

ECOINNOVACIÓN EN EL RECICLAJE DE METALES CLAVES Y MATERIALES CRÍTICOS

Lucia Unamunzaga, AZTERLAN

02/04/2025



INDICE

- **Origen del trabajo**
- **Situación de partida en Euskadi**
- **Desarrollo del S-Plan**
 - Concreción de Tendencias / Drivers / Necesidades
 - Identificación de Oportunidades / Retos
 - Tecnologías clave para el desarrollo de las oportunidades
- **Concatenación de tendencias-oportunidades-tecnologías: Linkage - Grid**

Agendas de investigación de BRTA. BRTA Ecoinnovación

BRTA Ecoinnovación

Ámbitos/retos tecnológicos

1. **Reciclaje metales clave y materiales críticos** (Azterlan)
2. **Plásticos reciclados y reciclables** (Gaiker)
3. **Retención de valor de producto** (Tekniker)
4. **Bioeconomía no alimentaria** (Neiker)

equipo



94 EJC



WHITE PAPER ECOINNOVACIÓN: RECICLAJE DE METALES CLAVE Y MATERIALES CRITICOS



¿Qué se entiende por el ámbito?

Alta criticidad en el suministro de materias primas y metales críticos, debido a varios factores:

- Dificultad de extracción, procesamiento y agotamiento de recursos
- Aumento de la necesidad y demanda por los materiales críticos (industrias aeroespacial, defensa, electrónica, automotriz y energética necesitan al menos a 21 de los 30 materiales críticos)
- Materiales insustituibles
- Baja valorización
- Altos precios



Situación de partida en EUSKADI

LISTA EUROPEA 34 MATERIALES CRÍTICOS [17 estratégicos (críticos+clave)]

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1. Aluminium/Bauxite/alumina* | 18. Germanium |
| 2. Coking Coal | 19. Graphite |
| 3. Lithium | 20. Tantalum |
| 4. Phosphorus | 21. Bismuth |
| 5. Antimony | 22. Hafnium |
| 6. Feldspar | 23. Niobium |
| 7. Light rare earth elements | 24. Titanium metal |
| 8. Scandium | 25. Boron |
| 9. Arsenic | 26. Helium |
| 10. Fluorspar | 27. Platinum group metals |
| 11. Magnesium | 28. Tungsten |
| 12. Silicon metal | 29. Cobalt |
| 13. Baryte | 30. Heavy rare earth elements |
| 14. Gallium | 31. Phosphate Rock |
| 15. Manganese | 32. Vanadium |
| 16. Strontium | 33. Copper *(nuevo 2023) |
| 17. Beryllium | 34. Nickel* |

* Clave

MATERIALES CRÍTICOS EN LA INDUSTRIA VASCA, 2023

MATERIALES CRÍTICOS Y ESTRATEGICOS

METALES CLAVE

1. Cobre
2. Silicio
3. Niobio
4. Coque de carbón
5. Wolframio
6. Cobalto
7. Grafito
8. Magnesio
9. Disprosio
10. Neodimio
11. Fluorespato (fluorita)
12. Fosfato
13. Cerio
14. Antimonio
15. Boro

+
impacto económico
-

1. Acero
2. Aluminio
3. Cromo
4. Níquel
5. Zinc

Situación de partida en EUSKADI

	Material	Toneladas / año	Euros / tonelada	Millones de euros
Materiales Críticos y Materias Primas Estratégicas	Cobre	80.000	5.924	474
	Silicio	37.814	1.550	59
	Niobio	1.290	23.991	31
	Coque de carbón	31.000	164	5
	Wolframio	448	25.792	12
	Cobalto	401	35.250	14
	Grafito	8.147	769	6
	Magnesio	4.148	1.723	7
	Disprosio	8	329.158	3
	Neodimio	40	54.450	2
	Fluorespato (fluorita)	8.117	338	3
	Fosfato	23.742	67	2
	Cerio	50	1.310	0,1
	Antimonio	22	5.166	0,1
	Boro	30	605	0,0
Total		195.257		618

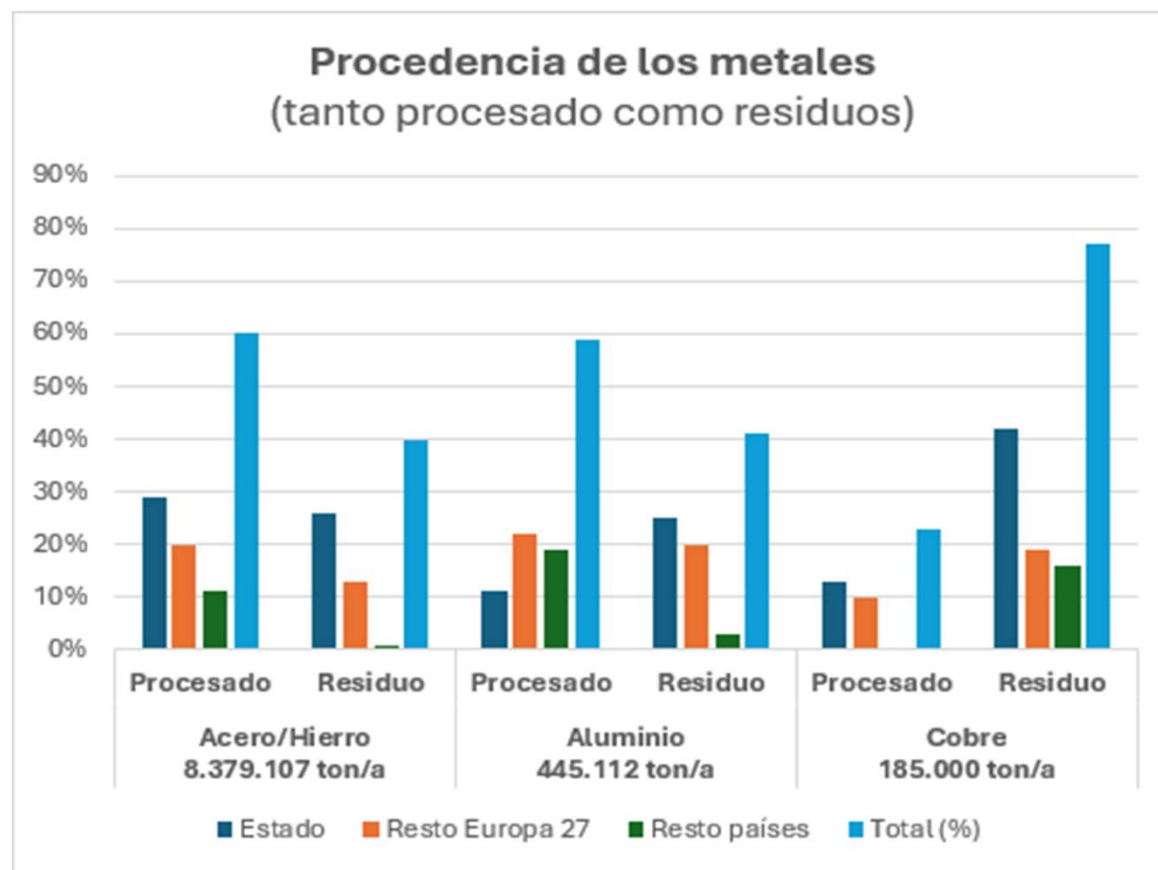
	Material	Toneladas / año	Euros / tonelada	Millones de euros
Metales clave para la CAPV	Acero / hierro	3.660.000	485	1.775
	Aluminio	441.000	1.534	676
	Cromo	51.000	5.677	290
	Níquel	23.000	12.603	290
	Cinc	28.000	2.045	57
	Total	4.203.000		3.088

Estimación del consumo e impacto económico de las materias primas críticas y metales clave en Euskadi (Ihobe 2022, adaptado a la lista 2023)

- Consumo de 195.257 ton. de materias primas críticas por valor de 618 millones de euros,
- 4.203.000 ton. de metales clave por 3.088 millones de euros.

Situación de partida en EUSKADI

Procedencia de los principales metales críticos/claves consumidos en EUSKADI



**ALTA DEPENDENCIA DE
MERCADOS EXTERIORES**

1. DRIVERS, TENDENCIAS Y NECESIDADES

POLITICOS

DE MERCADO

DE SUMINISTRO

2. OPORTUNIDADES

FORTALEZAS

DEBILIDADES

3. TECNOLOGIAS CLAVE

DRIVERS DE CARÁCTER POLÍTICO



- **“Ley de Materias Primas Críticas” o “Critical Raw Materials Act (CRMA)”** para el suministro seguro y sostenible a Europa de materias primas la dependencia. Objetivos 2030: extracción en EU del 10 %, transformación del 40 % transformación y un reciclado del 25 %.
- **“Mecanismo de Ajuste Fronterizo de Carbono de la UE (CBAM)”**, aplicación de arancel a la importación de acero y aluminio a partir de 2026.
- **“Reglamento (UE) 2024/1781 sobre el diseño ecológico de los productos sostenibles (ESPR) ”**, revisión y nueva normativa a productos para aumentar la durabilidad, reutilización, reparación y reciclado. Productos de acero, previsiblemente aluminio grupo prioritario.
- **“Reglamento (UE) 2023/1542 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de julio de 2023, relativo a las pilas y baterías y sus residuos”**, pretende reducir impacto ambiental asegurar cadenas de valor estables, sostenibles. Reciclado del 65-75/80-70% (2025/2030) s.pilas, baterías,celdas.. % Contenido de material reciclado (Co, Pb, Li, Ni,..)
- **“Reglamento (UE) 2024/3110 por el que se establecen reglas armonizadas para la comercialización de productos de construcción (CPR)”**
- **“Propuesta COM/2023/451 de Reglamento sobre los requisitos de circularidad y fin de vida de los vehículos (ELV)”**
- **“Plan de Acción Europeo de Acero y Metales COM(2025) 125”**

NECESIDADES DE CARÁCTER ECONÓMICO, COMPETITIVO

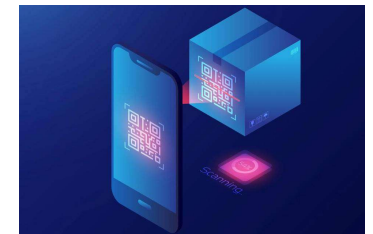
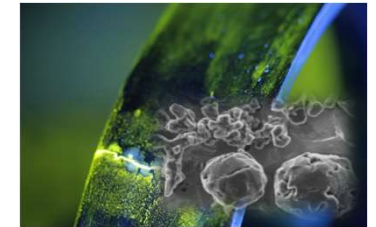
- El coste de materias primas supone un **61 % de los costes totales de las empresas de la industria vasca**.
- Consumo de **195.000 ton/año de materiales críticos** , valor de **618 millones €/año**
- Consumo **541,000 ton/año de metales no férreos**, valor de **1.600 millones €/año**
- Generación de **residuos industriales: 3,4 millones t/año**, origen principal; siderometalúrgico, fundición y papel.
- Los residuos con **contenido metálico** depositados en **vertedero** representan **12 millones €/año**.
- Residuos metálicos (esp. Chatarras) en su mayoría reciben un **reciclaje “downcycling”**

TENDENCIAS TECNOLÓGICAS, SUMINISTRO

- La **productividad** de las empresas del metal condicionada por los **problemas de suministro mp** por la *escasez, retrasos y volatilidad de los precios*.
- *Tecnologías* transición **energética y digital**
- Estudios sugieren una **duplicación de la demanda** de materiales para **2060** → preocupaciones sobre el acceso a mp.

OPORTUNIDADES

1. Desarrollo de sistemas de identificación, clasificación y separación en tiempo real de materiales y aleaciones
2. Obtención y recuperación de materias primas secundarias
3. Desarrollo de procesos y productos a partir de la materia prima secundaria recuperada
4. Ecodiseño de aleaciones y componentes con bajo contenido en materiales críticos**
5. Pasaporte digital en productos de fundición y siderurgia.
6. Fabricación de imanes permanentes reciclados en el País Vasco
7. Fabricación de baterías recicladas en el País Vasco



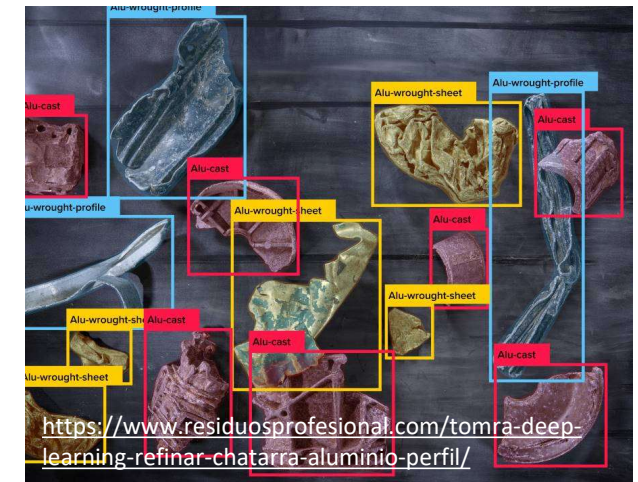
OPORTUNIDADES. Aplicaciones concretas

Desarrollo de sistemas de identificación, clasificación y separación en tiempo real de materiales y aleaciones

"Separación por vía electromagnéticos y nuevas tecnologías basadas en sistemas de percepción (imagen 2D/3D, hiperespectral, rayos-X, LIBS, Raman...) y el tratamiento de datos basadas en IA"

1. **Chatarras férreas.** Clasificación por grados, según contenidos en cobre, zinc... Evitar "downgrading" en acerías.
2. **Chatarras de aluminio.** Clasificación por tipos de aleación. Evitar "downgrading" en fundiciones de aluminio secundario.
3. **Identificación de insertos en chatarras.**
4. **Detección de elementos peligrosos:** bombonas, tanques...
5. **Identificación y separación de productos complejos con interés para el reciclaje:** circuitos impresos de ordenadores, teléfonos, baterías de aparatos eléctricos y electrónicos y de automóviles, ..etc

Tecnologías de Imagen 2D y Deep learning



OPORTUNIDADES. Aplicaciones concretas

Obtención y recuperación de materias primas secundarias

"Investigar en innovadores procesos de limpieza, tratamiento de tipo mecánico, robótico, químico, piro e hidrometalúrgico, así como en su combinación".

1. Acondicionamiento y limpieza de chatarras (eliminación pinturas, capas oxidadas,..)
2. Separación y extracción de metales clave o elementos críticos en chatarras clasificadas y acondicionadas.
3. Recuperación de las fracciones metálicas en residuos mixtos: escorias, polvos aspiración, lodos laminación, recortes estampación con recubrimientos de zinc, etc.



OPORTUNIDADES. Aplicaciones concretas

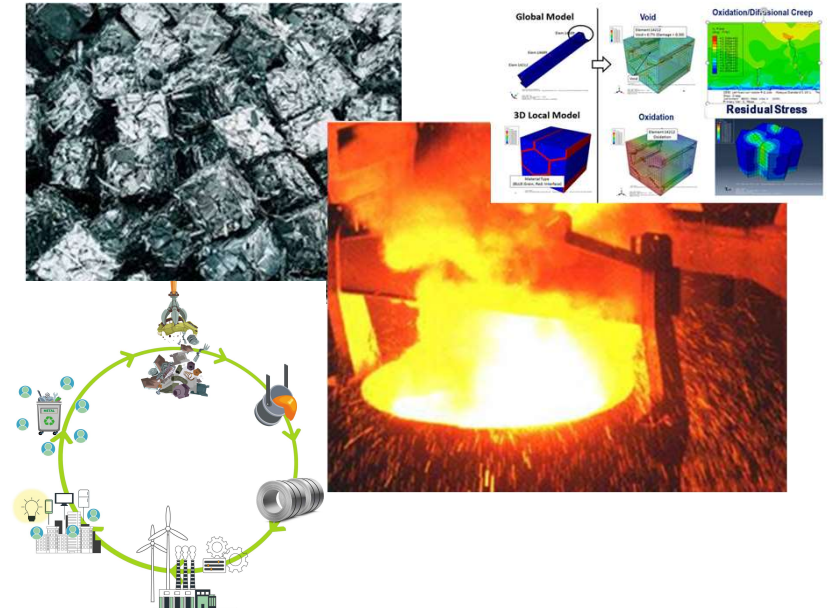
Desarrollo de procesos y productos a partir de la materia prima secundaria recuperada

"Los metales clave recuperados se utilizarán en el desarrollo de materias primas secundarias (lingote, polvo, hilo, etc..) aleaciones y superaleaciones de base acero, aluminio, níquel, cobalto..."

→ **Diseño de estrategias metalúrgicas** (qué añadir, cuándo y cómo, condiciones de fusión) para poder utilizar materiales secundarios/reciclados menor calidad/pureza.

Ecodiseño de aleaciones y componentes con bajo contenido en materiales críticos

- **Ecodiseño orientado a la desmaterialización;** reducción del uso, sustitución de materiales críticos, aligeramiento de componentes, aumento de la durabilidad
 - **Ecodiseño para la reciclabilidad**
- Reducción de impacto ambiental

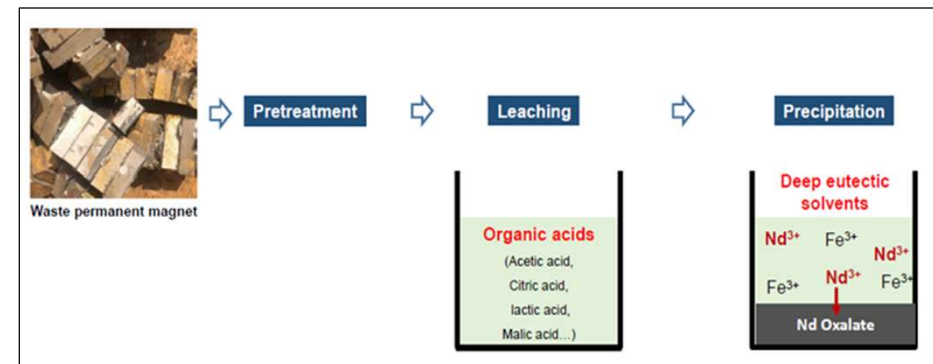


OPORTUNIDADES. Aplicaciones concretas

Fabricación de imanes permanentes reciclados en el País Vasco

"Sectores fuertemente implantados en la CAPV como los sectores de las energías renovables, el sector eléctrico y los equipos auxiliares son dependientes de imanes permanentes"

1. **Desarrollo de tecnologías de desmontaje automático** de aparatos eléctricos y electrónicos para extracción de imanes y su clasificación
2. Desarrollo de **tecnologías de hidrometalurgia** sostenible para recuperar tierras raras (Nd, Dy...)
3. **Optimizar los procesos de producción de imanes permanentes a partir de materia prima reciclada** desde el punto de vista de los costes y la sostenibilidad
4. *Imanes de neodimio-hierro-boro de los discos duros y los motores eléctricos de las bicicletas, motocicletas y automóviles eléctricos, condensadores,..*



OPORTUNIDADES. Aplicaciones concretas

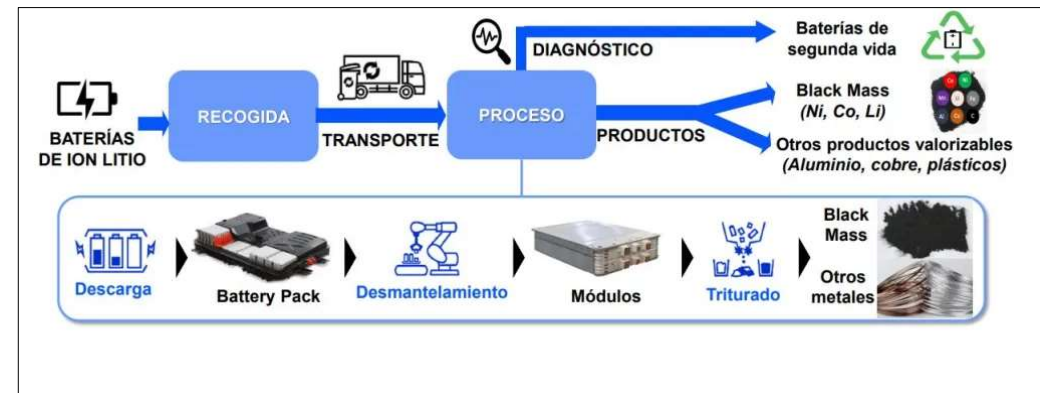
Fabricación de baterías recicladas en el País Vasco

"Desarrollo de tecnologías de **desmontaje, separación y clasificación** automática de baterías y de deconstrucción mecánica para desarmar las baterías. Optimización desde el punto de vista del coste, eficiencia energética y sostenibilidad de los **procesos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos** para recuperar distintos materiales clave".

1. Baterías de litio para vehículos eléctricos (VE):

- i. Cobalto (Co): cátodos de baterías de iones de litio.
- ii. Níquel (Ni): componente común en los cátodos
- iii. Litio (Li): cátodo/ánodo

2. Baterías de litio en electrónicos portátiles



ANÁLISIS OPORTUNIDAD/VIABILIDAD



TECNOLOGÍAS CLAVE

- **Tecnologías Digitales**
 - ICME (Integrated computational materials engineering)
 - Gemelo digital (Digital Twin)
 - Sistemas de percepción avanzados e Inteligencia Artificial
 - Plataformas digitales
- **Tecnologías ciberfísicas**
 - Automatización y robótica
 - Internet de las cosas (IoT)
 - Tecnologías de inspección y medida
- **Tecnologías de Fabricación**
 - Procesos de purificación y recuperación
 - Estrategias metalúrgicas para la reciclabilidad
 - Materiales avanzados



Drivers, tendencias y necesidades								Tecnologías									
Políticas y directivas				Competitividad		Trazabilidad	Recursos limitados	Oportunidades	Tecnologías digitales			Tecnologías ciberfísicas (digital hard)			Tecnologías de fabricación		
Tasa de carbono a importaciones chatarras de acero y aluminio por huella ambiental,	Directiva SPI (piezas de acero y aluminio con requisitos medioambientales y desarrollo de PDP)	Normativa Europea de baterías Recuperación del 90-95 % de los elementos y reciclado 70-75 %	ERMA fabricación del 20 % de imanes permanentes que consume Europa	Coste de materias primas y gestión de residuos	Eficiencia procesos fabricación	Trazabilidad y certificación de materiales y productos	materiales críticos (Co, W, Ti, Si, tierras raras...) y bauxita (aluminio primario)		Gemelo digital, ICME (Integrated computational materials engineering)	IA and Data Science	Plataformas digitales	Automatización y robótica	IoT	Tecnologías de inspección y medida	Procesos de purificación y recuperación	Procesos de fabricación	Materiales avanzados
								Desarrollo de sistemas de identificación, clasificación y separación en tiempo real de materiales y aleaciones									
✓								Obtención y recuperación de materia prima secundaria. Extracción de materiales críticos (chatarra acero y aluminio, baterías e imanes) y recuperación metálica en residuos metalúrgicos (polvos aspiración, lodos, escorias de fundición, recortes, virutas, etc).	✓								
✓	✓			✓				Desarrollo de procesos y productos a partir de la materia prima secundaria recuperada (aleaciones y superaleaciones de acero, aluminio secundario, ...)	✓	✓					✓	✓	
			✓				✓	Fabricación de imanes permanentes reciclados en el País Vasco	✓	✓	✓				✓	✓	
			✓				✓	Fabricación de baterías recicladas en el País Vasco	✓	✓	✓				✓	✓	
✓				✓	✓			Ecodiseño de aleaciones y componentes con bajo contenido en materiales críticos	✓	✓							✓
✓					✓	✓	Pasaporte digital en procesos de fundición y siderurgia. Retorno de componentes metálicos a fin de vida al fabricante					✓	✓			✓	



2025 BASQUE CIRCULAR SUMMIT



EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO

INDUSTRIA, TRANSIZIO
ENERGETIKO ETA
JASANGARRITASUN SAILA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA,
TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y
SOSTENIBILIDAD

#BCS2025

basquecircularsummit.eus