

MATERIALES ESTRATÉGICOS PARA LA ECONOMÍA ESPAÑOLA Y PROPUESTAS DE ACTUACIÓN PARA SU RECUPERACIÓN



Alicia Valero

14/11/2023

Edificio CIRCE / Campus Río Ebro / Mariano Esquillor Gómez, 15 / 50018 ZARAGOZA

Tfno. (+34) 976762145/ 976762950 / web: <https://icirce.unizar.es> / email: icirce@unizar.es

Nuevos materiales para la Economía “Verde”

1 GW de potencia producida con energía eólica requiere 25 veces más materiales que las centrales convencionales



Wind park. Creative Commons



Coal power plant in Andorra (Teruel)

Nuevos materiales para la Economía “Verde”

La cantidad no es lo más preocupante!



Fuente: Valero, Alicia; Valero Antonio y Calvo Guiomar. Thanatia. Límites materiales de la transición energética. PUZ 2021

También la transición digital...

Rareza de los elementos



Rareza termodinámica de algunos elementos: criticidad física de materias primas

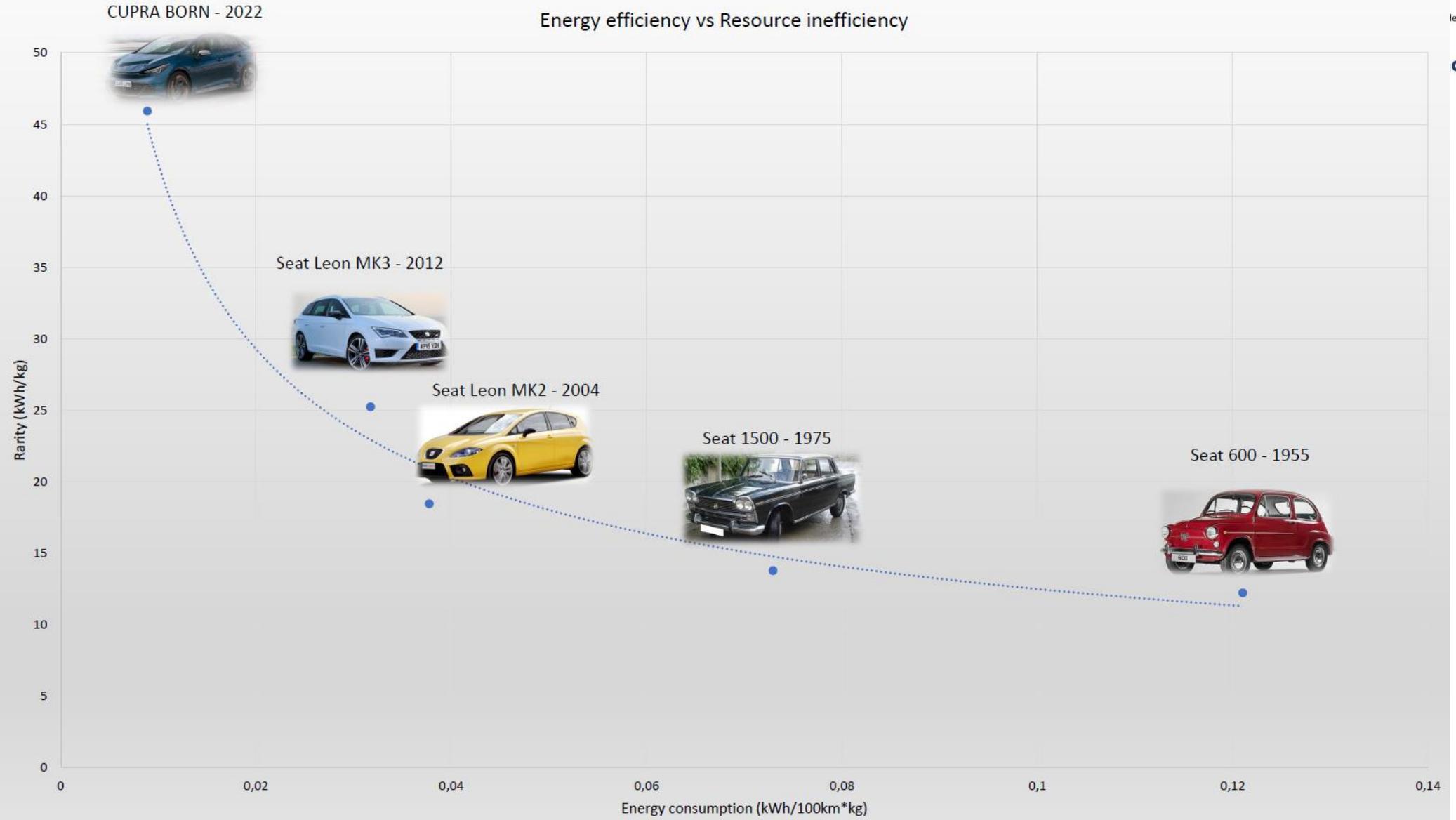
H																	He
Li 558	Be 260											B	C	N	O	F	Ne
Na 47	Mg											Al 638	Si 1	P 1	S	Cl	Ar
K 1,227	Ca 3	Sc	Ti 23	V 1,191	Cr 5	Mn 16	Fe 18	Co 10881	Ni 776	Cu 139	Zn 26	Ga 754,828	Ge 24,247	As 409	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y 1,357	Zr 1,393	Nb	Mo 1,043	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag 8,652	Cd 6,162	In 363,917	Sn 442	Sb 445	Te 2,825,065	I	Xe
Cs	Ba 39	La 336	Hf	Ta 485,910	W 7,642	Re 103,087	Os	Ir	Pt	Au 691,420	Hg 28,455	Tl	Pb 37	Bi 493	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo

Ce 620	Pr 873	Nd 670	Pm	Sm	Eu	Gd 4,085	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U 1,090	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



Más eficientes energéticamente, ¿pero más sostenibles?





Fuente: elaboración propia

“Las economías del futuro ya no dependerán del petróleo y el carbón, sino del litio para las baterías; del silicio metálico para los chips; de los imanes permanentes de tierras raras para los vehículos eléctricos y las turbinas eólicas. Y es seguro: las transiciones verde y digital aumentarán masivamente nuestra necesidad de estos materiales”.

Ursula von der Leyen, President of the European Commission, Enero 2023



Los Metales Estratégicos y la Transición Energética

Lista de Metales Fundamentales y Estratégicos no para de aumentar:

- 2011 → 14
- 2014 → 20
- 2017 → 27
- 2020 → 30
- 2023 → 34



EU End of Life Recycling Input Rate [%]



La Comisión Europea ha planteado unos objetivos para 2030:

- **>10%** del consumo **extraído** en la UE,
- **>40%** del consumo **transformado** en la UE,
- **>15%** del consumo **reciclado** en la UE,
- **<65%** del consumo **procede** de un único país.

Los Residuos Aparatos Eléctricos y Electrónicos:

- Europa lidera su generación → 16.2kg/hab
- Contienen metales fundamentales y estratégicos

Oro en minas vs Oro en PCBs

PCB



→ 860 g/ton

Hay más oro en una PCB que en una mina

¡Casi 100 veces más!

Las minas con más Oro del mundo



→ 8-10 g/ton

Harían falta unas 5300 PCB para fabricar un anillo de 90 g de oro puro

Ejemplo TOKYO 2020



80 t de aparatos electrónicos (6,21 millones de móviles) → 30 kg Au (1600 medallas)



Pero OJO! Quimiodiversidad en nuevas tecnologías

TENDENCIA:

Mayor número de productos y materiales con mejores prestaciones, reducción en tamaño y peso.



IMPOSIBLES DE RECICLAR FUNCIONALMENTE!

Mezclar azúcar y sal



De concentración a dispersión

La temible Segunda ley de la Termodinámica

Todos los procesos naturales y provocados por el hombre tienden espontáneamente a la degradación y el camino de regreso es muy costoso o incluso imposible.

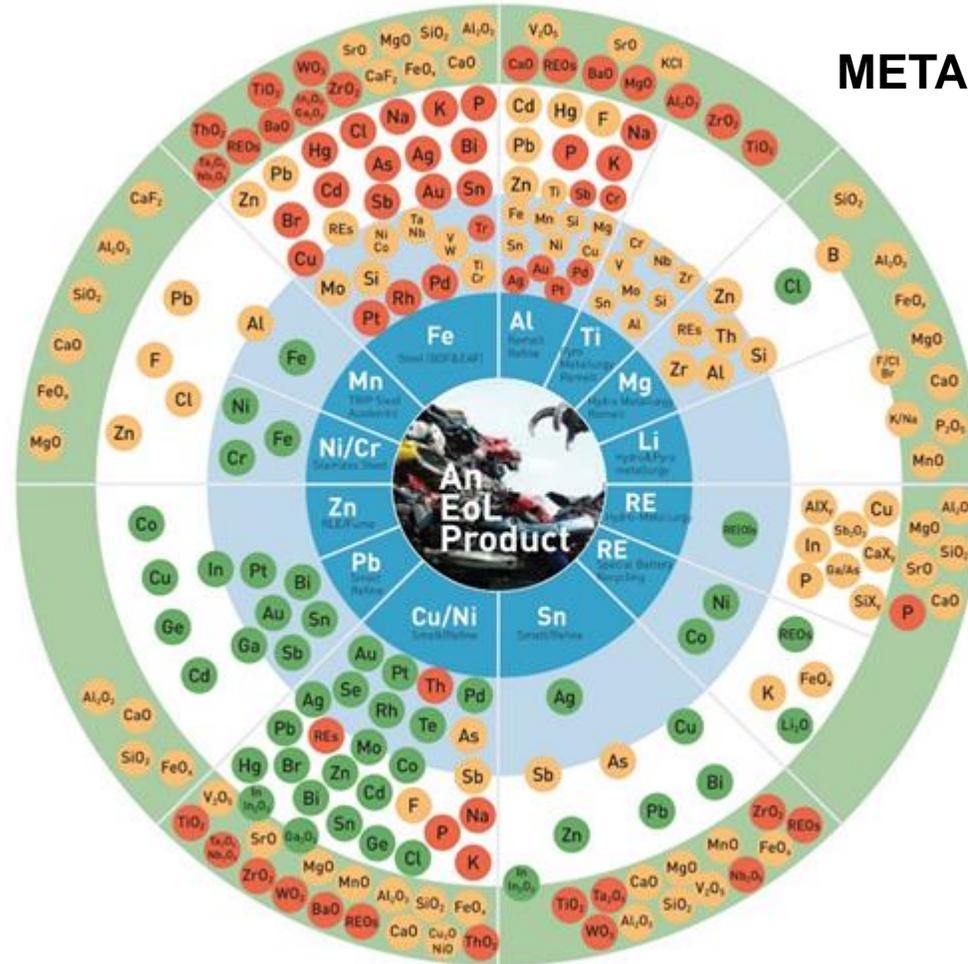
Corolario:

Mezclar es el proceso más entrópico que existe!

Mantén la pureza todo lo que puedas



Mixología metálica implica pérdidas irreversibles en el fin de vida

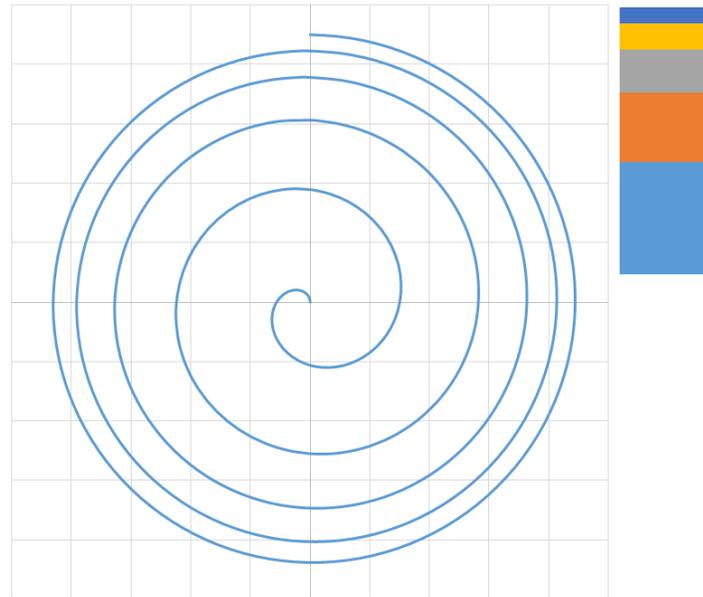


METAL WHEEL

- **Society's Essential Carrier Metals: Primary Product**
Extractive Metallurgy's Backbone (primary and recycling metallurgy). The metallurgy infrastructure makes a "closed" loop society and recycling possible.
- **Dissolves mainly in Carrier Metal if Metallic (Mainly to Pyrometallurgy)** Valuable elements recovered from these or lost (metallic, speiss, compounds or alloy in EoL also determines destination as also the metallurgical conditions in reactor).
- **Compounds Mainly to Dust, Slime, Speiss, Slag (Mainly to Hydrometallurgy)** Collector of valuable minor elements as oxides/sulphates etc. and mainly recovered in appropriate metallurgical infrastructure if economic [EoL material and reactor conditions also affect this].
- **Mainly to Benign Low Value Products** Low value but inevitable part of society and materials processing. A sink for metals and loss from system as oxides and other compounds. Comply with strict environmental legislation.

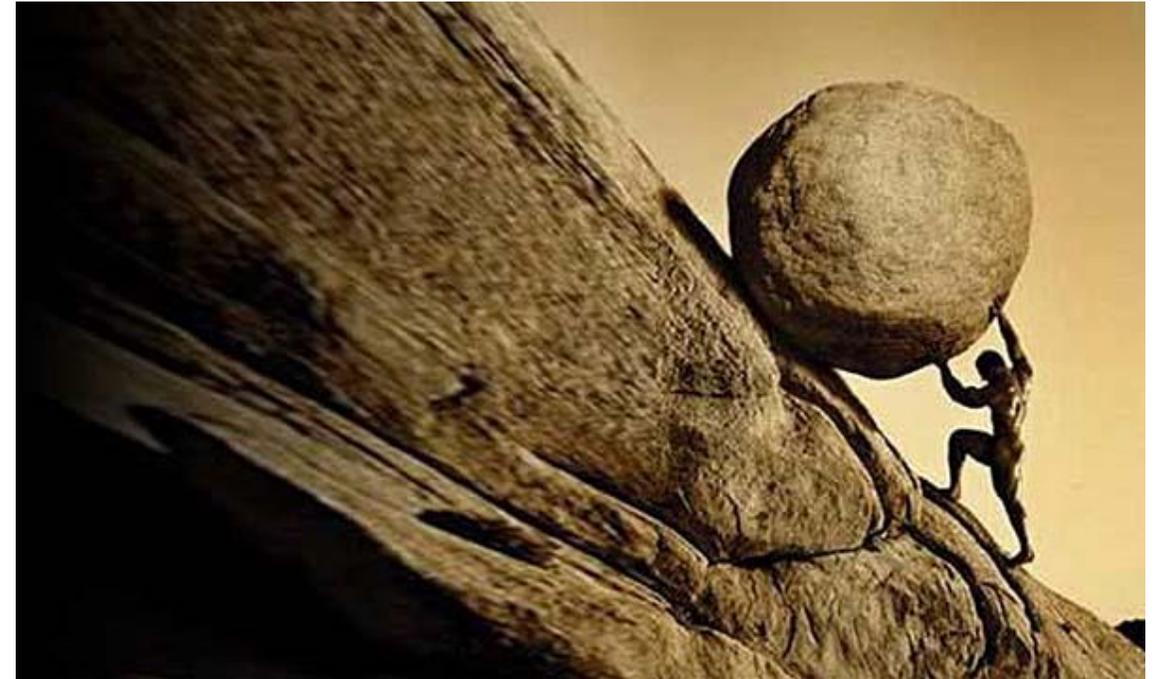
- **EL Mainly Recovered Element** Compatible with Carrier Metal as alloying Element or that can be recovered in subsequent Processing.
- **EL Mainly Element in Alloy or Compound in Oxidic Product, probably Lost** With possible functionality, not detrimental to Carrier Metal or product [if refractory metals as oxidic in EoL product then to slag/slag also intermediate product for cement etc.].
- **EL Mainly Element Lost, not always compatible with Carrier Metal or Product** Detrimental to properties and cannot be economically recovered from e.g. slag unless e.g. iron is a collector and goes to further processing.

Límites a la economía circular: Economía espiral



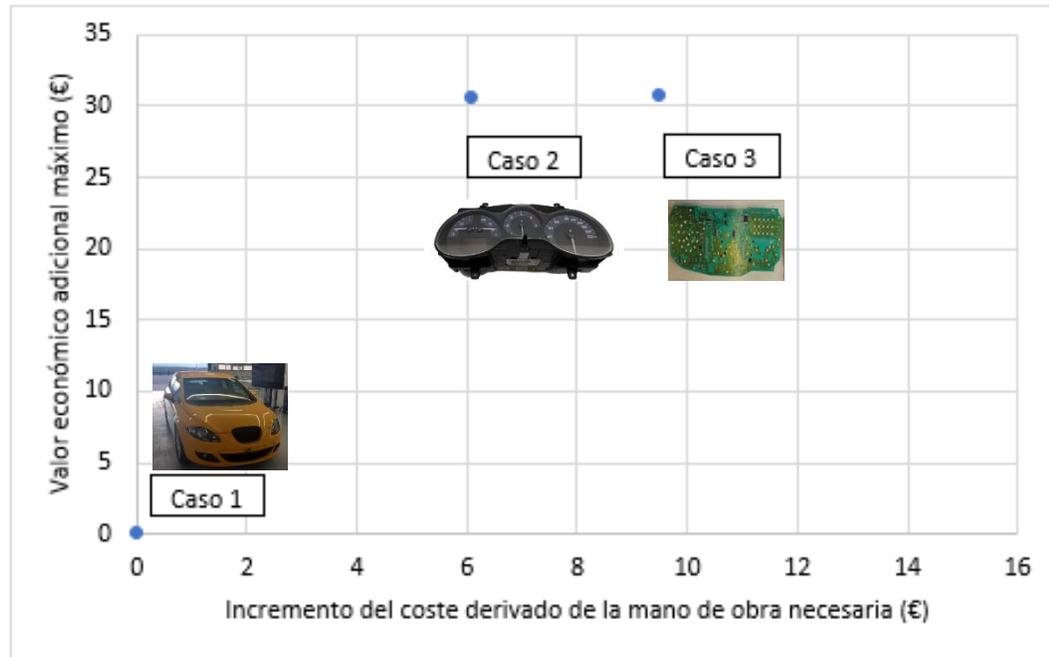
Aceleración exponencial: $R=R_0-a*b^t$

Extraer tierras raras de un motor de un vehículo eléctrico

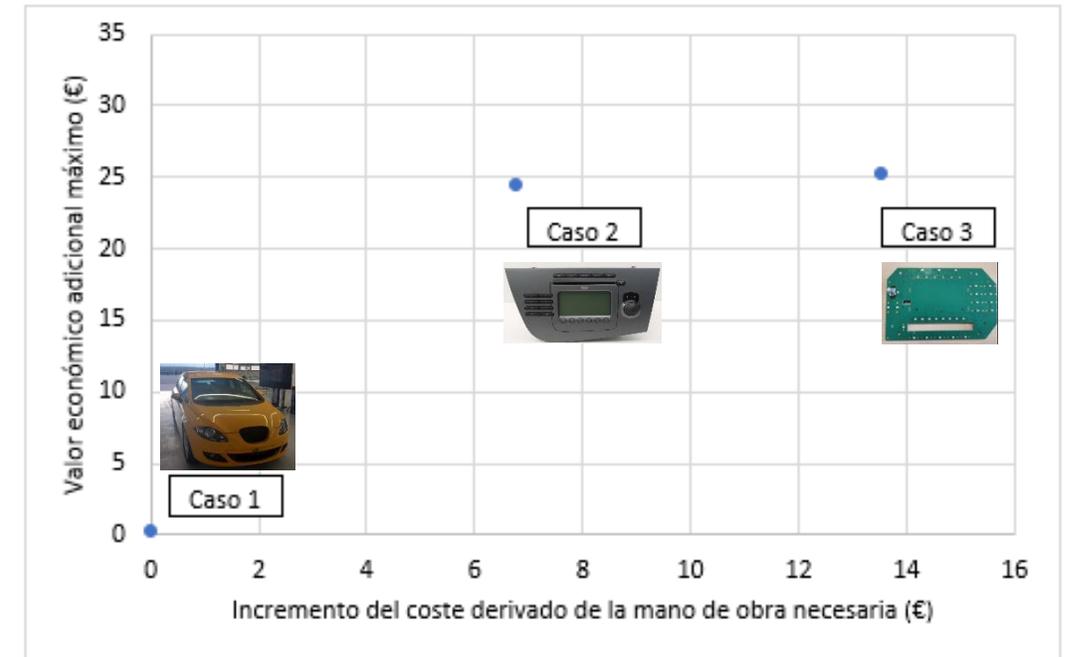


Reciclabilidad – Desensamblabilidad

Dashboard–SEAT León II:



Infotainment unit –SEAT León II :

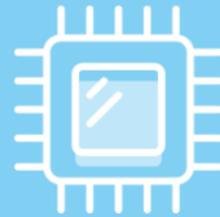


How to make a car more circular?



TREASURE

<https://www.treasureproject.eu>



Guaranteeing a **sustainable use of raw materials** in the automotive sector



Adopting in practice the **circular economy** paradigm in the automotive sector



Offering better **vehicle-related economic, environmental and social** performances



Creating new **supply chains** around **End-of-Life Vehicles (ELVs)**



La situación española

1. ¿Cuántos RAEEs se ponen en el mercado en España?
2. ¿Qué metales importantes están contenidos en dichos RAEEs?
3. ¿Qué AEE son más valiosos por sus metales?
4. ¿Cuáles son sus tasas de recogida y reciclado actuales y potenciales?
5. ¿Qué porcentaje de metales estratégicos podrían cubrir de las necesidades para desarrollar tecnologías limpias?
6. ¿Qué actuaciones deberían realizarse para poder alcanzar una mayor recuperación de dichos metales estratégicos en España?

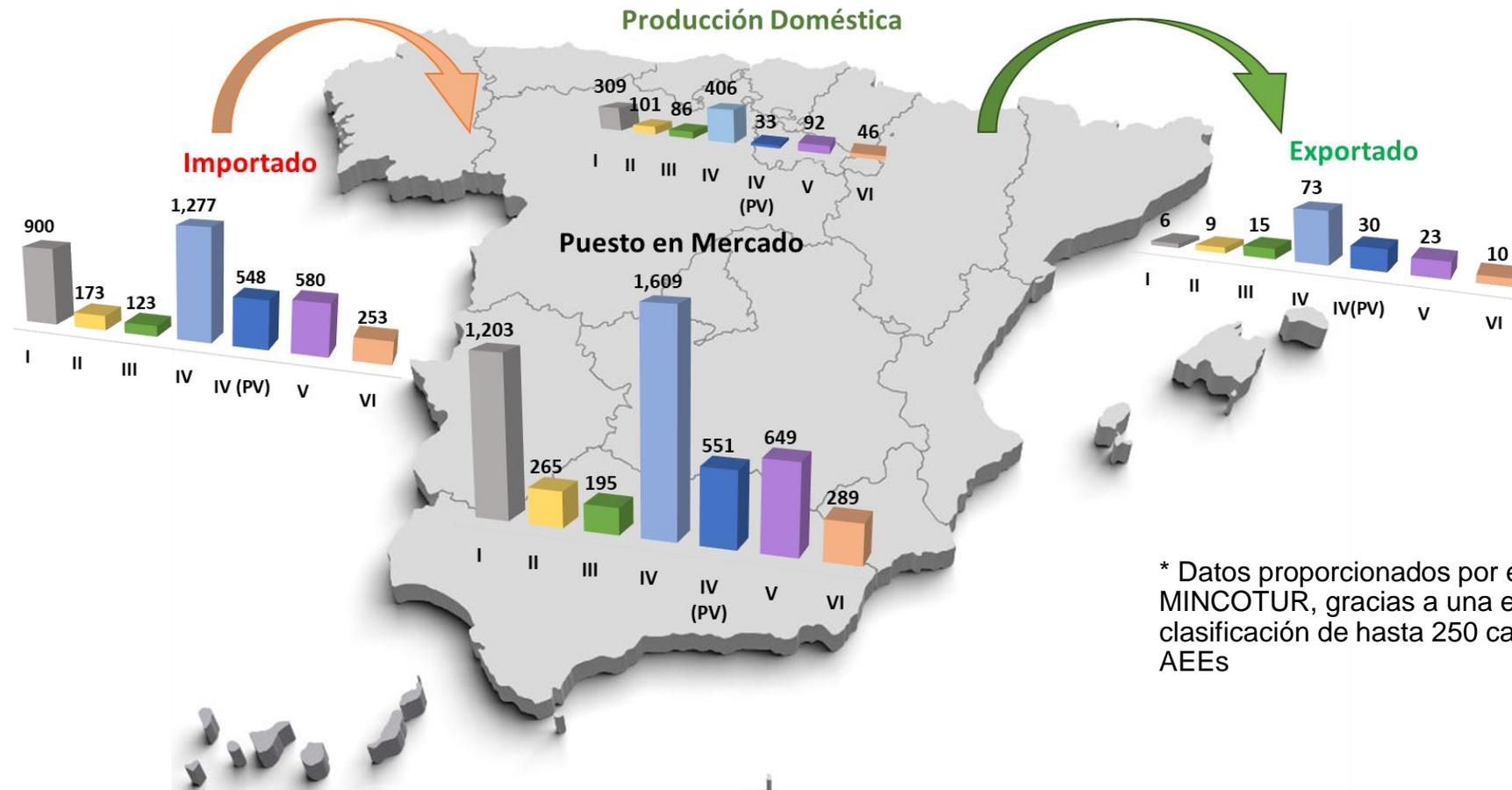
Proyecto **PID2020-116851RB-I00** financiado por:



1. ¿Cuántos RAEEs se ponen en el mercado en España?

- La mayoría de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) en España se importan (**81%**)*

Aparatos Eléctricos y Electrónicos, importados, exportados, producción doméstica y puesto en el mercado en kton (2016-2021)



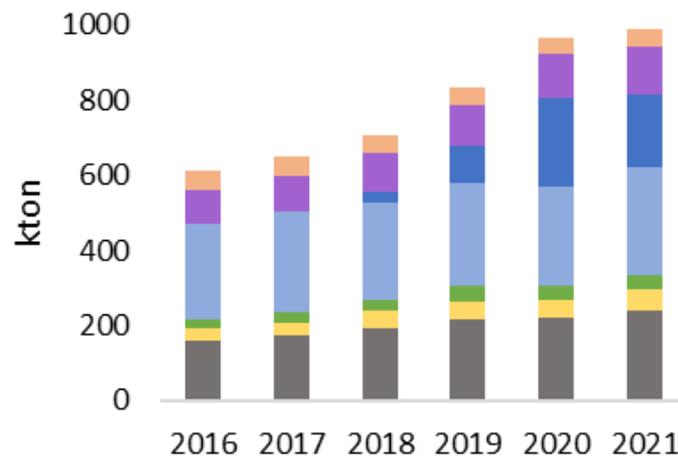
* Datos proporcionados por el MINCOTUR, gracias a una exhaustiva clasificación de hasta 250 categorías de AEEs

2. ¿Qué metales importantes están contenidos en dichos RAEEs?

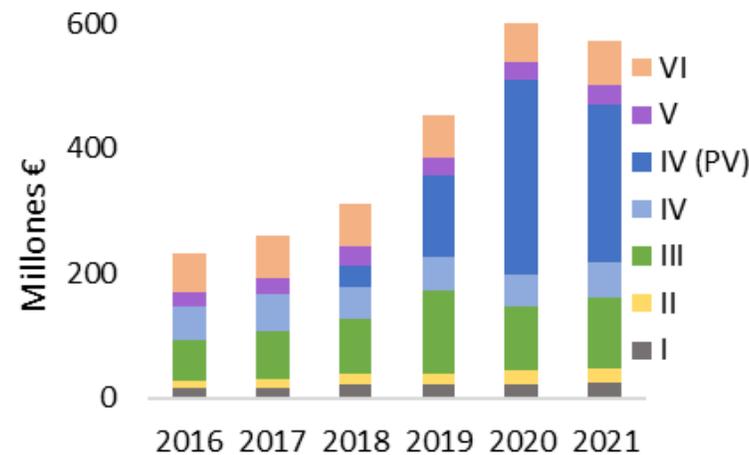
- Contienen una gran cantidad de **metales**, en continuo **crecimiento**:
 - 612 kton en 2016 → 981 kton en 2021 (+61%)
 - 232 millones € en 2016 → 573 millones € en 2021 (+147%)

Metales en Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) puestos en el mercado (PM), kton y € (2016-2021)

Metales en AEE PM 2016-2021 (kton)



Metales en AEE PM 2016-2021 (€)



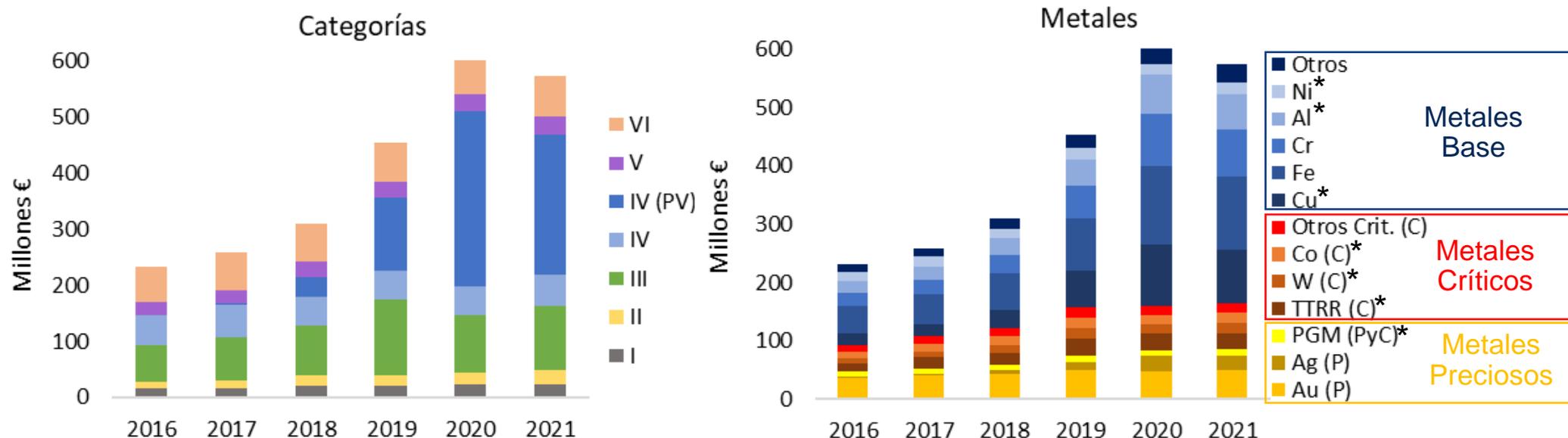
- I: Aparatos de intercambio de temperatura;
- II: Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas superficie superior a los 100 cm²;
- III: Lámparas;
- IV: Grandes aparatos (incluyen placas fotovoltaicas (PV));
- V: Pequeños aparatos;
- VI: Aparatos de informática y de telecomunicaciones pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm)

2. ¿Qué metales importantes están contenidos en dichos RAEEs?

Contienen una gran cantidad de metales, → muchos de ellos **Fundamentales y Estratégicos**:

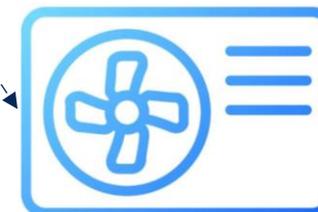
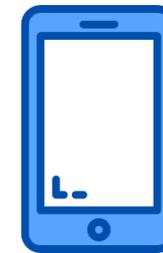
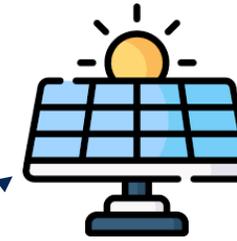
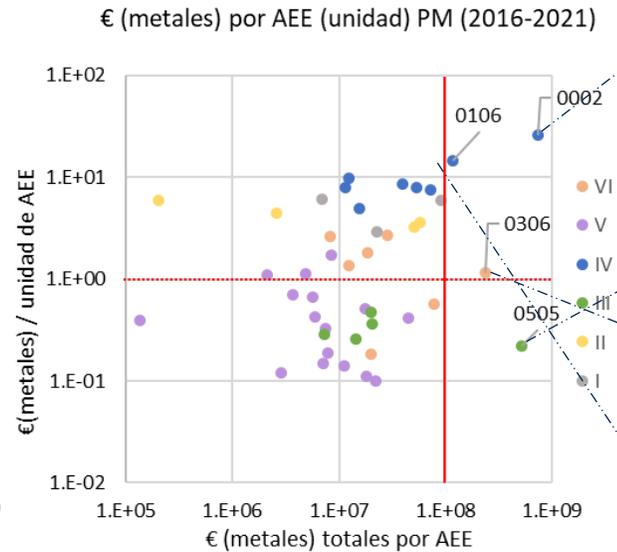
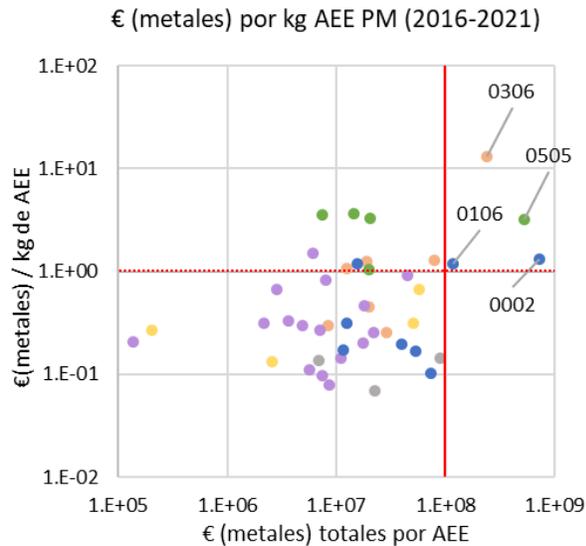
- **Críticos** (denominación 2020) → **20 kton** (460 millones €)
- **Fundamentales** (denominación 2023) → **118 kton** (1030 millones €) → se añaden cobre, aluminio y níquel
- Principales **Estratégicos***: Cobre, Aluminio, Níquel, Cobalto, Wolframio, Tierras Raras, Platino → **106 kton** (698 millones €)

Metales en Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) puestos en el mercado (PM) en € (2016-2021) por categorías y metales



*Los Estratégicos son un subgrupo dentro de los Fundamentales

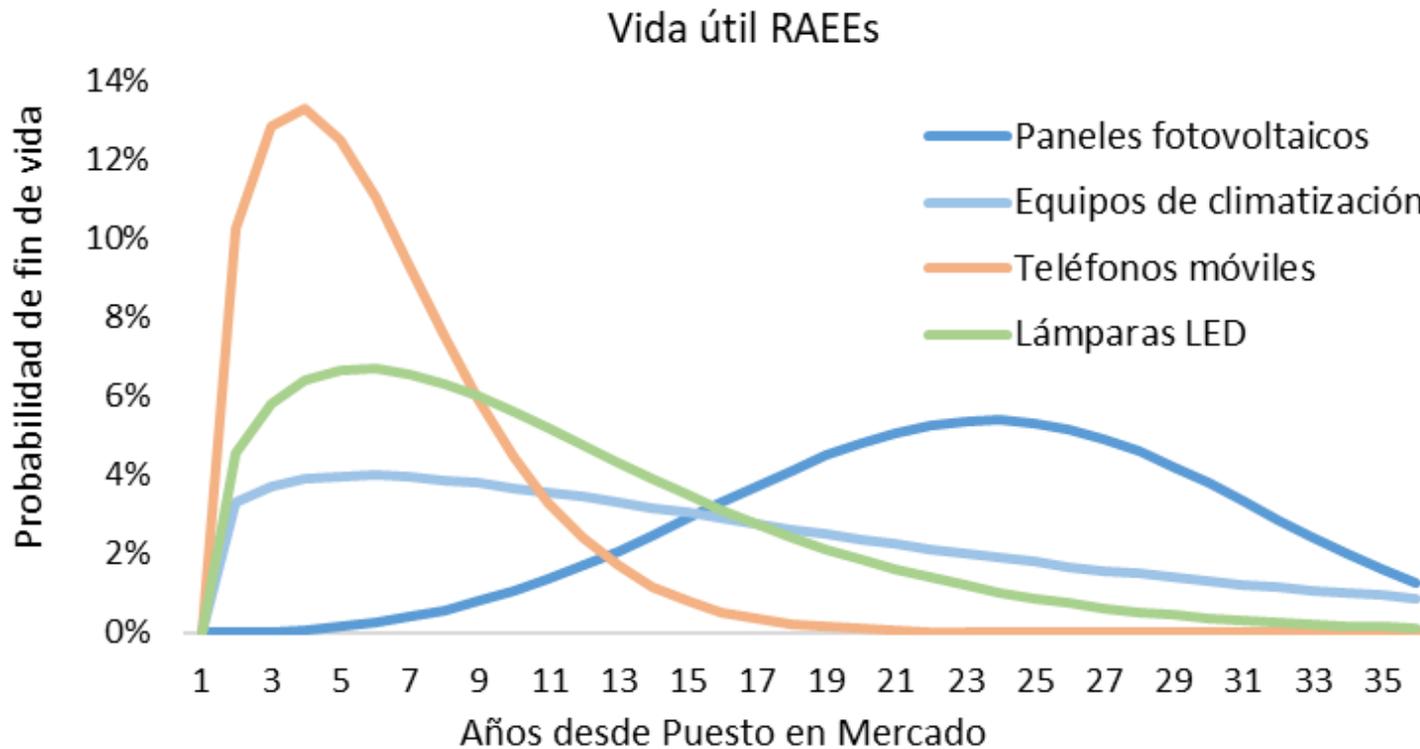
3. ¿Qué AEE son más valiosos según el contenido de sus metales?



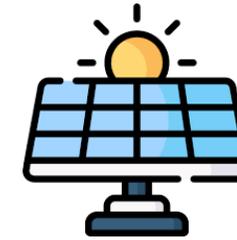
- Placas Fotovoltaicas
- Lámparas LED
- Teléfonos móviles
- Equipo de climatización
- Estos 4 AEE representan el **66% del valor total** de los metales embebidos en los AEE.

3. ¿Qué AEE son más valiosos según el contenido de sus metales?

- ¿Cuándo llegan al final de su vida útil?



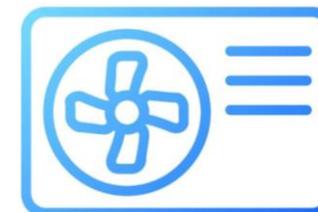
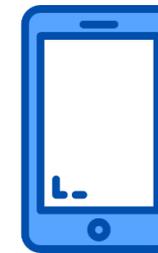
Importante para planificar las plantas de reciclado



- 60% en 24 años



- 60% en 5 años

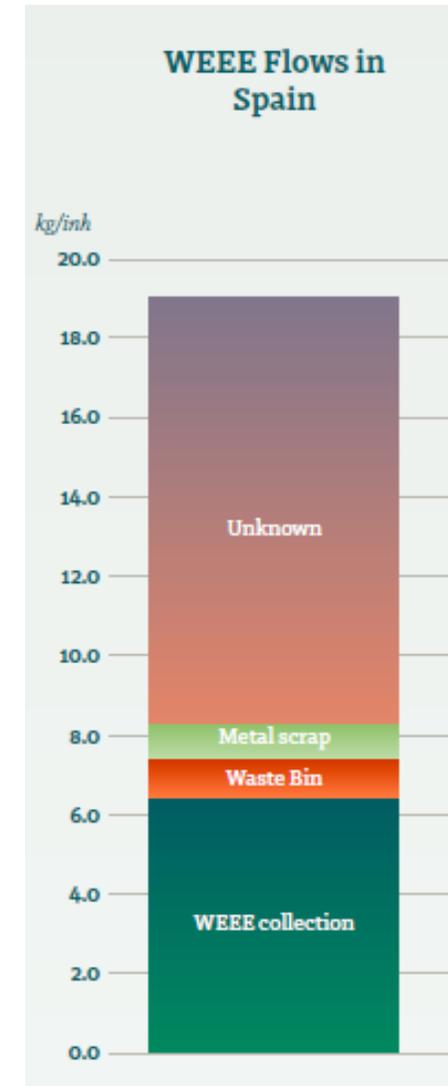


4. ¿Cuáles son sus tasas de recogida y reciclado actuales?

- Según el MITECO en **2020 se recogieron** en España 8.3 kg/hab → 390 kton.
 - Información está agregada en 7 categorías → no es posible conocer la composición metálica detallada.
- Según UNU* en 2020 se recogieron en España un 34% de los RAEE generados.
 - 10.7 kg/hab → **503 kton** son designadas como **desconocidas**.
 - No hay datos oficiales del potencial perdido o desconocido

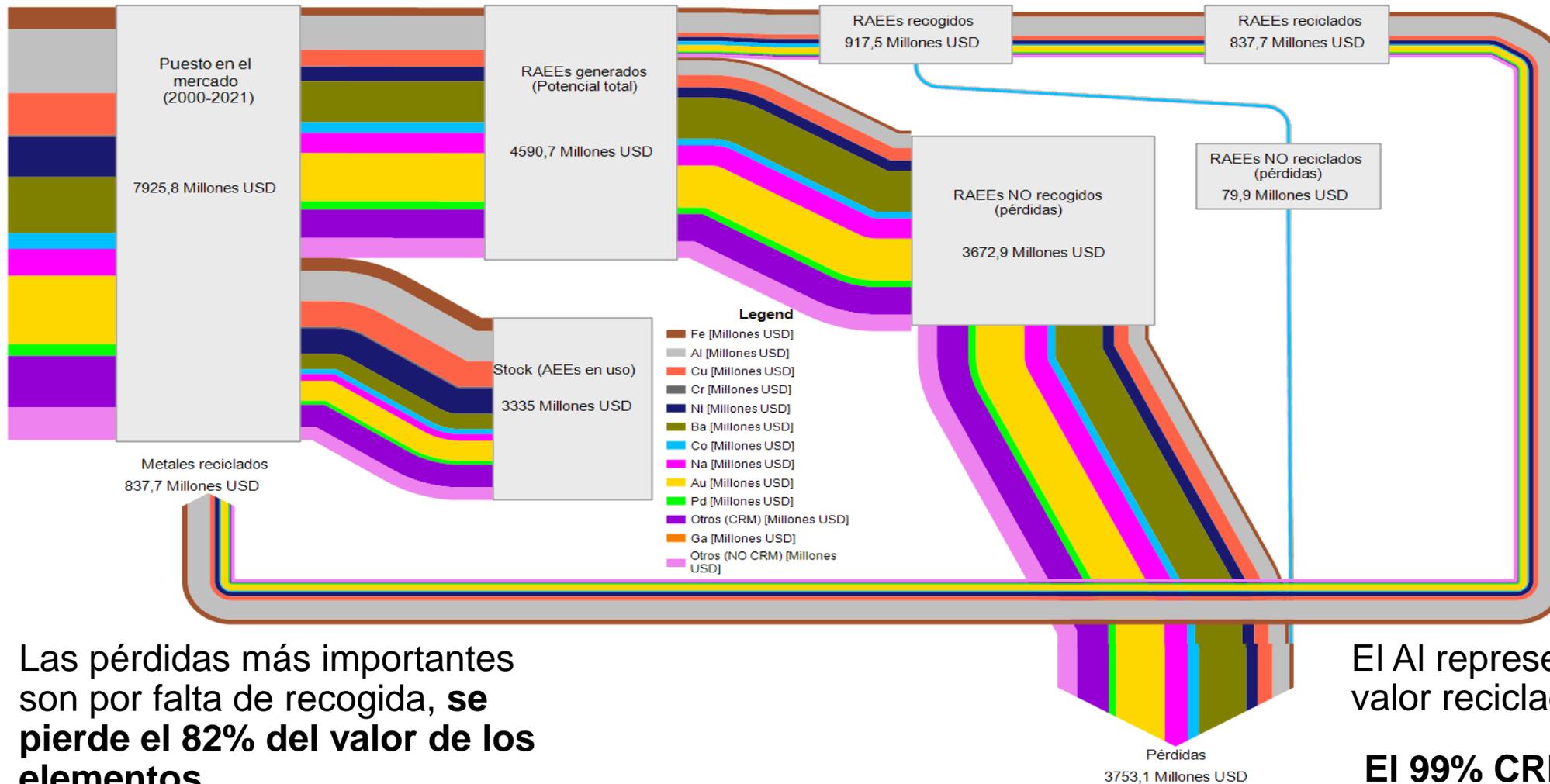
* Fuente:

C.P. Balde, M. Wagner, G. Iattoni, R. Kuehr, In-depth Review of the WEEE Collection Rates and Targets in the EU-28, Norway, Switzerland, and Iceland, 2020, United Nations University (UNU) / United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosting the SCYCLE Programme, Bonn, Germany.



4. ¿Cuáles son sus tasas de recogida y reciclado actuales?

RAEEs reciclados en USD (2000-2021)



Las pérdidas más importantes son por falta de recogida, **se pierde el 82% del valor de los elementos**

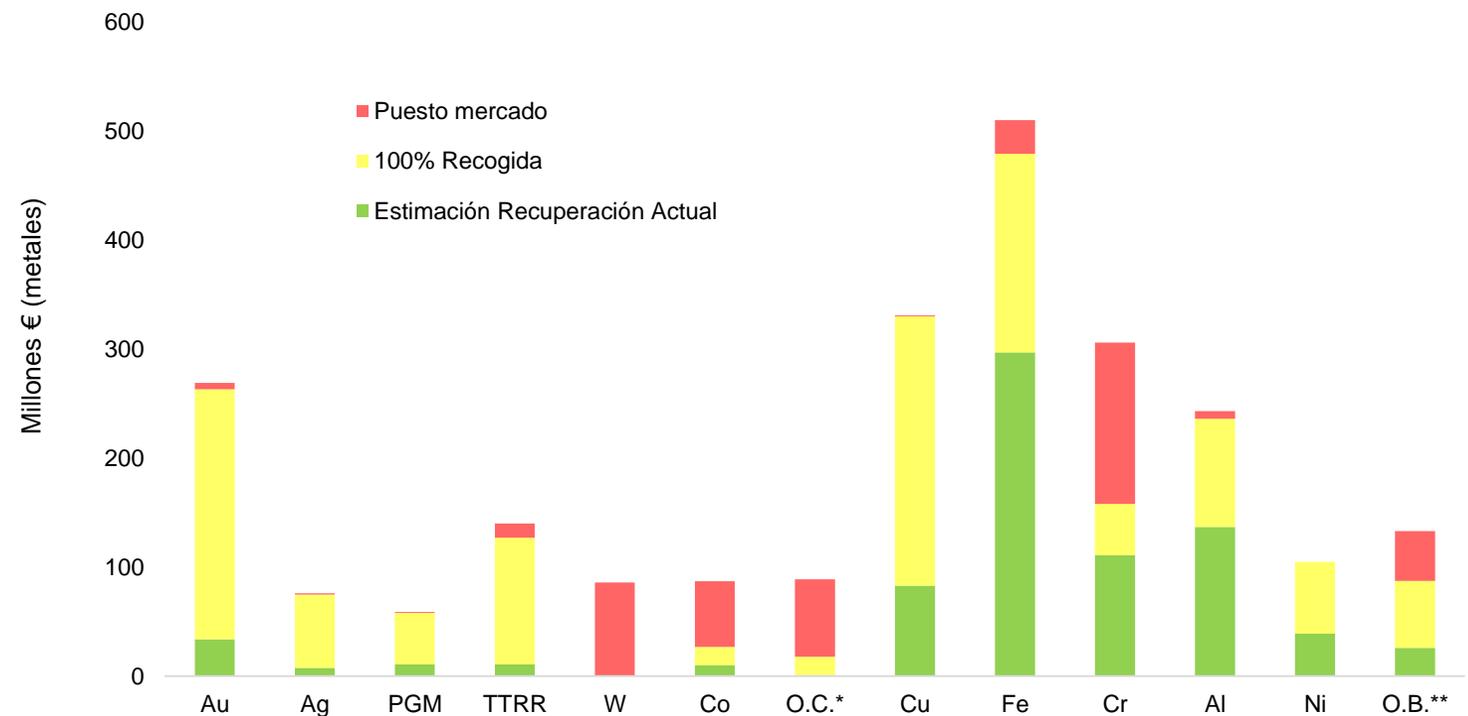
El Al representa el 50% del valor reciclado

El 99% CRMs (Co, Pd, Ga y Otros-CRM) se pierden

4. ¿Cuáles son sus tasas de recogida y reciclado potenciales?

- ¿Cuál es la situación estimada*?
 - Los metales **base** son los que más se recuperarían: Fe (58%), Al (56%), Ni (37%), Cr (36%), Cu (25%), (sólo Al, Ni y Cu son estratégicos).
 - Los metales **estratégicos** (a excepción de Al, Ni y Cu) son los que menos se recuperarían: Co (11%), tierras raras (8%), otros (1%).
 - Bajo un supuesto de **100% de recogida**, casi todos los metales alcanzarían una recuperación de más del 90%, a excepción del W, Co, Otros Críticos y Cr

Potenciales de recuperación de metales desde RAEEs (millones €)



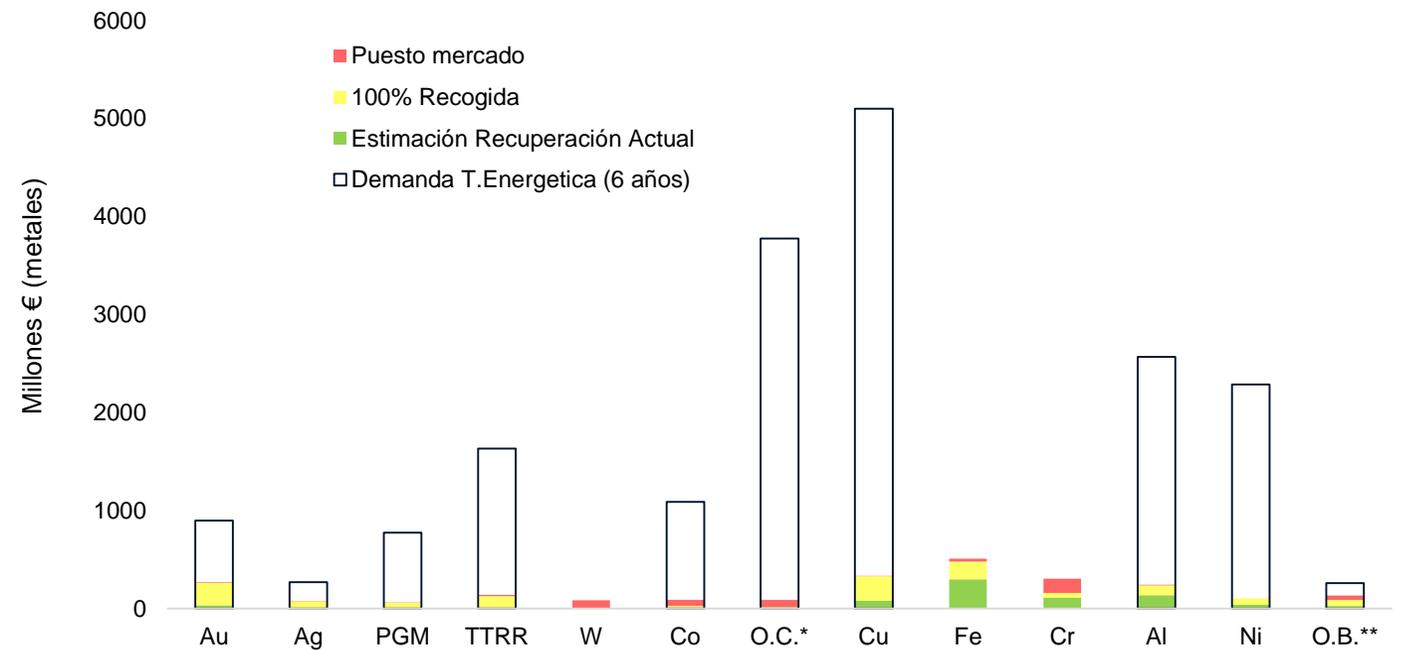
Metales embebidos en AEE en el periodo 2016-2021

* Estimada a partir de datos globales (Poncelet et al.) ante la ausencia de datos oficiales.

5. ¿Qué porcentaje de metales estratégicos podrían cubrir de las necesidades para desarrollar tecnologías limpias?

- Los RAEE podrían cubrir entre un **30%** de la futura demanda de oro y un **4.5%** de la de níquel.
- No obstante, existen otros residuos como los **vehículos** o las **baterías** que podrían ayudar a cubrir este hueco.

Potenciales de recuperación de metales desde RAEEs vs Demanda T.Energética (millones €)



Proyecto **TED2021-131397B** financiado por:

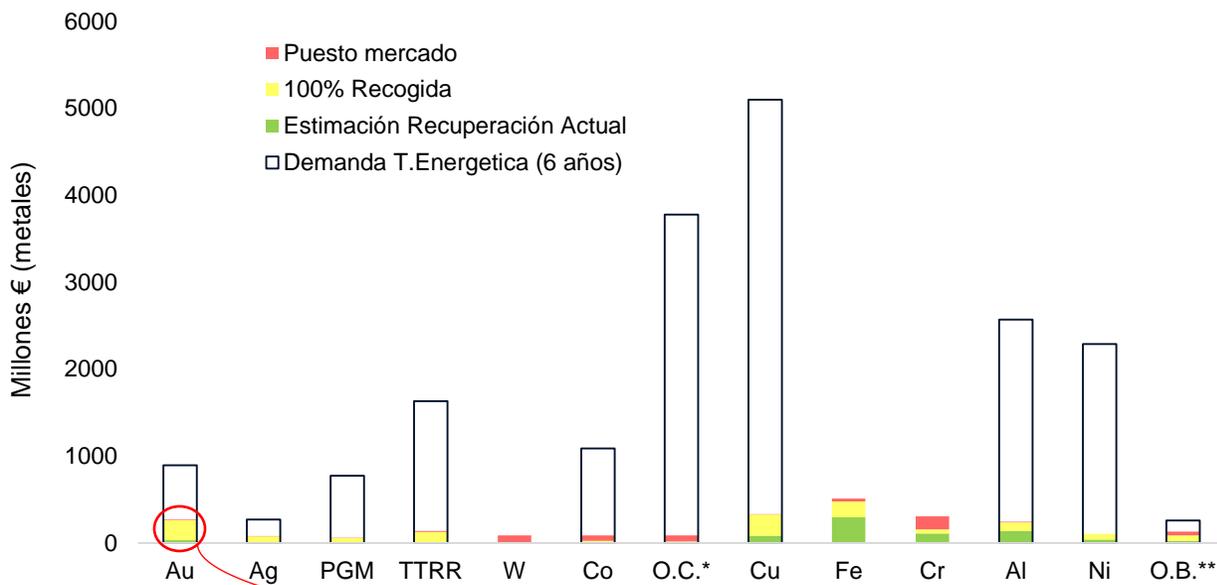


Proyecto **PID2020-116851RB-I00** financiado por:

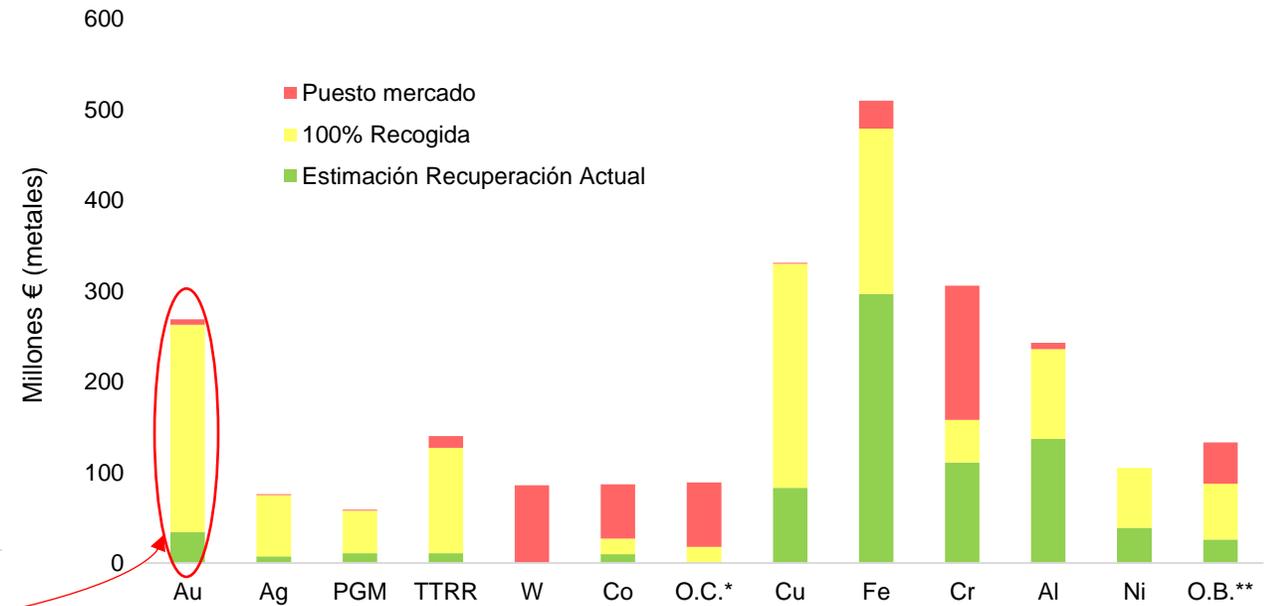


5. ¿Qué porcentaje de metales estratégicos podrían cubrir de las necesidades para desarrollar tecnologías limpias?

Potenciales de recuperación de metales desde RAEEs vs Demanda T.Energética (millones €)



Potenciales de recuperación de metales desde RAEEs (millones €)



Proyecto **TED2021-131397B** financiado por:



Proyecto **PID2020-116851RB-I00** financiado por:



6. ¿Qué actuaciones deberían realizarse para poder alcanzar una mayor recuperación de dichos metales estratégicos en España?

1. Mejorar la trazabilidad de RAEEs

- Etiquetado adecuado, tecnología blockchain
- Aumentar desagregación categorías de RAEEs
- Realizar un diagnóstico preciso

2. Aumentar la recogida de RAEEs

- Impulsar instrumentos legales para incentivar la recogida
- El 66% de los RAEEs no se recogen (su paradero es desconocido)
- Sólo mejorando la recogida se podrían alcanzar tasas de recuperación de más del 90% para muchos metales

6. ¿Qué actuaciones deberían realizarse para poder alcanzar una mayor recuperación de dichos metales estratégicos en España?

3. Desarrollar plantas adecuadas para recuperación de metales críticos y fundamentales con financiación público-privada
 - Mejorar las plantas existentes para que puedan recuperar estos metales
 - Aumentar el número de plantas
4. Favorecer un mercado de MMPP secundarias
 - Establecer mínimos de recuperación por elemento
 - Establecer mínimos de MMPP reciclada en nuevos productos (empezando por licitaciones públicas, por ejemplo)
 - Fomentar la simbiosis industrial



Redol

ARAGON'S REGIONAL HUB
FOR CIRCULARITY

Problem

Only 45% of Solid Urban Waste is recycled

Objectives

Recycle 65% of Solid Urban Waste by 2030 in Zaragoza

Solution

- Redesign 5 value chains for Solid Urban Waste in Aragon (packaging, plastics, CDW, textiles, WEEE)
- Improve collection, sorting and classifying of SUW
- Avoid landfilling
- Optimize value chains and interaction among key players

Key facts

 **17,134,767.13 €**
project cost

 **14,214,752.03 €**
EU funding

 **4**
years

 **36**
partners

 **12**
countries



Funded by
the European Union

GRACIAS POR VUESTRA ATENCIÓN



Alicia Valero

aliciavd@unizar.es