (medioambientales, sociales y de gobernanza).



4. CONTRATOS INTELIGENTES PARA CUMPLIMIENTO, INFORMES E INCENTIVOS

4.1 ¿Qué es un contrato inteligente y cómo funciona?

Un contrato inteligente es un programa que se ejecuta automáticamente dentro de una red blockchain, activando ciertas acciones cuando se cumplen condiciones predefinidas. A diferencia de los contratos tradicionales, no requiere intermediarios —ni humanos ni institucionales— para hacer cumplir el acuerdo. Esta idea fue propuesta por primera vez por Nick Szabo en los años 90, y hoy en día es una parte esencial de plataformas como Ethereum, Hyperledger y Tezos (Szabo, 1997; Innovación Rápida, 2023).

En el ámbito de la gestión de residuos, los contratos inteligentes pueden ayudar a automatizar procesos como:

- Registrando entregas a plantas de tratamiento.
- Verificar el cumplimiento de las normas medioambientales.
- Generación automática de informes medioambientales.
- Activar incentivos cuando se cumplen los objetivos de recuperación de residuos.

Además de ahorrar tiempo y recursos, esta automatización mejora la transparencia y fortalece la confianza entre todos los interesados (Rapid Innovation, 2023).

4.2 Aplicaciones en la gestión de residuos y la economía circular

Diversos estudios y proyectos piloto han demostrado que los contratos inteligentes pueden revolucionar la gestión de los residuos, haciéndolos más eficientes, transparentes y seguros:

En un modelo propuesto por Bułkowska et al. (2023), los contratos inteligentes permiten el control automático de todo el flujo de residuos: desde su generación hasta su tratamiento final. Esto incluye validaciones externas, notificaciones automáticas a las autoridades y la emisión de certificados digitales.

Dasaklis et al. (2020) aplicaron este enfoque a la gestión de residuos electrónicos, creando un sistema en el que cada etapa —recogida, reciclaje y recuperación de materiales— se registra de forma inmutable, evitando así fraudes o prácticas ilegales.

En el contexto de la economía circular, estos contratos también se utilizan para evaluar el desempeño medioambiental de las empresas. Si se cumplen ciertos indicadores clave, se activan incentivos automáticos en forma de tokens digitales (Jiang et al., 2023).

Ejemplo práctico: si una cantera logra reutilizar o reciclar más del 60% de sus residuos, un contrato inteligente podría emitir automáticamente un 'sello digital verde' que se añade al pasaporte digital del producto.



4.3 Casos de uso específicos en el sector de la piedra

4.3.1. Certificación automática de cumplimiento

En muchas regiones, las plantas deben demostrar que gestionan sus residuos conforme a la normativa. Actualmente, esto implica inspecciones, firmas manuales y una gran cantidad de documentos físicos o PDFs.

Con el uso de contratos inteligentes, este proceso puede automatizarse:

- La planta que recibe los residuos (por ejemplo, un reciclador de lodos de mármol) valida digitalmente su recepción y tratamiento.
- El contrato inteligente comprueba automáticamente que el destino está autorizado y que el tipo de residuos está permitido.
- Si todo es correcto, se genera y registra en la blockchain un certificado digital de tratamiento conforme.

Este certificado puede compartirse directamente con autoridades medioambientales, auditores o clientes, sin necesidad de informes repetidos ni validaciones manuales.

4.3.2. Incentivos para el desempeño medioambiental

La sostenibilidad también puede traducirse en recompensas automáticas:

- Si una empresa reduce, por ejemplo, un 20% del volumen de residuos eliminados en comparación con el año anterior, un contrato inteligente puede liberar un eco-bono digital o aplicar un descuento fiscal en su sistema de gestión.
- Estos incentivos pueden utilizarse en contrataciones públicas verdes, licitaciones o plataformas de economía circular entre empresas.

Según França et al. (2020), este enfoque puede aplicarse incluso a nivel municipal para premiar a las pequeñas empresas que cumplen criterios demostrables de sostenibilidad.

4.3.3. Automatización de la información legal

Una de las tareas más repetitivas y costosas en muchos sectores es la preparación periódica de informes para las autoridades medioambientales.

Con los contratos inteligentes, este proceso puede simplificarse significativamente:

- Cada vez que se transportan, procesan o eliminan los residuos, se genera un registro con marca de tiempo.
- Este registro se envía automáticamente al sistema regional o nacional correspondiente (como eSIR en España o SISTRI en Italia).
- Si no se cumplen los requisitos legales, el sistema puede emitir una alerta preventiva o una notificación de incumplimiento.

Esto no solo reduce el margen de error humano, sino que también refuerza la trazabilidad y el cumplimiento normativo de forma transparente y en tiempo real.



4.4 Beneficios y desafíos

4.4.1. Principales ventajas:

- Menos burocracia: Al automatizar informes, firmas y validaciones, el tiempo dedicado a tareas administrativas se reduce significativamente (Rapid Innovation, 2023).
- Transparencia total: Los datos registrados en la blockchain no pueden ser modificados y pueden ser auditados por cualquier parte autorizada.
- Escalabilidad: Los contratos inteligentes permiten integrar a múltiples actores — canteras, recicladores, autoridades— en la misma red de confianza.
- Incentivos automáticos: Las recompensas o beneficios pueden programarse según el rendimiento ambiental, de forma transparente y sin intervención manual.

4.4.2. Principales desafíos:

- Inversión inicial: Aunque rentable a largo plazo, el desarrollo e implementación de contratos inteligentes requiere una inversión inicial en tecnología y formación (Bułkowska et al., 2023).
- Falta de estándares comunes: Para que las diferentes plataformas trabajen juntas, es necesario acordar estructuras de datos compatibles y reglas compartidas (Jiang et al., 2023).
- Privacidad y regulación: Es esencial que los contratos cumplan con normativas como el RGPD, especialmente si gestionan información sensible (Dasaklis et al., 2020).
- Resistencia al cambio: En sectores tradicionales como la piedra natural, especialmente entre las pymes, puede haber reticencia a adoptar nuevas tecnologías digitales.

4.5 Propuesta de enseñanza para la Educación y Formación Profesional (VET)

Actividad	Objetivo educativo
Simulación de un contrato inteligente	Comprende paso a paso cómo se automatiza una operación (como la certificación de residuos)
Juego de roles (generador, reciclador, auditor)	Practica la verificación de residuos y la emisión de certificados digitales en un entorno simulado
Análisis de casos reales tokenizados	Identificar las ventajas y desafíos de utilizar incentivos digitales en contextos medioambientales
Debate sobre la privacidad y la transparencia	Fomentar el pensamiento crítico sobre cómo equilibrar la trazabilidad con la protección de datos



UNIDAD 4. Blockchain aplicada a la gestión de residuos

Estas actividades pueden implementarse fácilmente utilizando herramientas gratuitas como Remix, una plataforma online para simular contratos inteligentes en Solidity, o utilizando plantillas visuales que representan procesos de gestión de residuos.



5. INTEGRACIÓN DE BLOCKCHAIN CON HERRAMIENTAS DE IOT Y RECOPILACIÓN DE DATOS

5.1 El papel del IoT en la gestión de residuos

El Internet de las Cosas (IoT) permite capturar datos del mundo físico en tiempo real gracias a sensores distribuidos. Estos sensores pueden medir variables como niveles de depósito, humedad, volumen y la composición química de lodos y fragmentos de piedra. Al proporcionar una visión detallada y actualizada del flujo de residuos, reduce la dependencia de registros manuales, disminuye los costes logísticos y mejora la eficiencia general del proceso (Gulyamov, 2023).

Por ejemplo, el uso de sensores IoT ha reducido en algunos casos los costes logísticos hasta en un 40% y las emisiones de CO₂ entre un 20 y un 30% al optimizar las rutas de recogida de residuos basándose en datos en tiempo real.

En una planta de procesamiento de piedra, los sensores IoT pueden funcionar simultáneamente para:

- Mide el caudal del agua cortante.
- Detecta el nivel de lodos sedimentados.
- Identificar la presencia de partículas finas.
-

Estos datos pueden enviarse directamente a una red blockchain, asegurando su registro seguro y facilitando la trazabilidad ambiental.

5.2 Blockchain como columna vertebral de la trazabilidad

Cuando el IoT se combina con blockchain, se crea un sistema en el que los registros digitales son inmutables, auditables y accesibles para todas las partes interesadas, sin necesidad de intermediarios. Según Jiang et al. (2023), blockchain aborda tres necesidades clave en la gestión moderna de residuos: seguridad, integridad de los datos y transparencia.

Hoy en día, existen modelos avanzados que integran sensores IoT, blockchain, inteligencia artificial y análisis del ciclo de vida, permitiendo el desarrollo de sistemas de gestión mucho más inteligentes y sostenibles.

Ejemplo práctico: un sensor IoT mide el volumen de lodo generado en tiempo real. Cuando se alcanza un determinado valor, se activa automáticamente un contrato inteligente, que registra el evento en la blockchain y verifica que los datos cumplen con los requisitos regulatorios o de recuperación.

Este tipo de automatización garantiza una trazabilidad robusta, reduce errores y facilita el cumplimiento legal casi al instante.



5.3 Arquitectura técnica combinada: Edge, IoT y Blockchain

Para lograr una trazabilidad eficiente y sostenible en la gestión de residuos, se recomienda una arquitectura técnica que combine tres capas clave:

1. Sensores IoT en maquinaria: estos se instalan directamente en equipos de corte, bombeo o tratamiento y detectan parámetros críticos como el nivel de lodos, el volumen de residuos o la calidad del agua.
2. Capa de computación en el borde: esta capa intermedia es responsable de filtrar, procesar y validar los datos localmente antes de enviarlos a la red principal. Esto ayuda a reducir la latencia, disminuir los costes de uso de blockchain y evitar sobrecargar el sistema con datos innecesarios.
3. Blockchain autorizada (como Hyperledger o IOTA): esta red solo registra eventos relevantes, activa contratos inteligentes cuando se cumplen ciertas condiciones y garantiza una trazabilidad segura y verificada.

Este modelo no solo es escalable, sino también eficiente energéticamente, lo que lo hace ideal para entornos industriales distribuidos como plantas de corte, canteras o centros de recuperación de residuos.

5.4 Beneficios y desafíos de la integración IoT + Blockchain

5.4.1. Beneficios clave:

- Automatización sin摩擦: los datos generados por los sensores IoT se registran automáticamente en la blockchain y activan contratos inteligentes sin necesidad de intervención humana.
- Mejora operativa: mediante análisis predictivos, se pueden reducir los tiempos de inactividad de los equipos, optimizar las rutas de recogida y mejorar los procesos de recuperación de residuos.
- Auditoría en tiempo real: los registros automáticos permiten un control regulatorio inmediato y fiable, sin depender de procesos manuales o informes retrospectivos.

5.4.2. Principales desafíos:

- Alta inversión inicial: instalar sensores, configurar infraestructura de Edge Computing y desarrollar soluciones blockchain implica costes iniciales significativos.
- Seguridad y privacidad: Los dispositivos IoT pueden ser vulnerables, y los datos industriales sensibles deben protegerse en cumplimiento de normativas como el GDPR.
- Interoperabilidad: existen múltiples plataformas IoT y blockchain, lo que requiere estándares comunes para que todos los sistemas puedan comunicarse correctamente (Jiang et al., 2023).



5.5 Aplicación práctica en el sector de la piedra

Este es un ejemplo de cómo la integración de IoT, Edge Computing, blockchain y gemelos digitales puede aplicarse de forma concreta en una planta de procesamiento de piedra:

1. Los sensores IoT instalados en los tanques de lodo miden en tiempo real el nivel y la densidad del material acumulado.
2. Esta información se procesa localmente mediante Edge Computing, que verifica si se ha alcanzado un volumen mínimo predefinido (por ejemplo, 5 m³).
3. Una vez validado, un evento se genera automáticamente en la blockchain, que activa un contrato inteligente que registra el evento y emite un certificado digital o token de valor.
4. Estos datos se incorporan al gemelo digital del lote, donde se integran métricas de residuos, tratamiento, porcentaje recuperado y destino final.
5. Por último, toda esta información se sube al pasaporte digital del material, facilitando el acceso a certificaciones ESG, procesos de licitación pública o trazabilidad para compradores que buscan materiales sostenibles.



REFERENCIAS

- Chen, Z. (2024). *Environmental alternatives for stone slurry circularity: from waste to resource* (Tesis de Máster, Politecnico di Milano). Disponible en línea: https://www.politesi.polimi.it/retrieve/4e15e145-769a-4162-9eb0-d3c3acb39830/2023_12_Chen.pdf orbi.uliege.be+3politesi.polimi.it+3unitesi.unive.it+3
- Comisión Europea. (2020a). *Un nuevo Plan de Acción para la Economía Circular: por una Europa más limpia y competitiva*. Documento completo disponible: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0098>
- Eurostat. (2022). *Estadísticas de residuos – Estadísticas explicadas*. Accesible en: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics
- Jalalian, M. H., Bagherpour, R., & Khoshouei, M. (2021). *Producción de residuos en la industria de las piedras dimensionales: recursos, factores y soluciones para reducirlos*. Ciencias de la Tierra Ambiental, 80. DOI: 10.1007/s12665-021-09890-2. Incluye PDF y cita en ResearchGate [OUCI+9ResearchGate+9giab-online.ru+9](#)
- LIFE-ZSW (2024). *Demostración de una tecnología innovadora, respetuosa con el medio ambiente y económicamente viable para el reciclaje de residuos de piedras ornamentales*. Programa LIFE – Unión Europea. Disponible en: [giab-online.ru+3OUCI+3unitesi.unive.it+3](#)
- Estudio Piumonte. (2021). *Producción de lodos en la industria del mármol de Verbania*. MDPI, Medio Ambiente, Desarrollo y Sostenibilidad, 5(1), 57. PDF accesible vía MDPI [unitesi.unive.it](#)
- DAPcons. (2021). *RCP004: Piedra natural. Reglas de categoría de producto para la elaboración de DAP sectorial*. Instituto de Tecnología de la Construcción (ITeC), CTM, y colaboradores. Disponible en: https://csosteniblev4.s3.eu-west-1.amazonaws.com/documents/20210505_DAPcons_RCP004_v3.pdf
- Comisión Europea. (2018). *Orientación sobre la interpretación de disposiciones clave de la Directiva 2008/98/CE sobre residuos*. https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/framework/guidance_doc.pdf
- Comisión Europea. (2019). *Mejores prácticas en planes de gestión extractiva de residuos*. https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/mining/guidance_extractive_waste.pdf
- Comisión Europea. (2020b). *Esquema de Ecogestión y Auditoría (EMAS)*. https://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm
- Eurostat. (2022). *Estadísticas de residuos – Estadísticas explicadas*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics



- Parlamento Europeo y Consejo. (2008). *Directiva 2008/98/CE sobre residuos (Directiva Marco de Residuos)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>
- Parlamento Europeo y Consejo. (1999). *Directiva 1999/31/CE sobre el vertedero de residuos*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:31999L0031>
- Parlamento Europeo y Consejo. (2010). *Directiva 2010/75/UE sobre emisiones industriales*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32010L0075>
- Parlamento Europeo y Consejo. (2004). *Directiva 2004/35/CE sobre responsabilidad medioambiental*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32004L0035>
- ITeC y CTM. (2021). *RCP004: Piedra natural. Normas de Categoría de Producto para Declaraciones Ambientales de Productos (EPDs)*. https://csosteniblev4.s3.eu-west-1.amazonaws.com/documents/20210505_DAPcons_RCP004_v3.pdf
- Circular. (2023). *Un futuro sostenible usando blockchain para pasaportes digitales de productos*. <https://www.circularise.com/blogs/a-sustainable-future-using-blockchain-for-digital-product-passport>
- Comisión Europea. (2020). *Un nuevo Plan de Acción para la Economía Circular: Por una Europa más limpia y competitiva*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0098>
- Homaei, M., et al. (2025). *Seguridad Inteligente del Agua con IA y Gemelos Digitales Mejorados con Blockchain*. preprint de arXiv. <https://arxiv.org/abs/2504.20275>
- Jiang, P., et al. (2023). *Aplicaciones de la tecnología blockchain en la gestión de residuos: visión general, desafíos y oportunidades*. Journal of Cleaner Production, 421, 138466. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138466>
- Ko, R., et al. (2022). *Implementación de Digital Product Passport basada en arquitectura multi-blockchain*. Ciencias Aplicadas, 12(11), 4874. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/11/4874>
- Liu, J., Yeoh, W., Qu, Y., & Gao, L. (2022). *Gemelo digital basado en blockchain para la gestión de la cadena de suministro: una revisión*. preprint de arXiv. <https://arxiv.org/abs/2202.03966>
- Suhail, R. S., Jurdak, R., Oracevic, A., et al. (2021). *Gemelos digitales basados en blockchain: investiga tendencias, problemas y desafíos*. preprint de arXiv. <https://arxiv.org/abs/2103.11585>
- Bułkowska, K., Zielińska, M., & Bułkowski, M. (2023). Implementación de la tecnología blockchain en la gestión de residuos. Energías, 16(23), 7742. <https://doi.org/10.3390/en16237742>
- Dasaklis, T. K., Casino, F., & Patsakis, C. (2020). Un marco de trazabilidad y auditoría para la logística inversa de equipos electrónicos basado en blockchain. preprint arXiv arXiv:2005.11556. <https://arxiv.org/abs/2005.11556>
- França, J., et al. (2020). Proponiendo el uso de blockchain para mejorar la gestión de residuos sólidos en pequeños municipios. Preprint de ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/336194492>



UNIDAD 4. Blockchain aplicada a la gestión de residuos

- Gorkhali, A., Li, L., & Shrestha, A. (2020). Sistema de trazabilidad de gestión de residuos sólidos basado en blockchain. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Ambiental*, 19, 7833–7856. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02850-2>
- Jiang, P., et al. (2023). Aplicaciones de la tecnología blockchain en la gestión de residuos: visión general, desafíos y oportunidades. *Journal of Cleaner Production*, 421, 138466. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138466>
- Innovación rápida. (2023). Contratos inteligentes en la gestión de la cadena de suministro: beneficios, casos de uso y ejemplos. <https://www.rapidinnovation.io/post/smart-contracts-in-supply-chain-management-enhancing-transparency-and-efficiency>
- Gulyamov, S. (2023). Gestión inteligente de residuos utilizando IoT, tecnología blockchain y análisis de datos. Web de conferencias E3S. https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2024/31/e3sconf_iccsei2023_01010.pdf PMC+1taylorfrancis.com+1eprints.whiterose.ac.uk+2ResearchGate+2PMC+2e3s-conferences.org+1ResearchGate+1
- Jiang, P., Zhang, L., You, S., Fan, Y. V., Tan, R. R., & Klemeš, J. J. (2023). Aplicaciones de la tecnología blockchain en la gestión de residuos: visión general, desafíos y oportunidades. *Journal of Cleaner Production*, 421, 138466. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138466> ResearchGate
- He, X., Chen, D., Zhang, N., Dai, H.-N., y Yu, K. (2022). Integración de blockchain y computación en el borde en el Internet de las Cosas: una encuesta. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2205.13160> arXiv
- Pan, J., Wang, J., Hester, A., Alqerm, I., Liu, Y., & Zhao, Y. (2018). EdgeChain: un marco y prototipo de EdgeloT basado en blockchain y contratos inteligentes. arXiv. <https://arxiv.org/abs/1806.06185> arXiv



HABILIDADES TECNOLÓGICAS TRANSVERSALES PARA LA INDUSTRIA DE LA ROCA ORNAMENTAL CENTRADAS EN LA APLICABILIDAD DE BLOCKCHAIN EN UNA ECONOMÍA CIRCULAR
2023-1-DE02-KA220-ADU-000166863



Co-funded by
the European Union

UNIDAD 5.

Curso RockChain: UNIDAD 5.

RockChain. Ejercicio práctico final: proyecto integrador.



Esta obra está licenciada bajo una [Licencia Internacional Creative Commons](#)
[Atribución-CompartirIgual 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	4
2. FUNCIONALIDADES DE LA PLATAFORMA ROCKCHAIN	4
2.1 Navegación general	4
2.2 Módulos de juego	5
2.3 Roles de usuario.....	7
2.4 Descarga e instalación	7
3. PLANTILLAS Y FLUJOS DE TRABAJO	9
3.1 Inicio y preparación.....	9
3.2 Jugabilidad por rondas.....	9
3.3 Cierre y evaluación de cada ronda.....	10
3.4 Principios educativos aplicados al Flow	11
4. ESTRUCTURA DEL ESTUDIO DE CASO.....	14
4.1 Actores del sistema.....	14
4.2 Activos digitales y productos de juegos.....	14
4.3 Flujo completo de un juego	14
4.4 Controles y cumplimiento.....	15
4.5 Reporte final y visualización	15
5. MEJORES PRÁCTICAS PARA INFORMES Y DOCUMENTACIÓN	17
5.1 Blockchain para el medio ambiente: educación interdisciplinaria abierta sobre cómo generar cambios disruptivos a través de aplicaciones DLT impactantes	17
5.2 Enfoque innovador de formación en el entorno asistido por tecnología para la gestión del agua	18
5.3 Economía Circular: Nuestro Futuro Sostenible.....	20
5.4 AGRITECH - Alianza para un Entorno de Aprendizaje Innovador en Agricultura Avanzada a través de la Tecnología y la Gestión	22
5.5 Formación innovadora basada en la tecnología Blockchain aplicada a la gestión de residuos.....	23
5.6 Desarrollar un programa europeo de formación profesional modular orientado a resultados de aprendizaje y recursos educativos sobre Blockchain para abordar requisitos técnicos, no técnicos y interdisciplinarios (horizontales).	26
5.7 Juegos serios para la gestión de los recursos naturales	28



UNIDAD 5.

5.8 Desarrollo de un juego serio para el aprendizaje digital en agroecología en Europa	30
6. REFERENCIAS	32



1. INTRODUCCIÓN

Esta última unidad reúne los conocimientos adquiridos a lo largo del curso analizando la aplicación RockChain, un juego educativo que utiliza tecnología blockchain aplicada a la gestión de residuos en la industria de la piedra. Presenta sus funcionalidades actuales, la dinámica del juego, la interfaz, los roles que los usuarios pueden asumir y algunas buenas prácticas tomadas de otros proyectos relacionados del programa Erasmus+. La unidad concluye con una evaluación final que ayuda a reforzar lo aprendido.

2. FUNCIONALIDADES DE LA PLATAFORMA ROCKCHAIN

RockChain App es una plataforma educativa con un enfoque gamificado, diseñada para ayudar a los estudiantes a entender cómo funciona una economía basada en blockchain simulando un mercado para piedra natural, residuos industriales y procesos de recuperación. En este entorno, los participantes asumen el papel de jugadores que deben gestionar recursos limitados, tomar decisiones estratégicas y elegir colaborar o competir con otros usuarios para obtener el mejor rendimiento posible.

A lo largo del juego, los usuarios se familiarizan con conceptos clave como la trazabilidad de materiales, el valor del reciclaje, la minería digital (basada en pruebas de trabajo) y los contratos inteligentes. La dinámica combina aspectos técnicos y económicos, recreando situaciones típicas de la cadena de valor de la piedra ornamental en un entorno interactivo y realista.

2.1 Navegación general

La interfaz RockChain está diseñada para una navegación sencilla mediante pestañas situadas en la parte inferior de la pantalla. Desde allí, los jugadores pueden acceder a los módulos principales del juego: Mercado, Perfil, Estadísticas y Reciclaje.

Además, hay otras pantallas que se activan en momentos específicos del juego. Por ejemplo, la sala de espera antes de que empiece la partida, el espacio de minería donde se resuelven problemas matemáticos, o la pantalla final que muestra los resultados al final de cada ronda. Estas pantallas se cargan automáticamente gracias al sistema de eventos en tiempo real, que utiliza tecnologías como Firebase y WebSockets.



2.2 Módulos de juego

Login: Módulo de acceso que permite a los usuarios registrarse o iniciar sesión en RockChain usando su dirección de correo electrónico y contraseña. Es el punto de entrada a la plataforma y garantiza la identificación individual para el seguimiento de los partidos y estadísticas personalizadas.

The figure consists of two side-by-side screenshots of the RockChain application's login and game creation interfaces. The left screenshot shows the 'Bienvenido a RockChain' (Welcome to RockChain) screen with a logo at the top, followed by language selection buttons (EN, ES, DE, HR, RO) where 'ES' is highlighted. Below are input fields for 'Correo electrónico' (Email) and 'Contraseña' (Password). A large orange 'Iniciar sesión' (Log in) button is centered. At the bottom are links for 'Registrarse' (Register) and '¿Olvidaste tu contraseña?' (Forgot password). The right screenshot shows the 'Start a RockChain' screen with a logo at the top. It displays a game code 'Your Game Code: 9HXSU3' and a message 'Number of players: 1/10'. It features an orange 'Start Game' button and a 'Join a Game Code' section with an input field labeled 'Enter 6-digit game code' and an orange 'Join Game' button.

Figura 1. Iniciar sesión.

Sala de espera: Es el primer espacio que los jugadores ven al unirse a una partida. Todos los participantes aparecen aquí mientras esperan a que el moderador o el 'anfitrión' comience el juego.

Mercado: Este es el corazón del juego. Aquí, los jugadores compran y venden productos relacionados con la piedra natural: bloques, residuos, materiales reciclados, entre otros. Los precios varían, y cada decisión influye en el desarrollo del juego. Cada transacción desencadena un evento en la blockchain y puede dar lugar a una fase de minería.



UNIDAD 5.

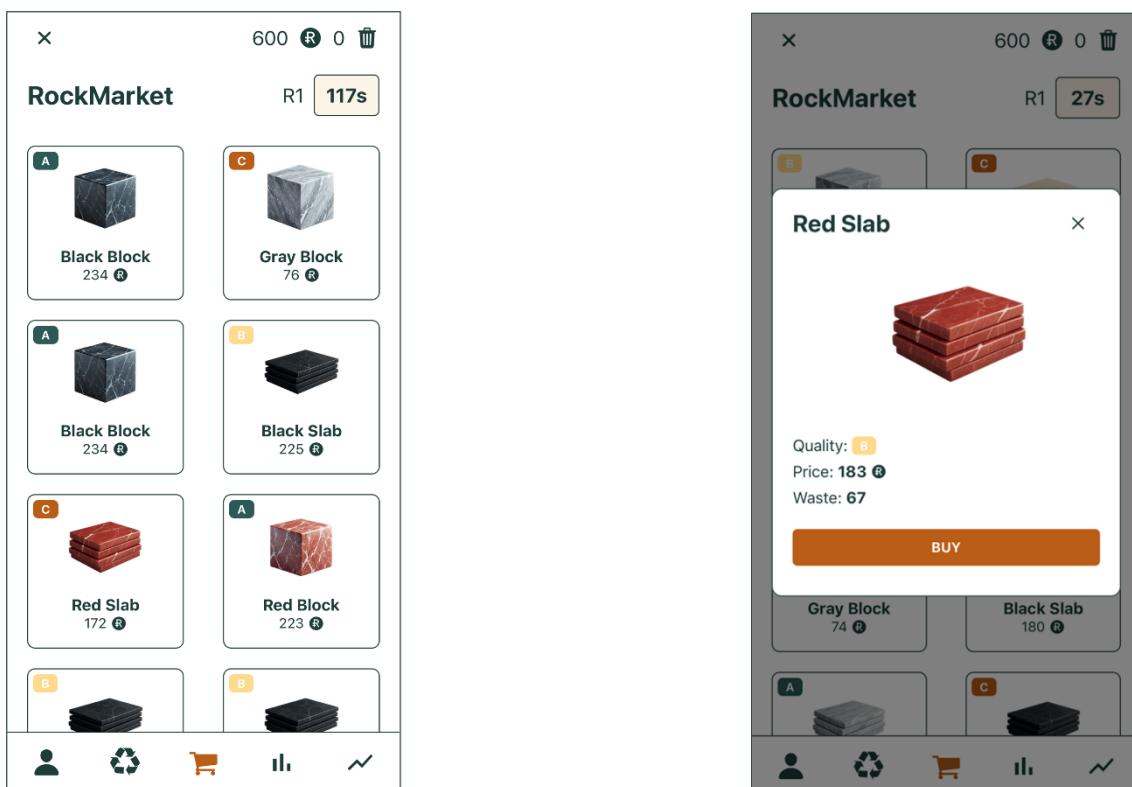


Figura 2. Zona de RockMarket.

Minería: Tras ciertas transacciones, se genera un problema matemático que simula una demostración de trabajo. Los jugadores compiten para resolverlo primero, y quien consiga recibe una recompensa en forma de RockCoins.

Estadísticas: Ofrece una visión general del rendimiento del jugador: ranking, recursos acumulados y operaciones realizadas. Esta información ayuda a planificar las decisiones posteriores.

Perfil: Cada jugador tiene un inventario digital donde puede consultar los productos que posee, recursos extraídos, monedas acumuladas y su historial de acciones.

Reciclaje: Este módulo permite convertir ciertos residuos o subproductos en nuevos recursos o RockCoins, promoviendo así la economía circular dentro del juego.

Fin de la ronda: Al final del tiempo asignado a cada ronda, se muestra un resumen de los resultados: industria seleccionada, jugador que minó con éxito, evolución de equilibrio y preparación para el siguiente ciclo.





2.3 Roles de usuario

Todos los jugadores tienen acceso a las mismas funciones durante la partida, con una diferencia: el creador de la sala (anfitrión) tiene el poder de iniciar la partida cuando todos estén listos. No existen jerarquías ni privilegios adicionales, lo que garantiza una experiencia educativa equitativa para todos los participantes.

El estado del juego se gestiona en tiempo real mediante un sistema centralizado que actualiza los dispositivos de los jugadores mediante eventos de Firebase y socket. Este sistema controla aspectos como el progreso de las rondas, la disponibilidad del producto y los resultados de minería.

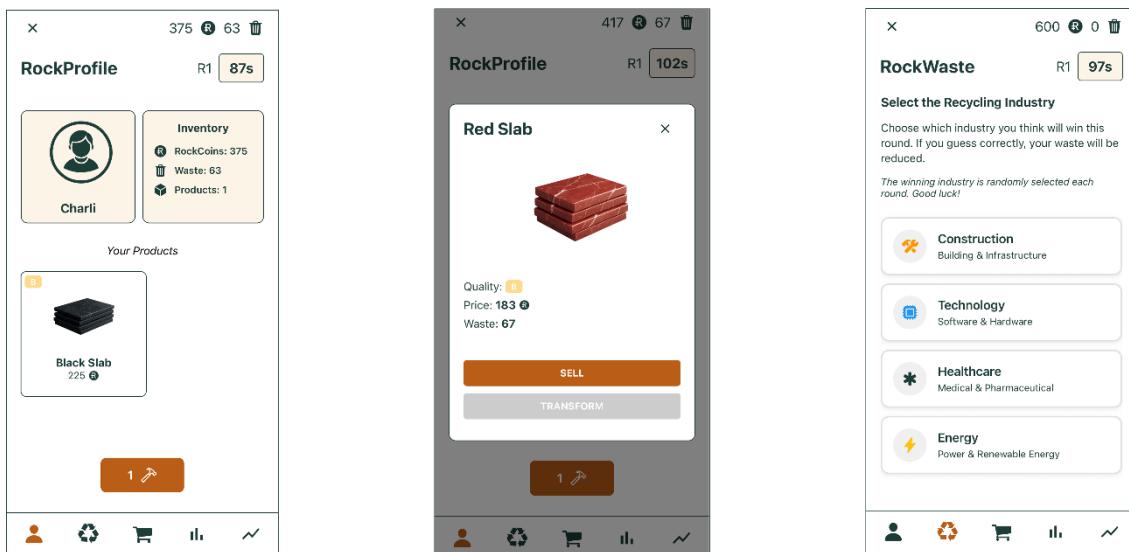


Figura 3. RockProfile.

2.4 Descarga e instalación

RockChain está actualmente en fase de pruebas y está disponible para dispositivos Android e iOS. También puede ejecutarse en modo desarrollo usando Expo. Las formas de acceder a ella son:

- **Expo Go:** Escaneando un código QR desde la web de la Expo, puedes probar la app sin tener que instalarla completamente.
- **APK (Android):** Instalación directa para pruebas internas.
- **TestFlight (iOS):** Acceso por invitación, con disponibilidad limitada.



HABILIDADES TECNOLÓGICAS TRANSVERSALES PARA LA INDUSTRIA DE LA ROCA ORNAMENTAL CENTRADAS EN LA APLICABILIDAD DE BLOCKCHAIN EN UNA ECONOMÍA CIRCULAR
2023-1-DE02-KA220-ADU-000166863



Co-funded by
the European Union

UNIDAD 5.

▲ Expo



TESTING YOUR APP USING
TESTFLIGHT

Requisitos técnicos recomendados:

- Sistema operativo: Android 8 o superior / iOS 13 o superior.
- Conexión estable a internet (Wi-Fi o datos móviles).
- Resolución mínima de pantalla: 720x1280 px.
- Almacenamiento gratuito: al menos 200 MB.



3. PLANTILLAS Y FLUJOS DE TRABAJO

RockChain funciona como una simulación educativa en rondas, combinando decisiones económicas, resolución de problemas y gestión de recursos. Su dinámica es cíclica pero flexible, ya que busca recrear una cadena de valor digital que involucre elementos de blockchain y economía circular.

3.1 Inicio y preparación

El jugador accede a la aplicación, se registra o inicia sesión, y se une a una sala de espera, donde todos los participantes del juego se agrupan.

Una vez que todos están conectados y listos, el creador de la sala (anfitrión) inicia la partida.

Durante esta fase, los jugadores pueden ver quién más está conectado y tienen un temporizador que indica cuánto falta para que comience el juego.

3.2 Jugabilidad por rondas

Cada partida consta de varias rondas que siguen la misma estructura:

- **Inicio de la ronda:** Se activa un temporizador visible para todos los jugadores. Durante este tiempo, cada jugador puede realizar acciones libremente en diferentes módulos.
- **Acciones estratégicas:** Los participantes deben comprar, vender, transformar o extraer productos vinculados al sector de la piedra ornamental. Cada decisión tiene un coste, un impacto y posibles consecuencias inmediatas:
 - Las compras y ventas generan transacciones que influyen en la lógica del mercado.
 - Algunas transacciones activan la fase de minería, donde los jugadores compiten en tiempo real para resolver un problema matemático. El primero en hacerlo recibe RockCoins como recompensa.
 - El módulo de reciclaje permite transformar productos de bajo valor en recursos útiles o RockCoins, promoviendo así la lógica de la economía circular.



UNIDAD 5.

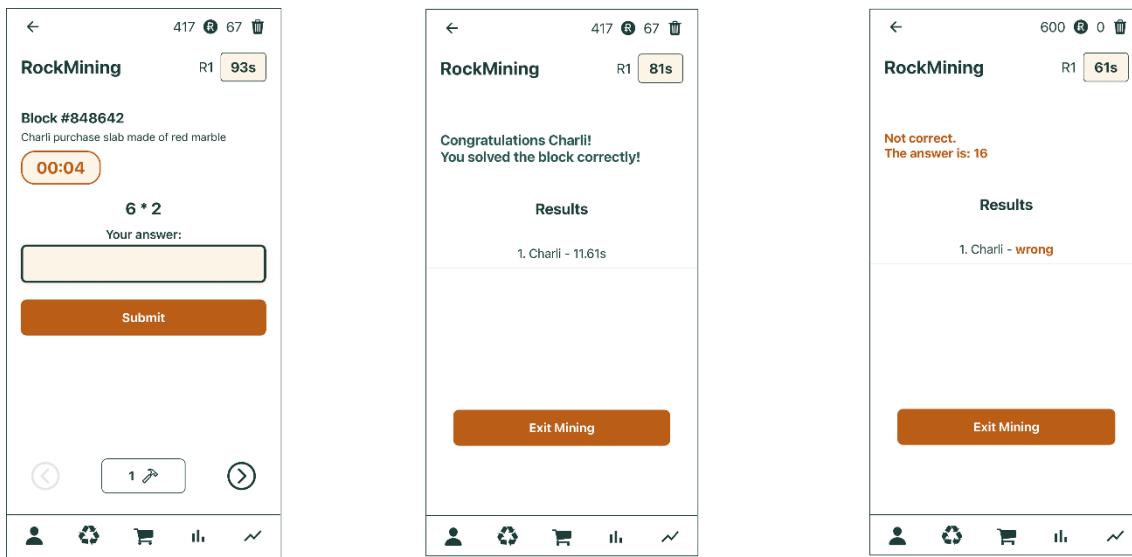


Figura 4. Minería de rocas.

- **Actualizaciones en tiempo real:** Todas las acciones se reflejan inmediatamente en los perfiles y en la sección de estadísticas, lo que facilita la comparación de estrategias y balances. El sistema de sockets mantiene la sincronización automática entre todos los participantes.
- **Fin de la ronda:** Cuando el temporizador llega a cero, las operaciones se bloquean y los jugadores son llevados automáticamente a la pantalla de cierre de la ronda.

3.3 Cierre y evaluación de cada ronda

La pantalla final de cada ronda muestra los resultados:

- La industria seleccionada al azar (consumidor de materiales reciclados).
- El jugador que resolvió el desafío de minería (si es que alguno).
- Saldo actualizado de cada participante: productos acumulados, RockCoins y eficiencia.

Antes de comenzar la siguiente ronda, cada jugador debe confirmar que está listo. Cuando todos lo han hecho, comienza una nueva cuenta atrás y el ciclo se reinicia.



UNIDAD 5.

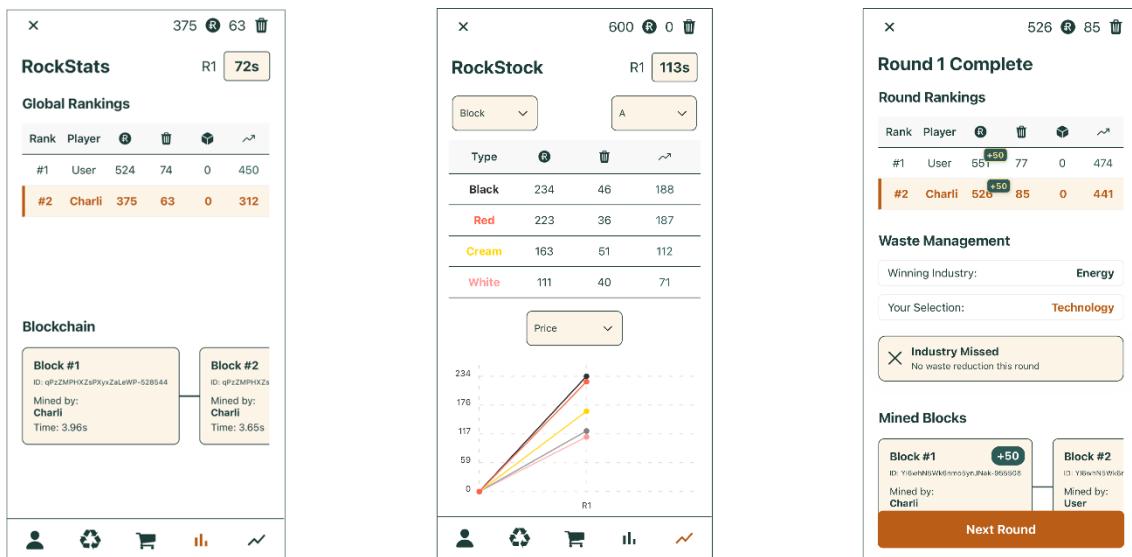


Figura 5. RockStarts, RockStock y Round completados.

Generalmente, un juego consta de 3 rondas. Al final, se presenta un resultado global que refleja el rendimiento de cada jugador y la eficacia de sus decisiones estratégicas.

3.4 Principios educativos aplicados al Flow

La dinámica de RockChain fue diseñada con objetivos pedagógicos claros, alineados con el aprendizaje basado en la experiencia, la economía circular y la alfabetización digital. Más que un entorno de juego, está pensado como una herramienta educativa que acerca a los estudiantes a conceptos complejos relacionados con la sostenibilidad, la trazabilidad y las tecnologías emergentes de forma práctica y accesible.

Los principios principales aplicados son los siguientes:

- Trazabilidad:** Cada acción —compra, venta, reciclaje o resolución de problemas— se registra inmediatamente en el perfil del jugador. Esto permite a los jugadores observar las consecuencias de sus decisiones en tiempo real, entender cómo se construye una blockchain y valorar la importancia de la transparencia en los procesos de producción. Es una forma eficaz de experimentar cómo funciona una blockchain sin necesidad de conocimientos técnicos avanzados.



- **Responsabilidad individual y colectiva:** Aunque cada jugador gestiona su propio inventario y recursos, sus decisiones influyen en el entorno compartido: modifican los precios de mercado, afectan la disponibilidad de materiales e influyen en las rondas siguientes. Esta interdependencia ayuda a los jugadores a comprender la lógica de los sistemas complejos y refuerza la necesidad de equilibrar el beneficio personal con la sostenibilidad común.



- **Gamificación aplicada:** La estructura basada en rondas, las recompensas de RockCoin, la mecánica competitiva de minería y los rankings en tiempo real hacen que la experiencia sea motivadora. Estos elementos fomentan la participación activa, la concentración y el compromiso de los estudiantes. Además, la retroalimentación inmediata facilita tanto la comprensión como la retención del contenido.



- **Ciclo de mejora:** Cada ronda funciona como una nueva oportunidad. Los jugadores pueden reflexionar sobre sus decisiones previas, ajustar su estrategia y mejorar su rendimiento. Este enfoque iterativo mejora habilidades como el pensamiento crítico, la autoevaluación y la planificación estratégica, todas ellas esenciales en contextos de formación profesional (VET/ADU).





HABILIDADES TECNOLÓGICAS TRANSVERSALES PARA LA
INDUSTRIA DE LA ROCA ORNAMENTAL CENTRADAS EN LA
APLICABILIDAD DE BLOCKCHAIN EN UNA ECONOMÍA CIRCULAR
2023-1-DE02-KA220-ADU-000166863



Co-funded by
the European Union

UNIDAD 5.

En conjunto, estos principios hacen de RockChain una plataforma de aprendizaje activa que permite el desarrollo transversal de habilidades digitales, medioambientales y sociales.



4. ESTRUCTURA DEL ESTUDIO DE CASO

RockChain te permite recrear un juego completo de gestión de residuos aplicado a la industria de la piedra ornamental. Los actores asumen el papel de agentes económicos en un entorno basado en blockchain, donde deben tomar decisiones estratégicas y experimentar con la dinámica del mercado y la sostenibilidad.

Para mostrar cómo funciona, se describe a continuación un estudio de caso típico y sus componentes.

4.1 Actores del sistema

Jugadores: participantes activos que gestionan recursos, compran y venden productos, se dedican a la minería y buscan maximizar su rendimiento económico y medioambiental.

Sistema de juego: motor lógico que coordina las rondas, actualiza precios, controla temporizadores y valida acciones en tiempo real usando sockets y una base de datos.

Industria ganadora: al final de cada ronda, se selecciona al azar un sector de consumo para materiales reciclados. Los jugadores que han apostado en esa industria obtienen beneficios adicionales.

4.2 Activos digitales y productos de juegos

Los recursos disponibles en RockChain incluyen:

- Bloques de piedra (crudos o procesados)
- Residuos industriales
- RockCoins (moneda virtual interna)
- Pasaportes digitales o bloques en la blockchain (asociados con productos comprados)

Cada activo puede almacenarse, transformarse o intercambiarse. Su valor depende tanto de las acciones de los jugadores como de la industria seleccionada al final de cada ronda.

4.3 Flujo completo de un juego

Sala de espera: los jugadores inician sesión, aparecen como conectados y el juego está preparado.



UNIDAD 5.

Ronda 1: se activa el contador. Los participantes compran, venden, transforman o reciclan. Cada acción genera un bloque en la blockchain del juego. Algunas acciones pueden desencadenar un desafío de minería.

Minería: se plantea un problema matemático tipo 'prueba de trabajo'. El primero en solucionarlo recibe RockCoins.

Fin de la ronda: se presenta un resumen general. Una industria del reciclaje se selecciona aleatoriamente, se actualizan los inventarios y se calculan los beneficios.

Chequeado de preparación: cada jugador confirma que está listo para continuar.

Rondas 2 y 3: El ciclo se repite con nuevas oportunidades estratégicas.

Fin del juego: Se muestran las clasificaciones finales. El ganador es el jugador con la puntuación global más alta, teniendo en cuenta la eficiencia, el reciclaje y la acumulación de RockCoins.

4.4 Controles y cumplimiento

Los puntos de control funcionan como hitos que aseguran el progreso ordenado del juego y el cumplimiento de las reglas:

- Inicio de la ronda (con temporizador compartido)
- Activación minera (desafío matemático)
- Selección de la industria ganadora (desde el backend)
- Evaluación de inventario (saldo individual + bonificación del sector)
- Confirmación de progresión a la siguiente ronda (comprobación de preparación)

Todas las acciones se registran en Firestore y en eventos de socket, permitiendo reconstruir el juego, auditar las decisiones y reforzar la trazabilidad del sistema.

4.5 Reporte final y visualización

Al final del juego, se genera un informe visual que incluye:

- Ganador de la minería en cada ronda
- Industria seleccionada por ronda
- Inventarios finales de todos los jugadores
- RockCoins acumulados
- Jugador con la mayor eficiencia global

Este informe puede utilizarse para estimular discusiones en el aula, reflexionar sobre las estrategias aplicadas y evaluar las habilidades adquiridas por los estudiantes.



HABILIDADES TECNOLÓGICAS TRANSVERSALES PARA LA
INDUSTRIA DE LA ROCA ORNAMENTAL CENTRADAS EN LA
APLICABILIDAD DE BLOCKCHAIN EN UNA ECONOMÍA CIRCULAR
2023-1-DE02-KA220-ADU-000166863



Co-funded by
the European Union

UNIDAD 5.



5. MEJORES PRÁCTICAS PARA INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

5.1 Blockchain para el medio ambiente: educación interdisciplinar abierta sobre cómo generar cambios disruptivos a través de aplicaciones DLT impactantes

Antecedentes

La sostenibilidad medioambiental se identifica como uno de los desafíos globales más urgentes, fuertemente vinculado a la salud, la prosperidad y la resiliencia social. La Tecnología de Libro Mayor Distribuido (DLT) ofrece transparencia, responsabilidad e inmutabilidad, lo que la convierte en una herramienta prometedora para impulsar cambios de comportamiento. Sin embargo, su potencial en ámbitos no financieros, especialmente la sostenibilidad ambiental, ha sido poco explorado, y los planes de estudio de educación superior rara vez lo integran con campos interdisciplinarios.

Objetivos

El proyecto pretende fortalecer la educación superior europea integrando la DLT con la Ingeniería Ambiental, el Design Thinking y la Psicología/Economía del Comportamiento a nivel de máster. Su objetivo es desarrollar planes de estudio y recursos digitales que fomenten una mentalidad "verde" y "descentralizada", permitiendo a estudiantes y profesionales diseñar aplicaciones descentralizadas que aborden los desafíos medioambientales de forma estratégica.

Actividades

BC4ECO implementa reuniones de proyectos transnacionales, escuelas de verano y talleres de formación de profesores para co-crear y validar su marco pedagógico. También organiza eventos multiplicadores en conferencias europeas para involucrar a los actores y promover la difusión y adopción de sus resultados en las universidades.

Impacto

El proyecto establece un referente para la educación interdisciplinar sobre la DLT aplicada a la sostenibilidad ambiental. Al producir un currículo innovador, MOOCs y recursos abiertos, dota a los futuros profesionales de las habilidades necesarias para diseñar aplicaciones de impacto, cierra las brechas de habilidades existentes en el mercado laboral y fomenta un ecosistema digital orientado a la sostenibilidad.

Página web del proyecto: <https://bc4eco.eu/>

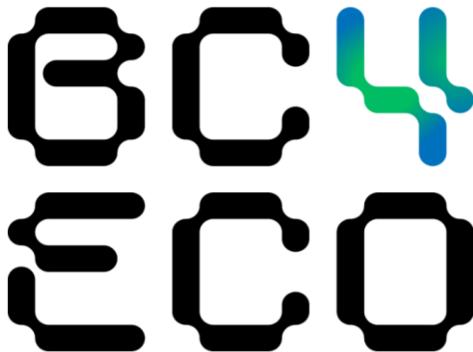


Figura 6. Logotipo del proyecto BC4ECO

5.2 Enfoque innovador de formación en el entorno asistido por tecnología para la gestión del agua

Antecedentes

El cambio climático afecta a la disponibilidad y calidad del agua en la energía, infraestructuras, salud humana, agricultura y ecosistemas. Las credenciales del personal y la atracción de jóvenes trabajadores siguen siendo cuestiones clave en Europa. Para atraer trabajadores altamente cualificados, las iniciativas de aprendizaje deben hacer atractiva la gestión del agua en sectores asociados y traducir los conocimientos académicos y las competencias básicas y transversales de alto nivel en habilidades prácticas.

HE prioriza el "Triángulo del Conocimiento" a través de la innovación, el emprendimiento y la colaboración entre universidades y empresas. Esto es especialmente cierto en sectores tradicionales como los relacionados con el medio ambiente, donde se necesitan cambios en educación y formación para preparar a la futura fuerza laboral ante las nuevas demandas que genera el crecimiento económico relacionado con el cambio climático (por ejemplo, fuentes de agua, impacto turístico). Sin embargo, la seguridad europea y las fuentes de agua son motores vitales para la prosperidad sostenible y contribuyen a la salud económica, competitividad, creatividad, innovación, empleo y crecimiento de Europa. Las credenciales del personal europeo y el desempleo juvenil siguen siendo vitales. Para atraer trabajadores altamente cualificados, la formación debe traducir conocimientos académicos y habilidades básicas y transversales de alto nivel en habilidades relevantes y aplicables.

Objetivos

Paradox vio la creación de un curso por parte de 5 instituciones, 3 pymes y 1 organización de la Cámara de Comercio, todas ellas promoviendo actividades educativas en el campo de diferentes maneras. Cada entidad participante, su personal, estudiantes



UNIDAD 5.

y comunidad son atendidos por este proyecto. A partir de este objetivo fundamental, se establecieron numerosos objetivos específicos:

1. Fortalecimiento de capacidades en el sector: Promoción de la COOPERACIÓN ACTIVA y la colaboración entre actores del triángulo del conocimiento: instituciones de educación superior (BUCKS, IHU, UPM, UTB, UNIPA), industria (EVM, EYEBB, UMOU), Cámara de Comercio (ACIF) y organismos locales/regionales para impactar en la responsabilidad medioambiental, la modernización y la internacionalización de la educación superior.
2. Desarrollar VÍAS DE APRENDIZAJE FLEXIBLES para enseñar y reconocer las habilidades más significativas de los estudiantes de educación superior, como la internacionalización y el aprendizaje digital. Esta nueva vía se basaba en el aprendizaje previo y tenía como objetivo mejorar las competencias y habilidades básicas y transversales específicas de alto nivel y de sector, con un enfoque en la gestión, el emprendimiento, los idiomas y el liderazgo, así como su contribución a una sociedad cohesionada, especialmente mediante el aumento del aprendizaje y la movilidad laboral, y a
3. Promover actividades de colaboración y movilidad, ofrecer más posibilidades para que los estudiantes adquieran todas las habilidades especializadas y transversales necesarias, e involucrarlos a ellos, a los empleados de los socios y a las partes interesadas en la creación de los resultados y asegurar su relevancia.

Implementación

Las principales actividades de Paradox incluían las siguientes:

- Estudios comparativos e investigaciones de recopilación de pruebas de casos reales para determinar las habilidades y competencias necesarias en las investigaciones ambientales europeas.
- Programa conjunto de formación modular con muchos modos de aprendizaje (apoyado por la certificación Industry 4.0 y Blockchain).
- Desarrollar materiales educativos, metodologías y herramientas.
- Creación de redes y desarrollo de capacidades.

El proyecto terminó con 6 eventos multiplicadores y una conferencia.

Resultados

Como Alianza Estratégica, Paradox elaboró un Informe de Estudio sobre las necesidades actuales de competencias en estudios ambientales europeos, un currículo conjunto de formación, contenidos de aprendizaje y una plataforma de e-Learning disponible gratuitamente.

PARADOX modernizó la educación y impulsó las oportunidades de la industria tradicional. Enseñó, evaluó y reconoció las habilidades ambientales de los participantes. PARADOX también incluyó elementos de emprendimiento, idiomas extranjeros y habilidades digitales como resultados.



UNIDAD 5.

Estudiantes de educación superior, personal y todos los implicados en Paradox tuvieron la oportunidad de desarrollar su iniciativa, emprendimiento, habilidades en idiomas extranjeros y empleabilidad en un sector industrial que impulsa muchas regiones europeas.

Página web del proyecto: <https://paradoxproject.eu/>

The screenshot shows the Paradox project website's navigation bar with links for About, Objectives (highlighted in blue), Activities, Partners, News, Contact, and Platform. Below the navigation is a large graphic of three concentric circles with a central water droplet icon. To the right, under the heading 'Specific Objectives', are three expandable items: SO1. Capacity Building in the sector, SO2. Create flexible learning pathways, and SO3. Promoting cooperation and Mobility Activities.

Figura 7. Página web del proyecto Paradox. Objetivos específicos

5.3 Economía Circular: Nuestro Futuro Sostenible

Objetivos

El proyecto en curso "Economía Circular: Nuestro Futuro Sostenible (C.E.O. para el Futuro)" tiene como objetivo empoderar a jóvenes y trabajadores juveniles dotándolos de habilidades emprendedoras, herramientas digitales y estrategias de defensa de políticas en la economía circular. Fomenta la innovación impulsada por la sostenibilidad, mejora la empleabilidad juvenil en industrias verdes y promueve la reducción de residuos, la eficiencia de los recursos y la colaboración intersectorial a nivel local y europeo.

Actividades

El proyecto implementará tres actividades clave, cada una dirigida por un socio:



UNIDAD 5.

Laboratorio de Innovación Juvenil en Economía Circular – Formación práctica, hackatones e incubación de startups.

Política Verde y Participación Comunitaria – Defensa de políticas, mesas redondas con partes interesadas y campañas de concienciación pública.

Soluciones digitales para la economía circular – Formación en IA, blockchain y soluciones tecnológicas de sostenibilidad.

Cada actividad incluye un ciclo de 8 meses y una movilidad transnacional para 12 participantes.

Impacto

150+ jóvenes y trabajadores juveniles formados en economía circular y sostenibilidad digital.

Se lanzaron 5+ startups circulares lideradas por jóvenes, impulsando el eco-emprendimiento.

3 recomendaciones políticas presentadas a las autoridades locales para su adopción sostenible.

Se desarrolló el Kit de Herramientas de Política de Economía Circular y el Centro en Línea, que garantiza un impacto a largo plazo.

500+ miembros de la comunidad participaron en campañas de concienciación, fomentando comportamientos sostenibles y cambios en políticas.

Página web del proyecto: <https://ceosforfuture.at/>

The screenshot shows the website's navigation bar with links to VEREIN, MITGLIEDER, CLIMATE BUSINESS CIRCLE, NETZWERK, AKTUELLES, INITIATIVEN, PUBLIKATIONEN, PRESSE, and KONTAKT. Below the navigation, there are three promotional cards for events:

- 17.09.2025** **C4F Willkommensfrühstück:** Stärkung von Standort und Nachhaltigkeit durch Innovation & Digitalisierung
- 10.09.2025** **Speed Dating Kreislaufwirtschaft II**
- 26.09.2025** **C4F Climate Business Circle Kamingespräch:** Industriestrategie

Each card includes a small photo of the event and a "WEITERLESEN" button.

Figura 8. Sitio web del proyecto C.E.O. para el futuro



5.4 AGRITECH - Alianza para un Entorno de Aprendizaje Innovador en Agricultura Avanzada a través de la Tecnología y la Gestión

Antecedentes

El proyecto AGRITECH aborda la urgente necesidad de modernizar la educación y formación agrícola para afrontar los retos de sostenibilidad y digitalización. La agricultura, como sector tradicional, está cada vez más marcada por el cambio climático, las presiones medioambientales y el auge de tecnologías disruptivas. Al integrar dominios de Deep Tech como la inteligencia artificial, blockchain, computación cuántica y herramientas digitales inmersivas, AGRITECH busca cerrar las brechas de habilidades y preparar profesionales capaces de impulsar la innovación sostenible en la agricultura europea.

Objetivos

El proyecto pretende transformar la educación agrícola creando un ecosistema de aprendizaje interdisciplinar que combine competencias técnicas y no técnicas. Su principal objetivo es preparar una nueva generación de "Gerentes AgriTech" capaces de aplicar tecnologías avanzadas a la agricultura sostenible. AGRITECH también promueve la creatividad, el emprendimiento y la cocreación a través de incubadoras integradas en instituciones educativas, al tiempo que integra los principios de responsabilidad social corporativa y desarrollo sostenible en los programas de formación.

Actividades

AGRITECH desarrolla entornos de aprendizaje multidisciplinares donde los estudiantes participan en proyectos reales en colaboración con la industria y socios de investigación. Se están diseñando nuevos métodos de enseñanza y herramientas de evaluación, utilizando tecnologías como la gamificación, la realidad virtual y aumentada, y el aprendizaje adaptativo. Las iniciativas de incubación apoyan innovaciones lideradas por estudiantes, mientras que los proyectos colaborativos fomentan alianzas entre agricultura, tecnología y educación.

Impacto

El proyecto proporcionará planes de estudio innovadores, recursos digitales y marcos formativos que integren blockchain y otras tecnologías emergentes en la agricultura. Se espera que mejore la empleabilidad de los estudiantes, fortalezca la capacidad de innovación de Europa y cree un referente para una educación agrícola sostenible y basada en la tecnología. Al combinar la digitalización con la responsabilidad medioambiental, AGRITECH ilustra cómo la tecnología profunda puede modernizar un



UNIDAD 5.

sector tradicional, en paralelo al enfoque de RockChain de aplicar blockchain y herramientas digitales a la industria minera y de roca ornamental.

Página web del proyecto: <https://agritech-project.eu/>



Figura 9. Logotipo del proyecto AGRITECH

5.5 Formación innovadora basada en la tecnología Blockchain aplicada a la gestión de residuos

Antecedentes

Es bien sabido que la implementación de prácticas sostenibles de gestión de residuos en el marco de la economía circular es hoy en día más que imprescindible. En la era de la Industria 4.0, los avances tecnológicos podrían servir como mecanismos para apoyar prácticas de gestión de residuos más eficientes. La blockchain podría ser una de estas tecnologías que beneficiarían tanto a la sociedad como al medio ambiente. La tecnología blockchain nació para apoyar y hacer funcionar un sistema de pagos electrónicos, pero hoy en día, cualquier sector puede encontrar ventajas si aplica correctamente esta tecnología. Es un sistema virtual distribuido; generalmente descentralizado; Base de datos, protegida criptográficamente y organizada en bloques enlazados de transacciones, cuya principal ventaja es que no puede ser modificada. En el sentido de inmutabilidad, blockchain puede proporcionar información segura y fiable que puede ser accesible públicamente, permitiendo la transparencia y, por tanto, generando confianza.



UNIDAD 5.

En el sector de la Gestión Municipal de Residuos (MWM), la Blockchain podría ser un factor clave para convertir la confianza en el principal facilitador de la gestión circular de residuos, lo que vuelve a convertir a las organizaciones de gestión de residuos en el intermediario de confianza de una economía de residuos.

Objetivos

El proyecto BlockWASTE pretende abordar la interoperabilidad entre la gestión de residuos y la tecnología blockchain, con el fin de promover la economía circular en la gestión de residuos sólidos municipales (MSW) mediante la formación de estudiantes y profesionales de los sectores implicados.

Para ello, los objetivos de este proyecto son los siguientes:

- Investigar las buenas prácticas de gestión de los RSE en diversas ciudades europeas, con el fin de reintroducir residuos en la cadena de valor, promoviendo la idea de Ciudades Circulares Inteligentes.
- Identificar los beneficios de la tecnología Blockchain dentro del proceso de gestión de los MSW.
- Crear un plan de estudio que permita la formación de profesores y profesionales en los campos de la Gestión de Residuos, la Economía Circular y la Tecnología Blockchain.
- Desarrollar una herramienta interactiva basada en la tecnología Blockchain, para hacer que el proceso de gestión MSW sea más visible y transparente y así promover formas más circulares de gestión de residuos.

En esta dirección, los principales grupos objetivo del proyecto son:

- Empresas y pymes, profesionales de TI, urbanismos y profesionales de la gestión de residuos.
- Universidades (profesores, estudiantes e investigadores).
- Organismos públicos.

Implementación

Las principales actividades implementadas son:

- Estudio comparativo de a) las regulaciones de gestión de MSW en los países socios y la UE y b) las tecnologías de la información aplicadas a la gestión de MSW a nivel internacional



UNIDAD 5.

- Desarrollo de 3 manuales de estrategias de economía circular aplicadas a la gestión de residuos municipales utilizando tecnologías Blockchain
- Estudio comparativo en los países participantes de a) planes de estudio de educación superior sobre tecnología blockchain y b) de currículos de educación superior sobre gestión de MSW
- Producción de un plan de estudios de gestión MSW utilizando tecnología blockchain
- Producción de una base de datos con información sobre la generación y el tratamiento de MSW en los países europeos
- Desarrollo de una herramienta de e-learning interactiva que incorporara módulos de gestión de Blockchain y MSW
- Desarrollo de una Plataforma Educativa Abierta de Recursos que incluya una Plataforma Colaborativa
- Implementación de 3 cursos piloto de formación
- Actividades de gestión de proyectos (por ejemplo, supervisión, control y gestión del proyecto, aseguramiento de la calidad, etc.)
- Actividades de difusión (es decir, organización de 3 eventos multiplicadores, desarrollo de sitios web, publicaciones en las redes sociales del proyecto y en las webs de los socios, artículos en revistas electrónicas, presentaciones en conferencias, vínculos cruzados con otros proyectos, etc.)

Resultados

Los siguientes 4 Resultados Intelectuales son:

Materiales de aprendizaje en el área interdisciplinar de la gestión Blockchain-MSW. Se han desarrollado tres (3) manuales separados con el objetivo de formar a estudiantes y profesionales de los sectores implicados en la interfaz Blockchain y la gestión de MSW.

Curriculum común europeo sobre gestión de MSW aplicando tecnología Blockchain. El plan de estudios aborda la necesidad de habilidades que ayuden a transformar la gestión de residuos mayormente 'lineal' en procesos de economía circular. En el ámbito técnico y tecnológico, el currículum se centra en herramientas y procesos innovadores que ayudan a las organizaciones municipales y privadas de gestión de residuos a afrontar nuevos retos económicos. Los puntos clave en esto son las tecnologías de Blockchain y Libro Mayor Distribuido.

Herramienta de e-Learning para la gestión de MSW basada en Blockchain, a la luz de la economía circular. Se han desarrollado dos módulos diferentes.



UNIDAD 5.

Plataforma de Recursos Educativos Abiertos (REA). El REO contiene una Plataforma Colaborativa basada en proyectos Erasmus+ previos en campos relacionados, así como todo el material de apoyo para la implementación del curso BlockWASTE producido. Los materiales de formación están abiertos a cualquier usuario.

Página web del proyecto: <https://blockwasteproject.eu/>

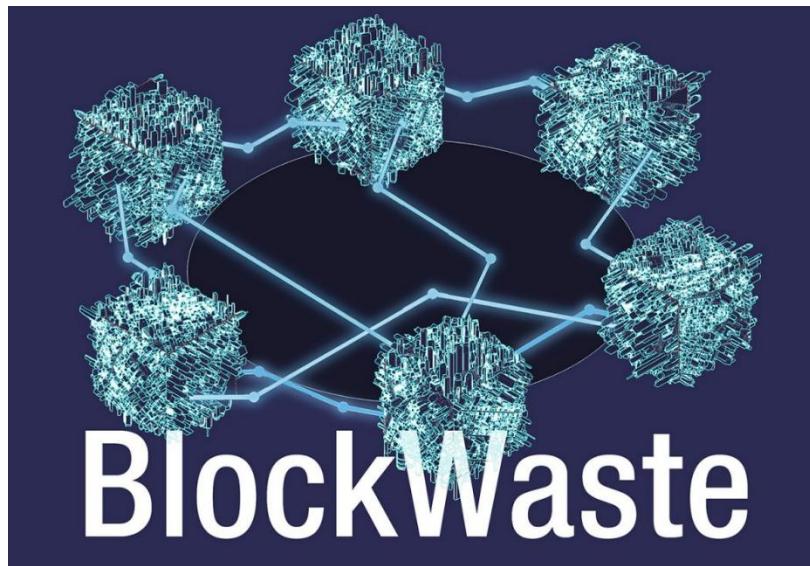


Figura 10. Logotipo del proyecto BlockWaste

5.6 Desarrollar un programa europeo de formación profesional modular orientado a resultados de aprendizaje y recursos educativos sobre Blockchain para abordar requisitos técnicos, no técnicos y interdisciplinarios (horizontales).

Objetivos

Se desarrollarán materiales didácticos innovadores en el campo de la Blockchain, para contribuir al problema de la incompatibilidad con la fuerza laboral, que es uno de los mayores problemas de la formación profesional. El contenido del material formativo se desarrollará en el concepto de cambio climático, huella de carbono, UE verde e igualdad de género en TIC. Con nuestro proyecto, se espera que los estudiantes cualificados se formen en Blockchain y que los certificados aporten una contribución positiva al mercado laboral.



Actividades

Nuestro proyecto es un proyecto que tiene como objetivo desarrollar materiales educativos que apoyen la innovación y la transformación digital en la educación profesional. Para alcanzar estos objetivos, se han preparado 5 WPs:

WP1- Gestión de Proyectos

WP2- Marco de Blockchain y Programa Modular de Formación Profesional

WP3- Plataforma de Evaluación (con IA)

WP4-Plataforma de aprendizaje electrónico basada en gamificación

WP5- Reuniones y conferencias

Impacto

Los resultados esperados del proyecto son los siguientes.

1- Resultados tangibles

Marco WP2-Blockchain y Programa Modular de Formación Profesional

Plataforma de evaluación WP3 (con IA)

WP4-Plataforma de aprendizaje electrónico basada en gamificación

2- Resultados intangibles

Mayor habilidad e interés en el ámbito blockchain

Contribución a la transformación digital de la sociedad, en particular de la formación profesional

Contribución a la adaptación de la EFP a la fuerza laboral

Contribución de la formación profesional a la actualización del currículo según las innovaciones aportadas por la industria 4.0

Página web del proyecto: <https://bch4vet.eu/>



Developing a European learning outcome-oriented modular VET programme and educational resources on Blockchain to address technical, non-technical and cross-discipline (horizontal) skills requirements

Figura 11. BCH4VET logotipo del proyecto

5.7 Juegos serios para la gestión de los recursos naturales

Antecedentes

El proyecto NATURE se inició en respuesta a los desafíos identificados por el grupo socio del proyecto en el área de educación para la gestión de recursos naturales. Abordar la falta de conocimientos actualizados y promover la comprensión de los problemas medioambientales en los proyectos empresariales es fundamental para la gestión sostenible de recursos. El proyecto responde a la necesidad de concienciar sobre la necesidad de mitigar el cambio climático, preservar el medio ambiente natural y la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras. Las iniciativas educativas que preparan a jóvenes profesionales para convertirse en adultos responsables y activos en sostenibilidad ambiental en todos los aspectos de la vida en la industria y las comunidades son una parte importante del proceso. Enseñar estas habilidades garantiza que los estudiantes y jóvenes profesionales sigan siendo relevantes en sus campos y actúen con responsabilidad en sus comunidades.

Objetivos

El objetivo del proyecto era proporcionar a estudiantes y profesores universitarios tecnologías y métodos digitales que contribuyan a la calidad de la educación en el campo de la gestión de recursos naturales. Para lograr el impacto del proyecto, los pasos importantes fueron la definición de un marco común para el desarrollo de una metodología de aprendizaje basada en juegos para la educación ambiental mediante la exploración, la colaboración y la experimentación, el desarrollo de un juego serio que pueda utilizarse en el proceso de estudio de la gestión ambiental, y la implicación de los estudiantes en escenarios relacionados con el uso responsable de los recursos naturales.



UNIDAD 5.

inspirados en la vida real. Otro objetivo importante que llevó a la implementación exitosa del concepto del proyecto y a resultados tangibles fue la provisión de contenido de apoyo para los profesores en forma de actividades de aprendizaje, videos y un manual de referencia que facilite la integración de los resultados del proyecto en la práctica docente.

Implementación

Para lograr los resultados del proyecto, el consorcio desarrolló e implementó una serie de actividades: una investigación multinacional para identificar y mapear la situación existente en la gestión de recursos naturales en los países del proyecto y en el espacio europeo, el análisis y comparación de las experiencias de "Educación Ambiental" en todos los países socios en relación con tecnologías digitales y métodos que contribuyen a la calidad de la educación en el campo de la gestión de recursos naturales; El análisis de las tendencias actuales en el uso de los juegos en la educación ambiental, que llevó a la definición de un marco común para el desarrollo de una metodología de aprendizaje basada en juegos para la gestión de recursos naturales.

El equipo de tecnología educativa definió los escenarios de aprendizaje y el equipo de diseño y tecnología desarrolló NATURE serious game para estudiantes, que promueve el aprendizaje mediante la experimentación en el contexto del juego de aprendizaje digital. En la fase final del proyecto, la intervención de aprendizaje NATURE fue validada en la práctica mediante actividades piloto con estudiantes de educación superior en Letonia, Grecia, Portugal, España, Estonia e Italia. Estas actividades de evaluación en diversos entornos académicos, culturales y económicos aseguraron la relevancia europea de los resultados. Para la difusión de resultados del proyecto y la participación de grupos objetivo en el uso posterior de los resultados, se organizaron eventos multiplicadores en todos los países del proyecto.

Resultados

El consorcio implementó el plan de acción del proyecto y logró los siguientes resultados finales.

- El informe 'Un marco de aprendizaje experiencial y metodológico para fomentar la conciencia, el conocimiento y las habilidades sobre una gestión responsable de los recursos naturales'. El marco se basa en un

El análisis de grupos de interés que pueden beneficiarse directa o indirectamente de las actividades del proyecto sobre educación ambiental puede utilizarse como herramienta de referencia para profesores que deseen actualizar sus planes de estudio basándose en los hallazgos del informe.



UNIDAD 5.

- Un juego de aprendizaje digital NATURE y actividades educativas (escenarios y mapas de aprendizaje inspirados en desafíos reales) sobre formación responsable en gestión de recursos naturales, que consisten en un conjunto de entregables, como escenarios de aprendizaje 3D, enciclopedias y vídeos de formación
- Contenido de apoyo al instructor en forma de hojas de aprendizaje para educadores que facilitan la adopción del diseño propuesto de aprendizaje experiencial para la educación ambiental y material de referencia que apoya a los educadores en la el uso del juego de aprendizaje NATURE e inspirarles a crear sus propias actividades de aprendizaje.

Página web del proyecto: <http://www.projectnature.eu/>



Figura 12. Pruebas del juego serio NATURE y logotipo del proyecto

5.8 Desarrollo de un juego serio para el aprendizaje digital en agroecología en Europa

La agricultura europea se enfrenta a muchos desafíos, incluyendo la producción de productos alimentarios y no alimentarios en cantidad y calidad suficientes, y la creación de valor añadido para los agricultores y actores de la cadena alimentaria, al tiempo que reduce el impacto de la agricultura en el medio ambiente. La agroecología, definida como "el estudio de las interacciones entre plantas, animales, humanos y el medio ambiente dentro de los sistemas agrícolas", se considera una opción muy relevante para reorientar la agricultura europea y afrontar estos grandes desafíos.

Sin embargo, la formación que se ofrece en las universidades europeas aún no está completamente adaptada para formar a los profesionales agrícolas actuales y futuros



UNIDAD 5.

en agroecología. En particular, los enfoques multidisciplinares no están bien desarrollados en los planes de estudio existentes. Además, los métodos de enseñanza actuales a menudo carecen de las dimensiones interactivas y digitales que son prometedoras para aprender. Por ello, se necesitan urgentemente herramientas innovadoras para ayudar a los profesores universitarios a ofrecer formación multidisciplinar de alta calidad y atractiva en agroecología a estudiantes y profesionales agrícolas.

Por ello, el proyecto SEGAE pretende facilitar una comprensión multidisciplinar y sistemática de la agroecología para estudiantes de educación secundaria y superior y profesionales agrícolas mediante el desarrollo de una herramienta digital de formación. Para lograr este objetivo, hemos reunido un consorcio de seis universidades europeas: Universidad de Lieja (BE), Agrocampus Ouest (FR), Groupe ESA (FR), Oniris (FR), Universidad Agrícola de Cracovia (PL) y Universidad de Bolonia (IT).

Esta herramienta adopta la forma de un juego serio, es decir, un juego de simulación por ordenador que ayuda a los jugadores a entender en términos concretos cómo implementar la agroecología en una granja. En términos concretos, el jugador gestiona una granja virtual que combina cultivos y cría de ganado lechero, donde puede implementar y evaluar los impactos de las prácticas agrícolas en indicadores relacionados con la sostenibilidad ambiental, económica y social de su granja. Puede tomar decisiones en aspectos tan variados como la raza de ganado, la ración de alimento, la elección de cultivos, el método de laboreo, etc. Y ver directa y con el tiempo el impacto de sus elecciones en los distintos indicadores. Por defecto se proponen cuatro tipos de granjas europeas: francesa, italiana, belga y polaca.

El juego está dirigido a profesores de universidades y escuelas agrícolas, así como a asesores agrícolas en educación continua. Se pueden lograr varios objetivos pedagógicos con el juego: comprender los efectos de las diferentes prácticas agroecológicas, análisis global de la explotación agrícola y gestión de las transiciones agroecológicas. Además, un editor de escenarios permite a los profesores desarrollar sus propios escenarios pedagógicos personalizados, cumpliendo así diferentes objetivos de aprendizaje y llegando a distintos públicos.

El juego va acompañado de tutoriales en vídeo y una plataforma pedagógica que incluye una guía didáctica para profesores, hojas de ejercicios llave en mano, así como lecciones sobre las diferentes dimensiones de la agroecología que se abordan en el juego. El juego, el tutorial y las herramientas didácticas están disponibles gratuitamente en 6 idiomas (inglés, español, francés, italiano, neerlandés, polaco).

En el marco del proyecto, más de 800 estudiantes han utilizado el juego. Una sesión de formación con 51 estudiantes demostró el interés académico del juego y dio lugar a una publicación científica (Jouan et al., 2020). Casi 700 profesores, investigadores y personal de educación superior y técnica también recibieron información o formación sobre el



UNIDAD 5.

juego. Por último, más de 4.800 personas han usado el juego desde que se lanzó a internet.

El proyecto busca que este juego serio ayude a formar a estudiantes de secundaria y universidad, así como a profesionales agrícolas para contribuir a la transición agroecológica de la agricultura europea.

Página web del proyecto: <https://www.segae.org/>



Figura 13. Logotipo del proyecto Desarrollo de un juego serio para el aprendizaje digital en agroecología en Europa.

REFERENCIAS

- Erasmus+ (2017). SEGAE – Desarrollo de un juego serio para el aprendizaje digital en agroecología en Europa (Proyecto 2017-1-FR01-KA203-037254). Plataforma de Resultados del Proyecto Erasmus+. Comisión Europea. Consultado el 3 de octubre de 2025 desde <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2017-1-FR01-KA203-037254>
- Erasmus+ (2020). BlockWASTE – Formación innovadora basada en la tecnología Blockchain aplicada a la gestión de residuos (Proyecto 2020-1-EL01-KA203-079154). Plataforma de Resultados del Proyecto Erasmus+. Comisión Europea. Consultado el 3 de octubre de 2025 desde <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2020-1-EL01-KA203-079154>
- Erasmus+ (2020). Enfoque innovador de formación en el entorno asistido por tecnología para la gestión del agua (Proyecto 2020-1-UK01-KA203-078871). Plataforma de Resultados del Proyecto Erasmus+. Comisión Europea. Consultado el 3 de octubre



UNIDAD 5.

de 2025, de <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2020-1-UK01-KA203-078871>

Erasmus+ (2021). Blockchain para el medio ambiente: educación interdisciplinaria abierta sobre cómo generar cambios disruptivos mediante aplicaciones DLT impactantes (Proyecto 2021-1-DK01-KA220-HED-000027608). Plataforma de Resultados del Proyecto Erasmus+. Comisión Europea. Consultado el 3 de octubre de 2025, desde <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2021-1-DK01-KA220-HED-000027608>

Erasmus+ (2021). Juegos serios para la gestión de recursos naturales (Proyecto 2021-1-LV01-KA220-HED-000032033). Plataforma de Resultados del Proyecto Erasmus+. Comisión Europea. Consultado el 3 de octubre de 2025, de <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2021-1-LV01-KA220-HED-000032033>

Erasmus+ (2022). Desarrollo de un programa europeo de formación profesional modular orientado a resultados de aprendizaje y recursos educativos sobre blockchain para abordar requisitos técnicos, no técnicos y interdisciplinarios (horizontales) de habilidades (Proyecto 2022-1-NL01-KA220-VET-000087180). Plataforma de Resultados del Proyecto Erasmus+. Comisión Europea. Consultado el 3 de octubre de 2025 desde <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2022-1-NL01-KA220-VET-000087180>

Erasmus+ (2024). AGRITECH – Alianza para un Entorno de Aprendizaje Innovador en Agricultura Avanzada a través de la Tecnología y la Gestión (Proyecto 101187399). Plataforma de Resultados del Proyecto Erasmus+. Comisión Europea. Consultado el 3 de octubre de 2025, desde <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/101187399>

Erasmus+ (2025). Economía circular: Nuestro futuro sostenible (Proyecto 2025-1-DE04-KA210-YOU-000358253). Plataforma de Resultados del Proyecto Erasmus+. Comisión Europea. Consultado el 3 de octubre de 2025 desde <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2025-1-DE04-KA210-YOU-000358253>