

# Disponibilidad de recursos y su impacto en la transición energética

Alicia Valero  
Cádiz Julio 2025

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

Tfno. (+34) 976762145/ 976762950 / web: <https://energaia.unizar.es> / email: [energaia@unizar.es](mailto:energaia@unizar.es)

¿Energías renovables= ↓CO<sub>2</sub>?

## Economía fósil



## Economía descarbonizada



¿Energías renovables= ↓ CO<sub>2</sub>?



- Emisiones (kg-CO<sub>2</sub>/MWh) → 20 vs 408



### PERO:

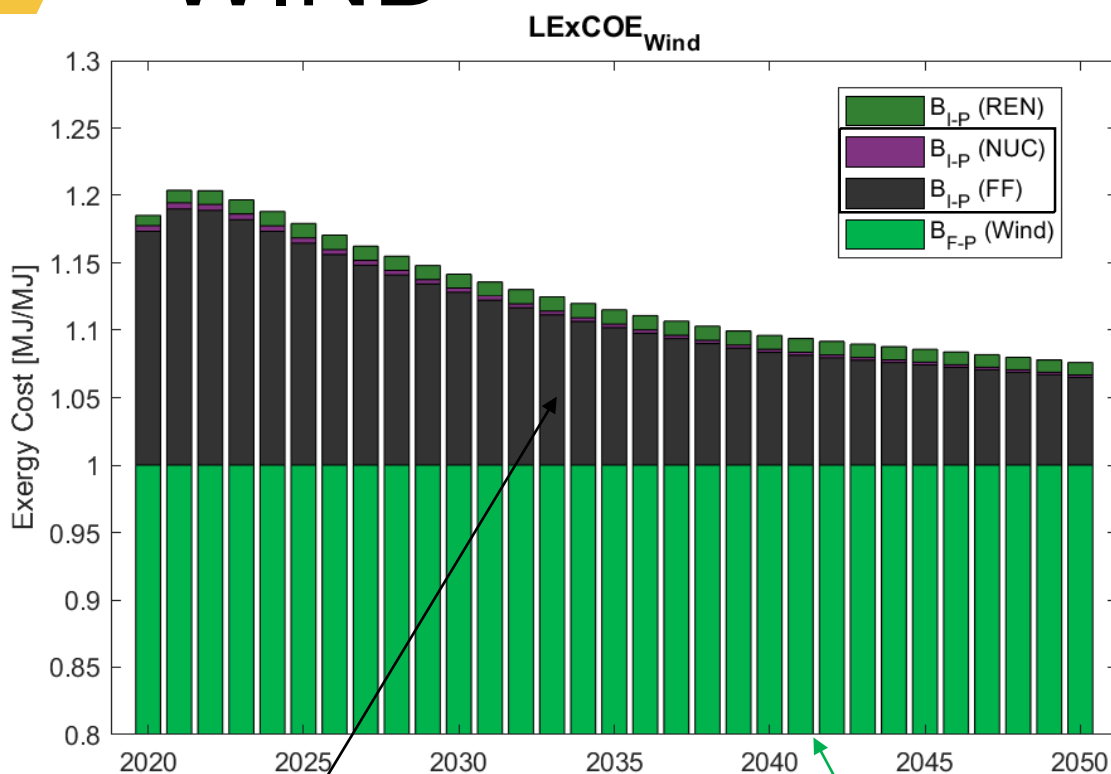
+ Materiales (kg/MWh) → 8 vs 0.3

+ Energía minería (MJ/MWh) → 431 vs 8.3

+ Residuos materiales (kg/MWh) → 8 vs 0.3



# Levelized Exergy cost of electricity (LExCOE) WIND



*LExCOE* wind: disaggregated:

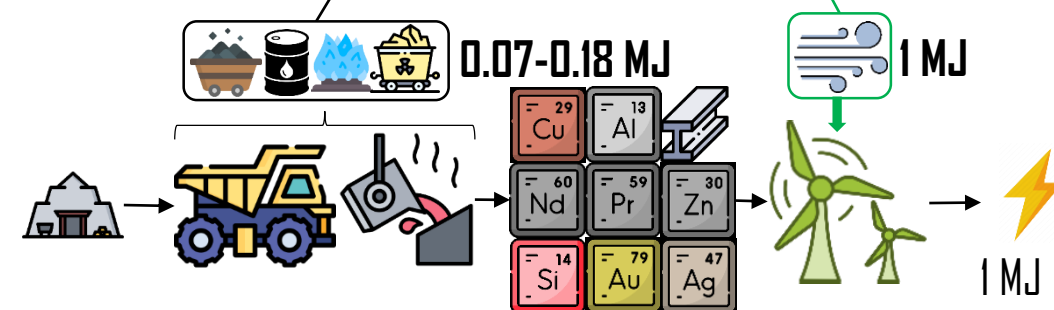
- Renewable:
  - Fuel (always renewable)
  - Infrastructure (renewable electricity embodied in the materials of infrastructure)
- Non-Renewable:
  - Infrastructure (fossil, nuclear)

1 MJ of renewable electricity from wind requires:

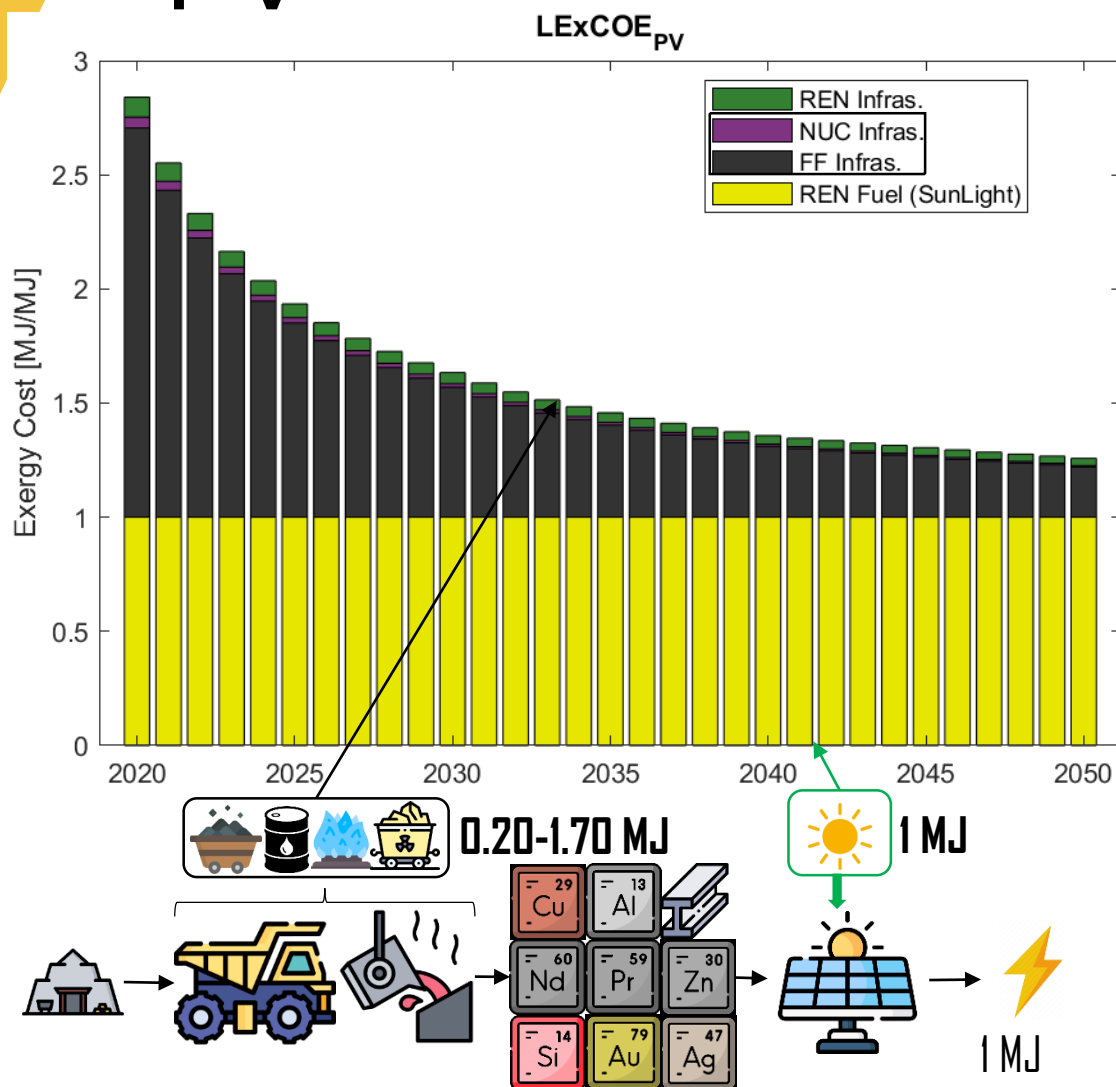
- MJ of renewable wind **1 MJ**
- MJ of non-renewable infrastructure **0.07 – 0.18 MJ**

*LExCOE* decreases with time:

- Decrease of material intensity
- Amortization of the infrastructure



# Levelized Exergy cost of electricity (LExCOE) PV



LExCOE<sub>PV</sub>: disaggregated:

- Renewable:
  - Fuel (always renewable)
  - Infrastructure (renewable electricity embodied in the materials of infrastructure)
- Non-Renewable:
  - Infrastructure (fossil, nuclear)

1 MJ of renewable electricity from PV requires:

- MJ of renewable wind 1 MJ
- MJ of non-renewable infrastructure 0.20 – 1.70 MJ

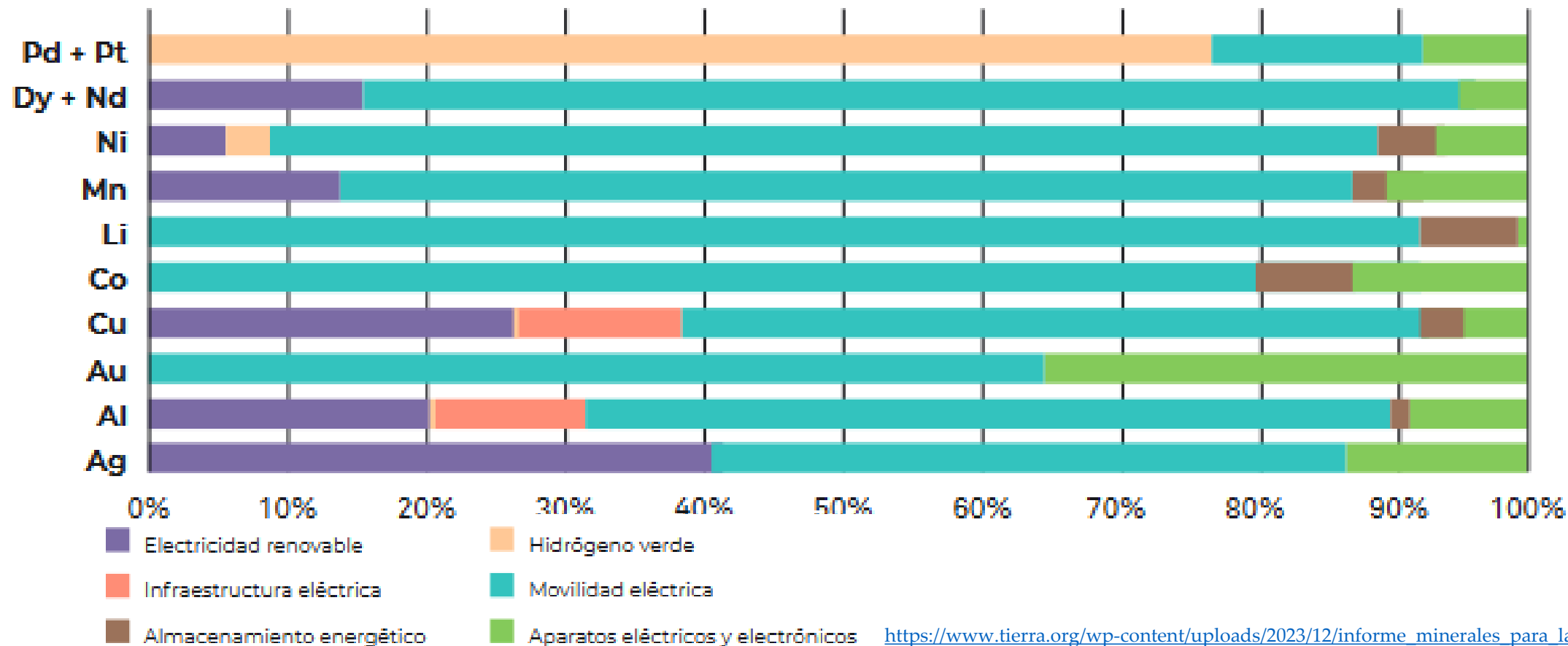
LExCOE decreases with time:

- Decrease of material intensity
- Amortization of the infrastructure

Las renovables son las principales  
devoradoras de MMPP

# El caso del territorio español

Distribución según tecnologías de la demanda acumulada de metales 2020-2050



[https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2023/12/informe\\_minerales\\_para\\_la\\_Transicion.pdf](https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2023/12/informe_minerales_para_la_Transicion.pdf)

Las renovables son las principales  
devoradoras de MMPP



Los **vehículos eléctricos** dominan la demanda de metales:

- 54-58% del aluminio y cobre
- 73-92% de manganeso, cobalto, níquel, litio
- 79% de tierras raras (Dy+Nd)

El hidrógeno verde:

- 77% del grupo de los platinos



=

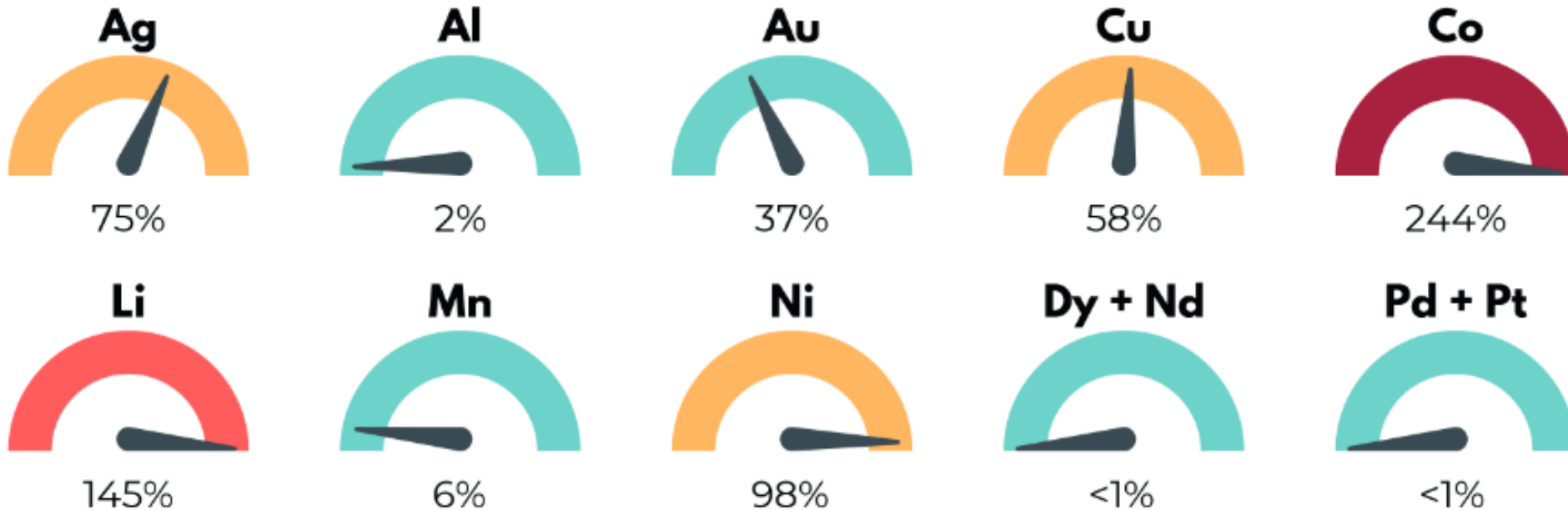


Hay suficientes MMPP para la  
transición energética

# El caso del territorio español

Distribución según tecnologías de la demanda acumulada de metales 2020-2050

## Escenario de transición sin mejoras en la recogida y reciclaje



Población de España:  
0,6% población  
mundial → **Fracción  
equitativa de las  
reservas globales:**  
0,6% de las reservas  
(USGS, 2022)

# El caso del cobre: Algunos datos

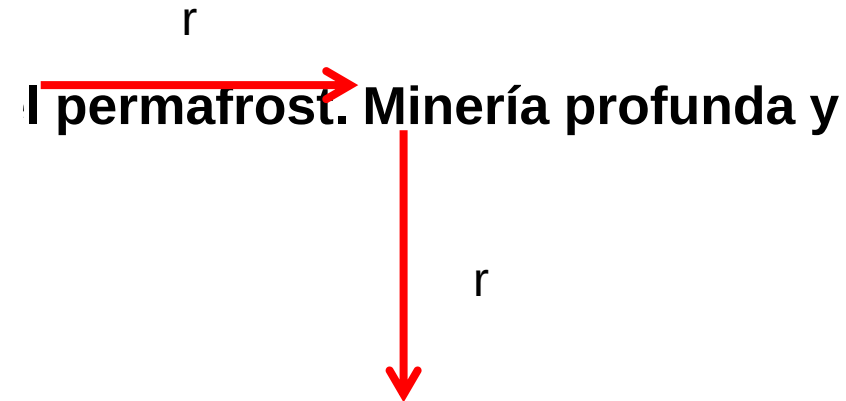
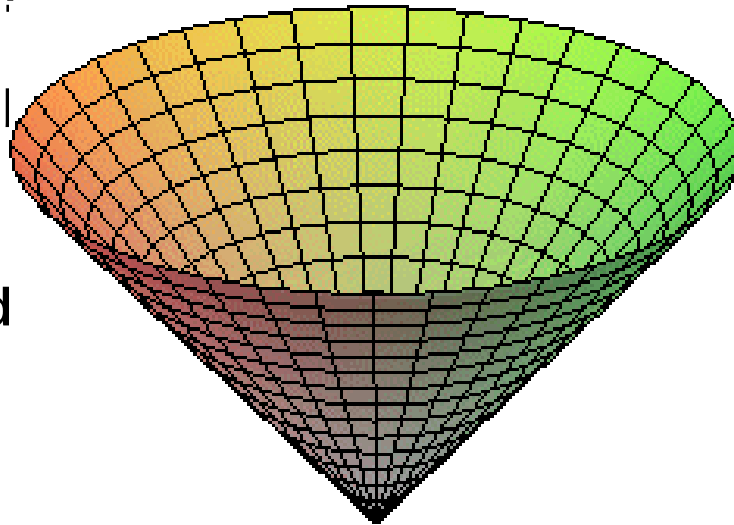
- 4 veces más de Cu en un BEV que en un ICE y 12 veces más en la eólica que una central térmica.
- Para 2035 se duplicará la demanda => Para cubrir las necesidades, se necesita descubrir 1 “Escondida” por año durante los próximos 20 años!
- China necesita el 50% de esta demanda y los nuevos descubrimientos los controla Asia.
- Los descubrimientos de nuevos yacimientos se han reducido dramáticamente en los últimos años (Pasaron de 50 Mt/año a 8Mt/año en 10 años!!).
- 80% de las nuevas reservas son por reclasificación de yacimientos. => pico en los próximos años



La Escondida: Mayor mina de Cu del mundo. Fuente:  
<https://camiper.com>

# ¿ Puede el planeta absorber todos los impactos ambientales asociados al desarrollo humano?

- La reducción de la concentración mineral implica un impacto ambiental mayor. Los frutos más accesibles ya se han cosechado. => Una profundidad de “r” implica una extracción de  $\frac{1}{3}\pi r^3$ .
- El efecto Nimby!
- Áreas remotas, |  
oceánica.
- Países en vías d



Hay suficientes MMPP para la  
transición energética



El reciclaje puede sustituir a la  
minería

# El caso del territorio español

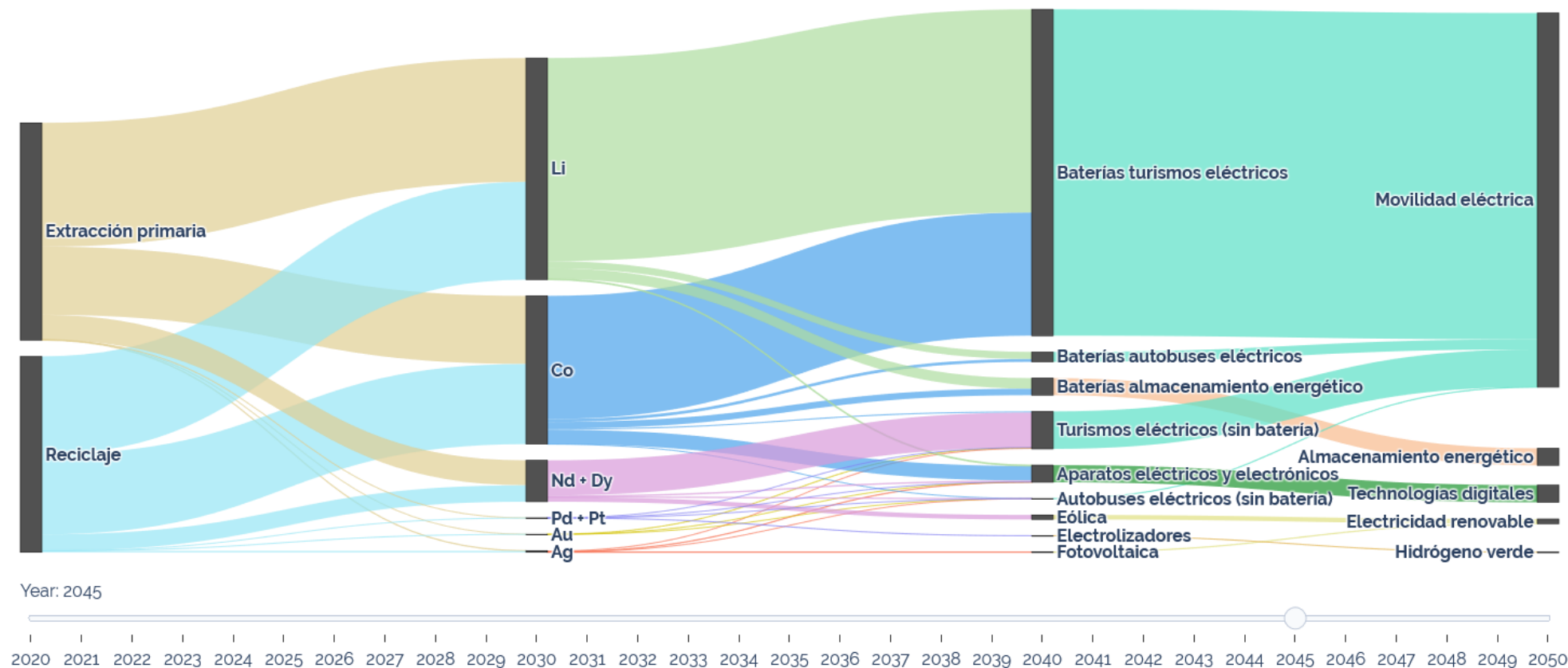


Instituto Universitario de Investigación Mixto de la  
Energía y Eficiencia de los  
Recursos de Aragón  
Universidad Zaragoza

Demanda anual [t]

Lallana, Torrubia & Valero (2023). Metals for energy & digital transition in Spain: demand, recycling and sufficiency alternatives

El reciclaje  
cubre el ~57% de  
la demanda en  
2050



El reciclaje puede sustituir a la  
minería

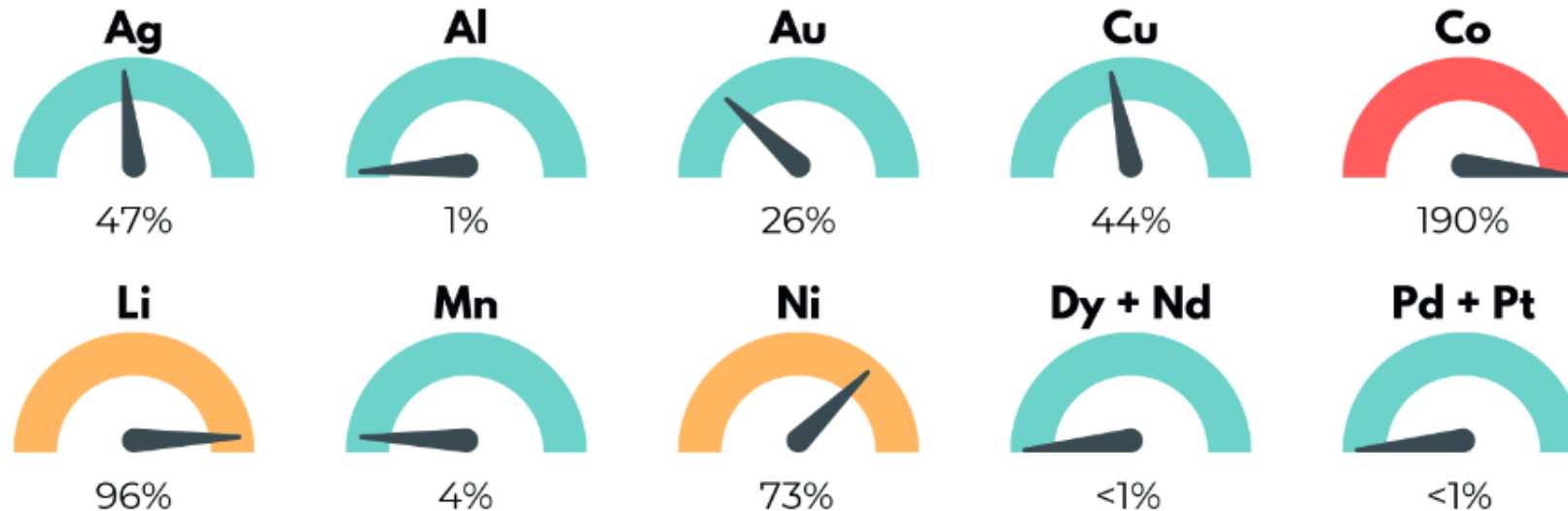


El reciclaje superar los cuellos de  
botella esperados para 2050

# El caso del territorio español

Distribución según tecnologías de la demanda acumulada de metales 2020-2050

## Escenario de transición



Población de España:  
0,6% población  
mundial → **Fracción  
equitativa de las  
reservas globales:**  
0,6% de las reservas  
(USGS, 2022)

El reciclaje puede superar los  
cuellos de botella esperados para  
2050



¿Cuánto de circular es la economía  
circular?

# 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

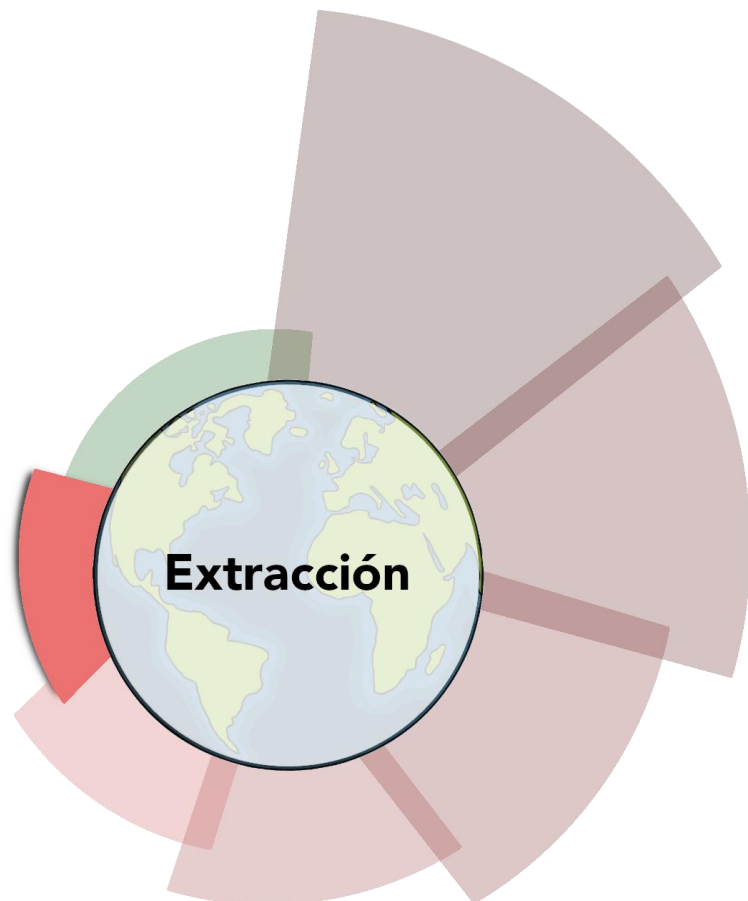
Mina Turquoise Ridge (Nevada, EEUU)

# Ejemplo TOKYO 2020

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

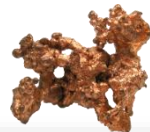


# LA MOCHILA DE RECURSOS DE LOS PRODUCTOS



# Consumo energético total (GJ/t vs. ley)

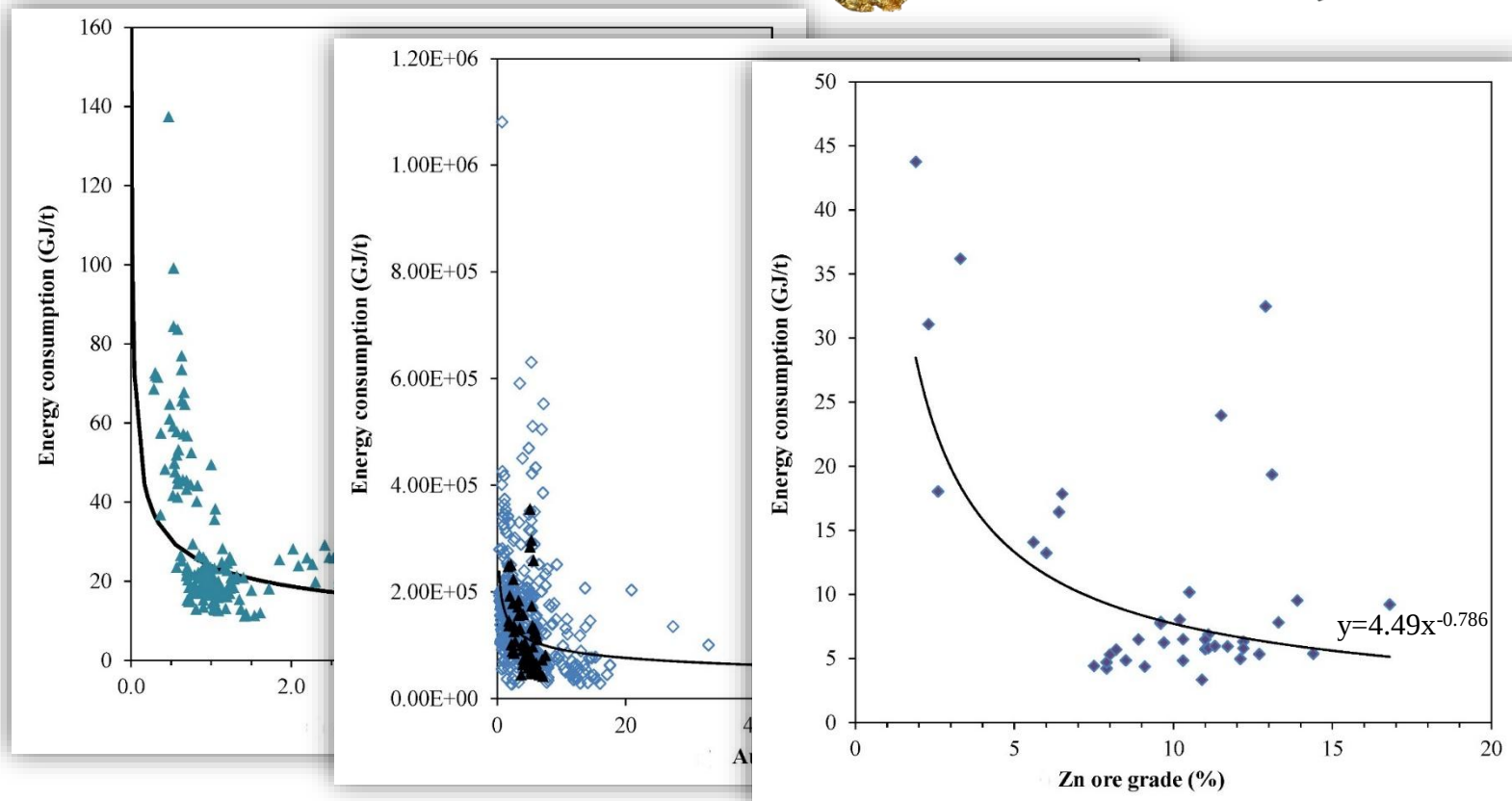
Cobre



Oro



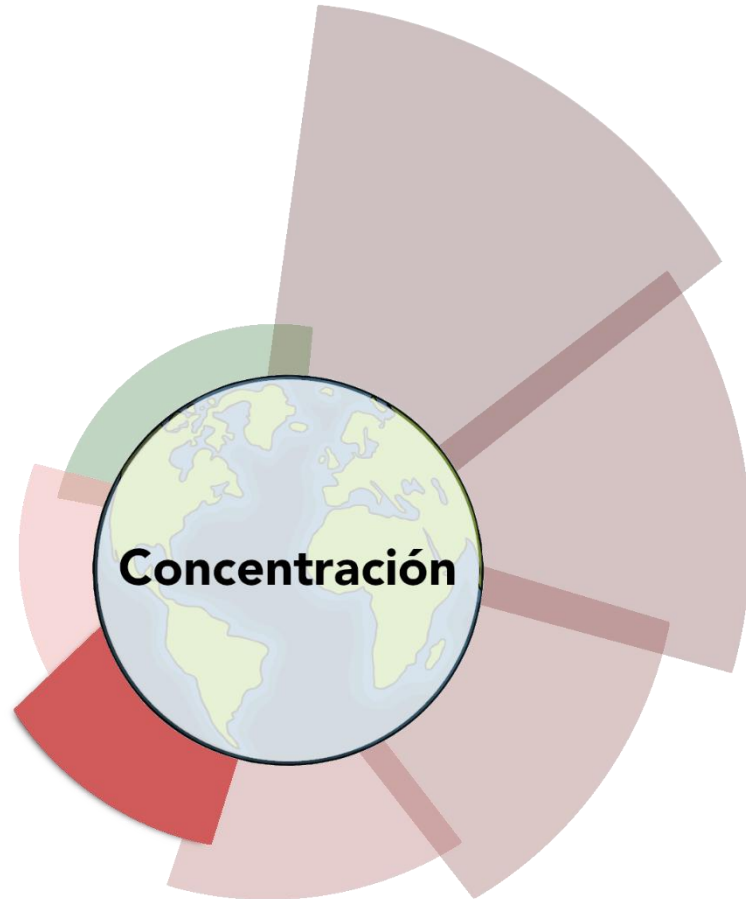
Cinc



La extracción crea escasez!

La energía asociada a la minería (basada en combustibles fósiles) va a aumentar y con ello las emisiones!

# LA MOCHILA DE RECURSOS DE LOS PRODUCTOS



# El impacto ambiental aumenta...

Mina Grasberg (provincial de Papúa, Indonesia):  
la mayor mina de oro del mundo



- 1,6 km de diámetro de cráter
- 80 toneladas de Oro en 2018

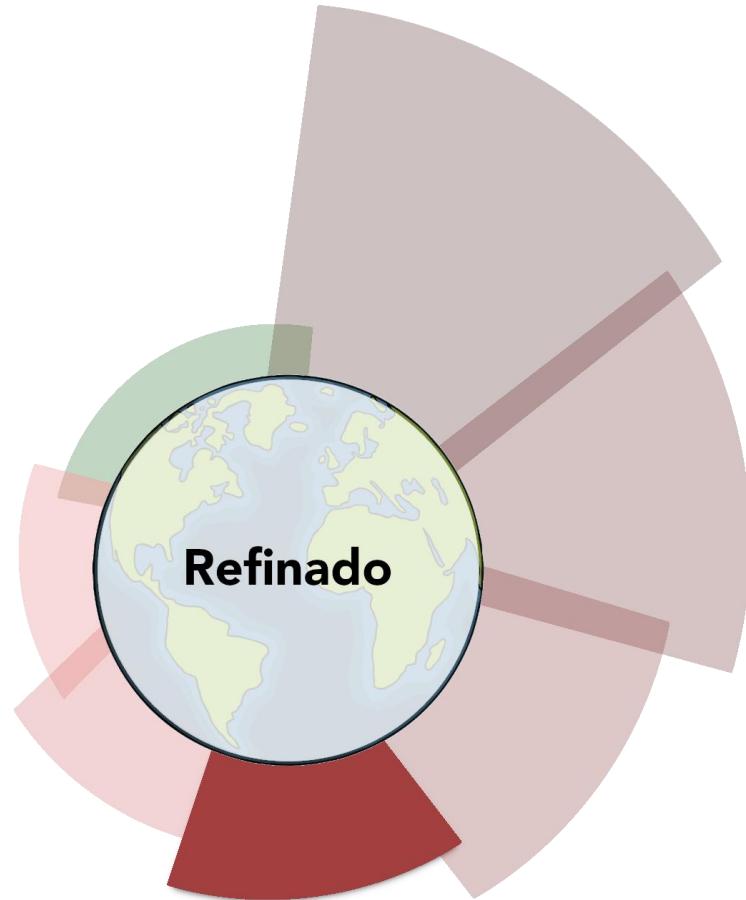


El violeta oscuro en el  
río es producto del  
material de los  
residuos de la mina  
(Fotografía de 2003)

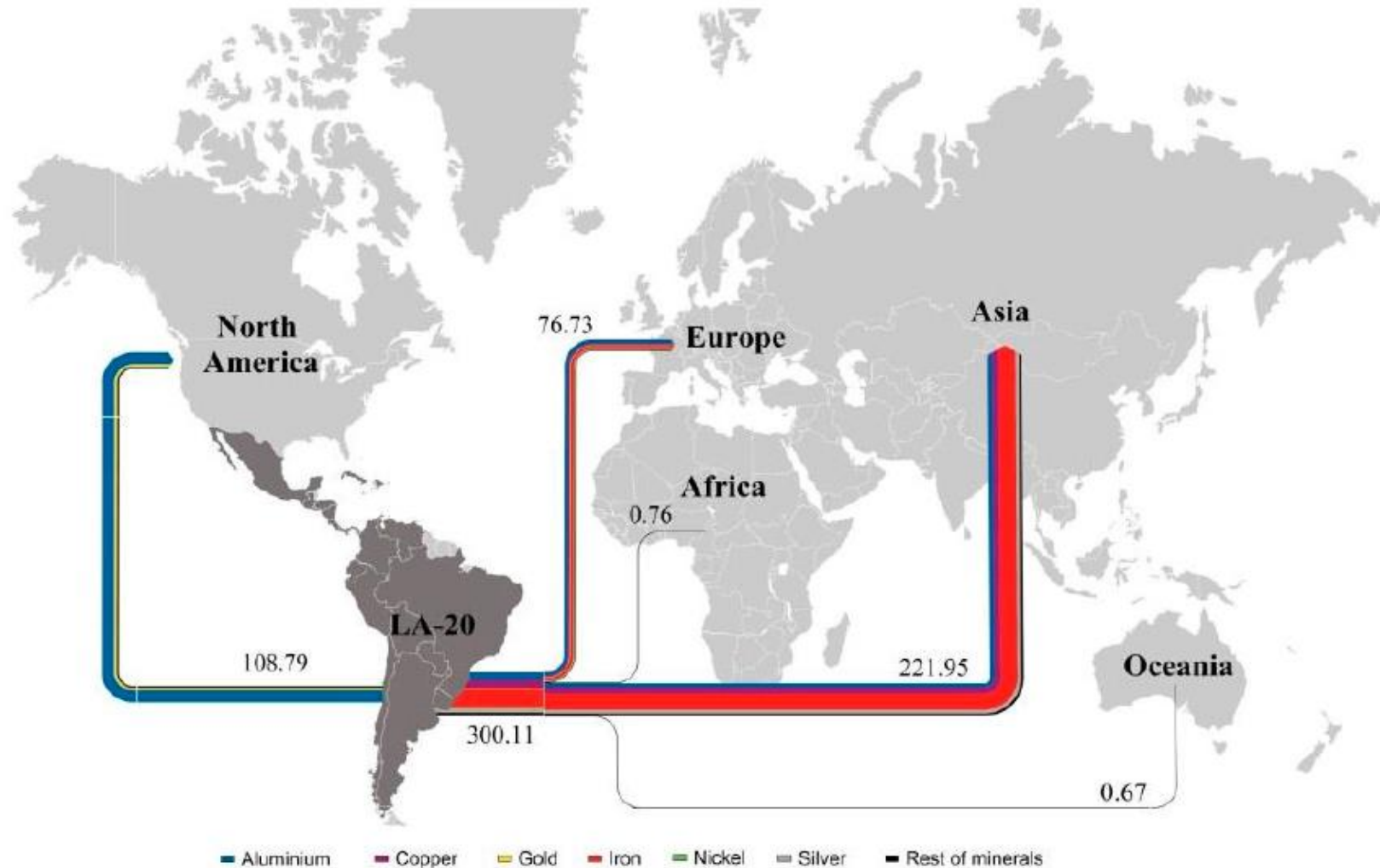
Los peces del río  
Aikwa casi han  
desaparecido

Emisiones de CO2

# LA MOCHILA DE RECURSOS DE LOS PRODUCTOS



# Exportaciones de MMPP desde LA en Mtoe (2013)



## China prohíbe las exportaciones de minerales críticos a EE. UU.

La medida intensifica la guerra en la cadena de suministro y se produce un día después de que el gobierno de Biden ampliara las restricciones a la venta de tecnología avanzada estadounidense a China.



China, que produce casi todo el suministro mundial de minerales críticos, ha ido reforzando su control sobre estos materiales. Wu Changqing/VCG, via Getty Images

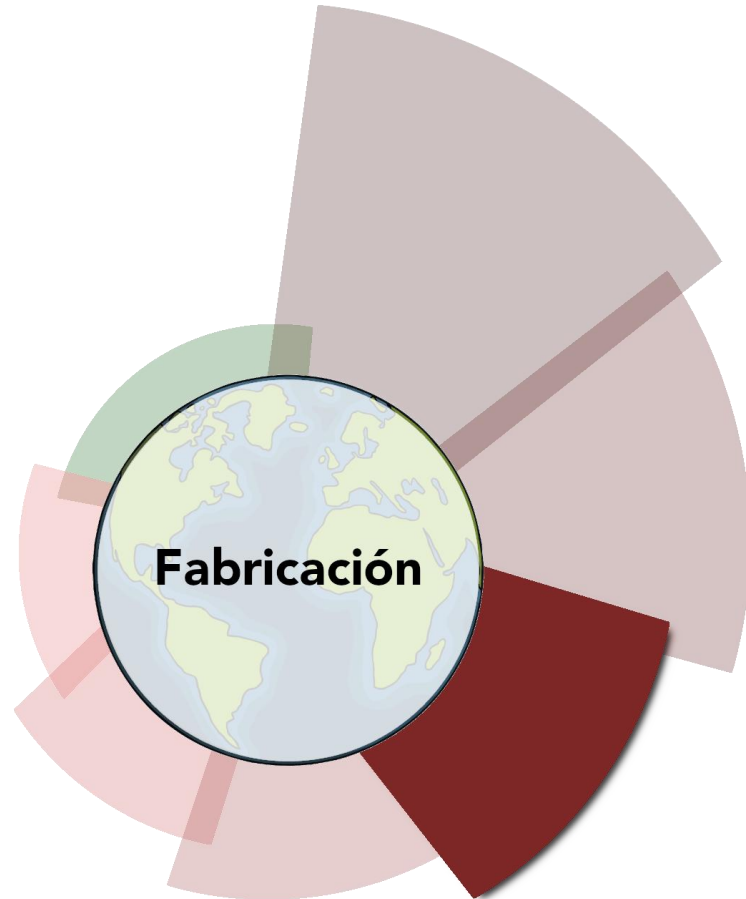
galio y germanio - semiconductores

antimonio- explosivos

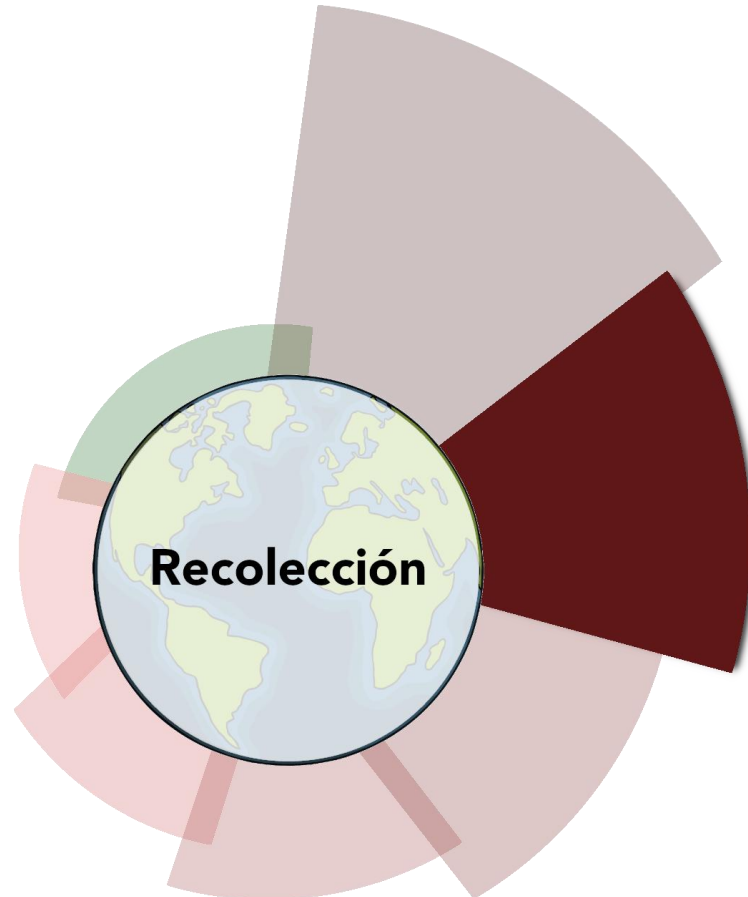
wolframio- munición

China vigila la cadena de suministro de muchas MMPP (ej. Tierras raras) que exporta, prohibiendo determinadas aplicaciones.

# LA MOCHILA DE RECURSOS DE LOS PRODUCTOS

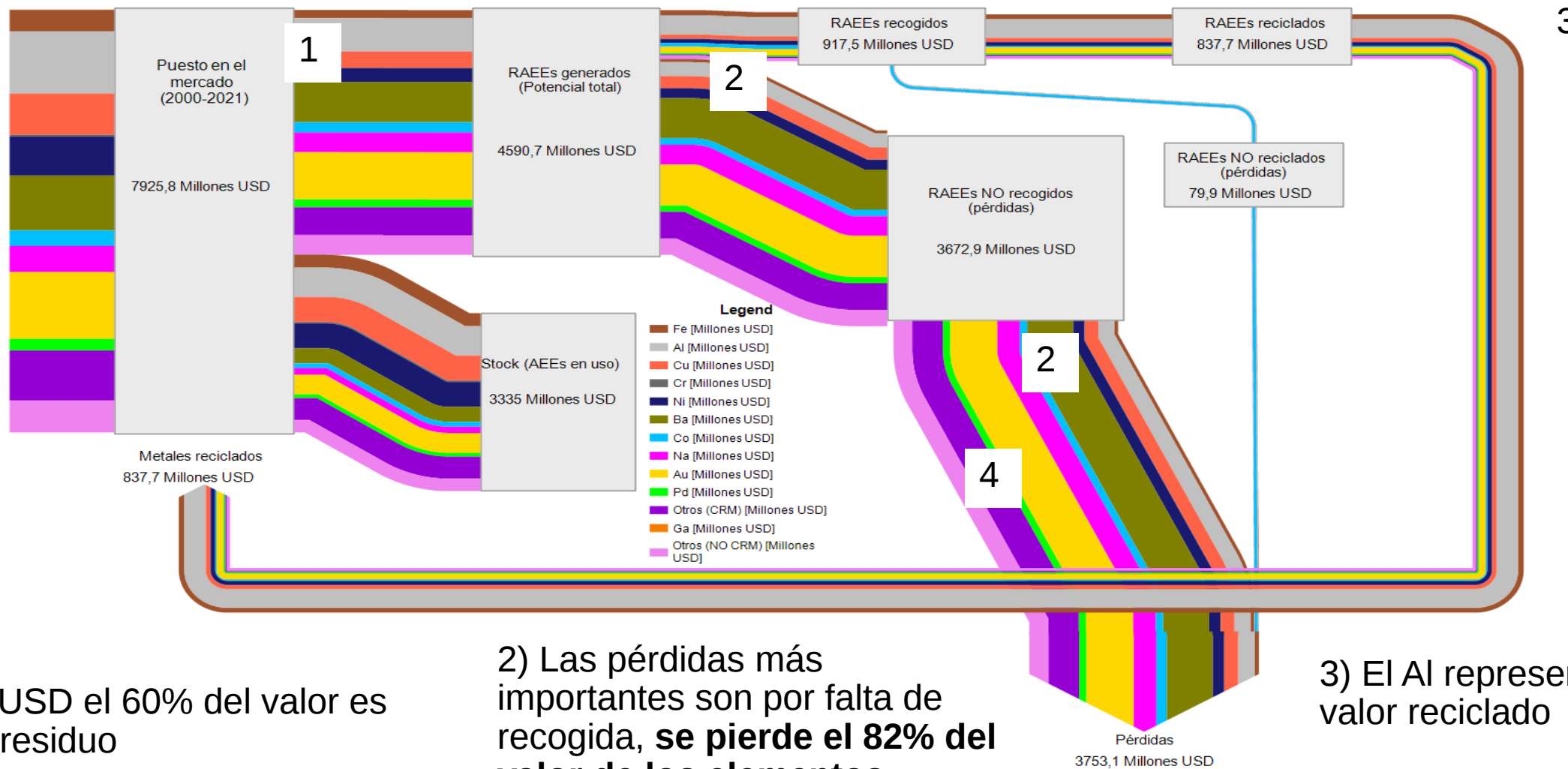


# LA MOCHILA DE RECURSOS DE LOS PRODUCTOS



# ¿Cuánto se recicla en España?

## RAEEs reciclados en USD (2000-2021)



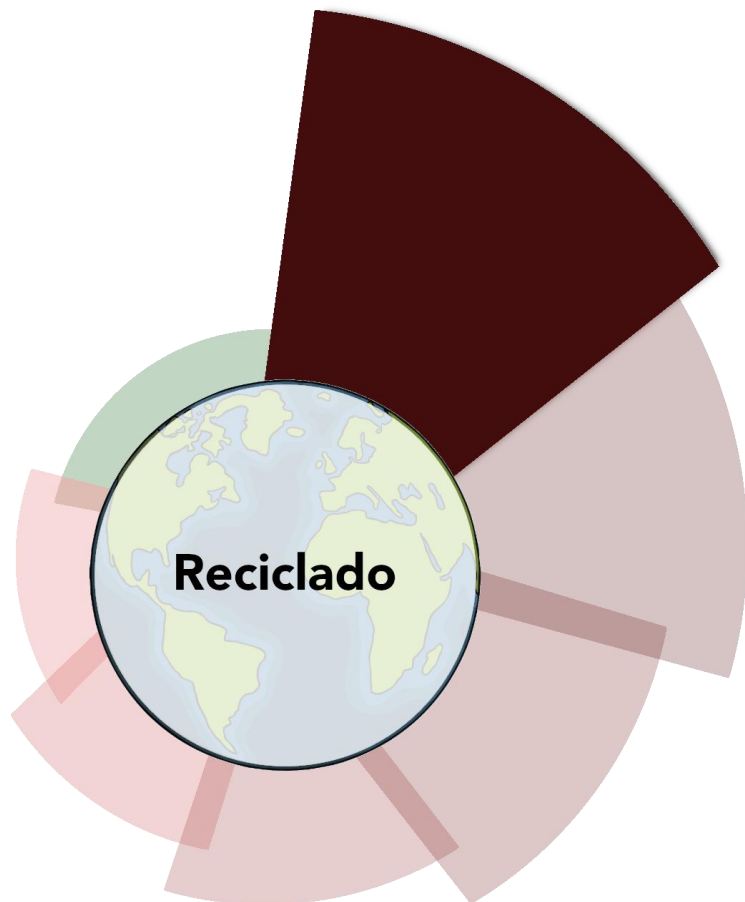
1) En USD el 60% del valor es ya un residuo

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

3) El Al representa el 50% del valor reciclado

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

# ECONOMÍA ESPIRAL



# Quimiodiversidad en nuevas tecnologías

## TENDENCIA:

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

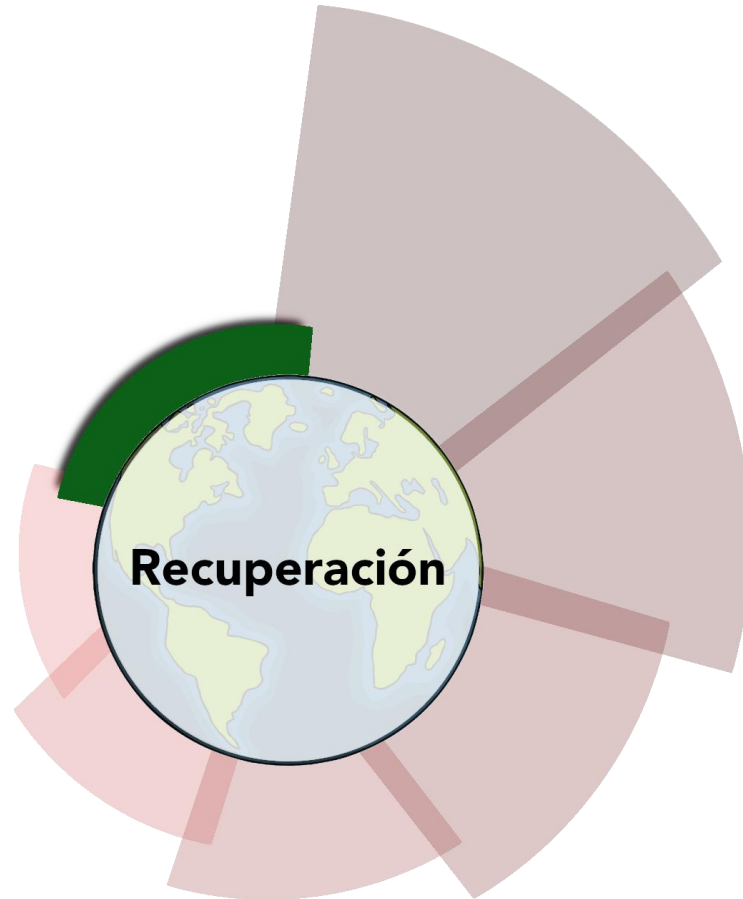


**IMPOSIBLES DE RECICLAR FUNCIONALMENTE!**

# ¿Se pueden recuperar todos los metales?



# LA MOCHILA DE RECURSOS DE LOS PRODUCTOS

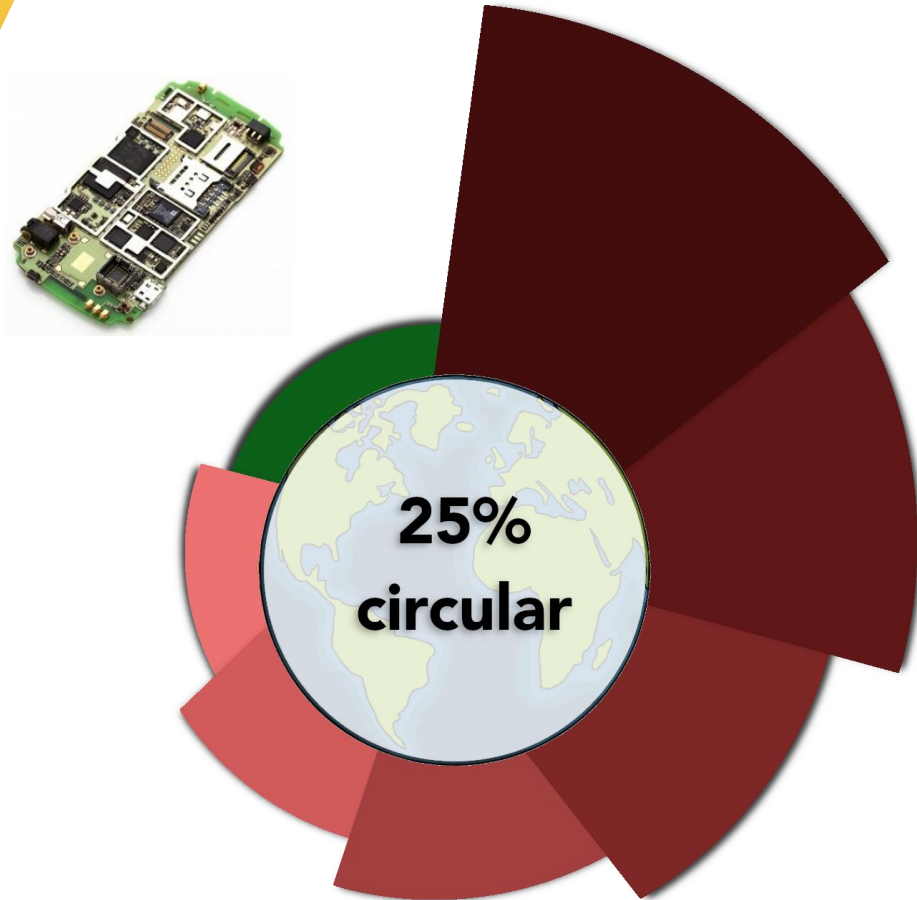


# ¿Cuánto se recupera?

Porcentaje de metales que se recupera después de su fin de vida

|           |                                                                                                     |           |           |           |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |         |         |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| H<br>-    | <div>70--100 %</div> <div>50--70 %</div> <div>30--50 %</div> <div>10--30 %</div> <div>0--10 %</div> |           |           |           |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |         | He<br>- |
| Li<br>3.3 | Be<br>19                                                                                            |           |           |           |          |           |           |           |           |           |           | B<br>0.0  | C<br>-    | N<br>-    | O<br>-    | F<br>-  | Ne<br>- |
| Na<br>-   | Mg<br>9.0                                                                                           |           |           |           |          |           |           |           |           |           |           | Al<br>70  | Si<br>0.0 | P<br>-    | S<br>-    | Cl<br>- | Ar<br>- |
| K<br>-    | Ca<br>-                                                                                             | Sc<br>0.0 | Ti<br>3.8 | V<br>5.2  | Cr<br>42 | Mn<br>21  | Fe<br>81  | Co<br>15  | Ni<br>65  | Cu<br>41  | Zn<br>29  | Ga<br>0.0 | Ge<br>1.5 | As<br>0.0 | Se<br>0.4 | Br<br>- | Kr<br>- |
| Rb        | Sr<br>0.0                                                                                           | Y<br>6.9  | Zr<br>2.9 | Nb<br>9.5 | Mo<br>24 | Tc        | Ru<br>52  | Rh<br>54  | Pd<br>58  | Ag<br>57  | Cd<br>27  | In<br>5.0 | Sn<br>14  | Sb<br>18  | Te<br>1.9 | I<br>-  | Xe<br>- |
| Cs        | Ba<br>0.0                                                                                           | Lu<br>0.0 | Hf<br>0   | Ta<br>22  | W<br>26  | Re<br>44  | Os<br>0.0 | Ir<br>50  | Pt<br>72  | Au<br>91  | Hg<br>27  | Tl<br>0.0 | Pb<br>77  | Bi<br>0.0 | Po        | At      | Rn      |
| Fr<br>-   | Ra<br>-                                                                                             | Lr<br>-   | Rf<br>-   | Db<br>-   | Sg<br>-  | Bh<br>-   | Hs<br>-   | Mt<br>-   | Ds<br>-   | Rg<br>-   | Cn<br>-   | Nh<br>-   | Fl<br>-   | Mc<br>-   | Lv<br>-   | Ts<br>- | Og<br>- |
|           |                                                                                                     |           |           |           |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |         |         |
| La<br>1.4 |                                                                                                     | Ce<br>0.3 | Pr<br>0.2 | Nd<br>0.1 | Pm       | Sm<br>0.0 | Eu<br>8.0 | Gd<br>0.9 | Tb<br>5.3 | Dy<br>0.0 | Ho<br>0.0 | Er<br>0.0 | Tm<br>0.0 | Yb<br>0.0 |           |         |         |
| Ac<br>-   |                                                                                                     | Th<br>-   | Pa<br>-   | U<br>-    | Np<br>-  | Pu<br>-   | Am<br>-   | Cm<br>-   | Bk<br>-   | Cf<br>-   | Es<br>-   | Fm<br>-   | Md<br>-   | No<br>-   |           |         |         |

# ECONOMÍA ESPIRAL



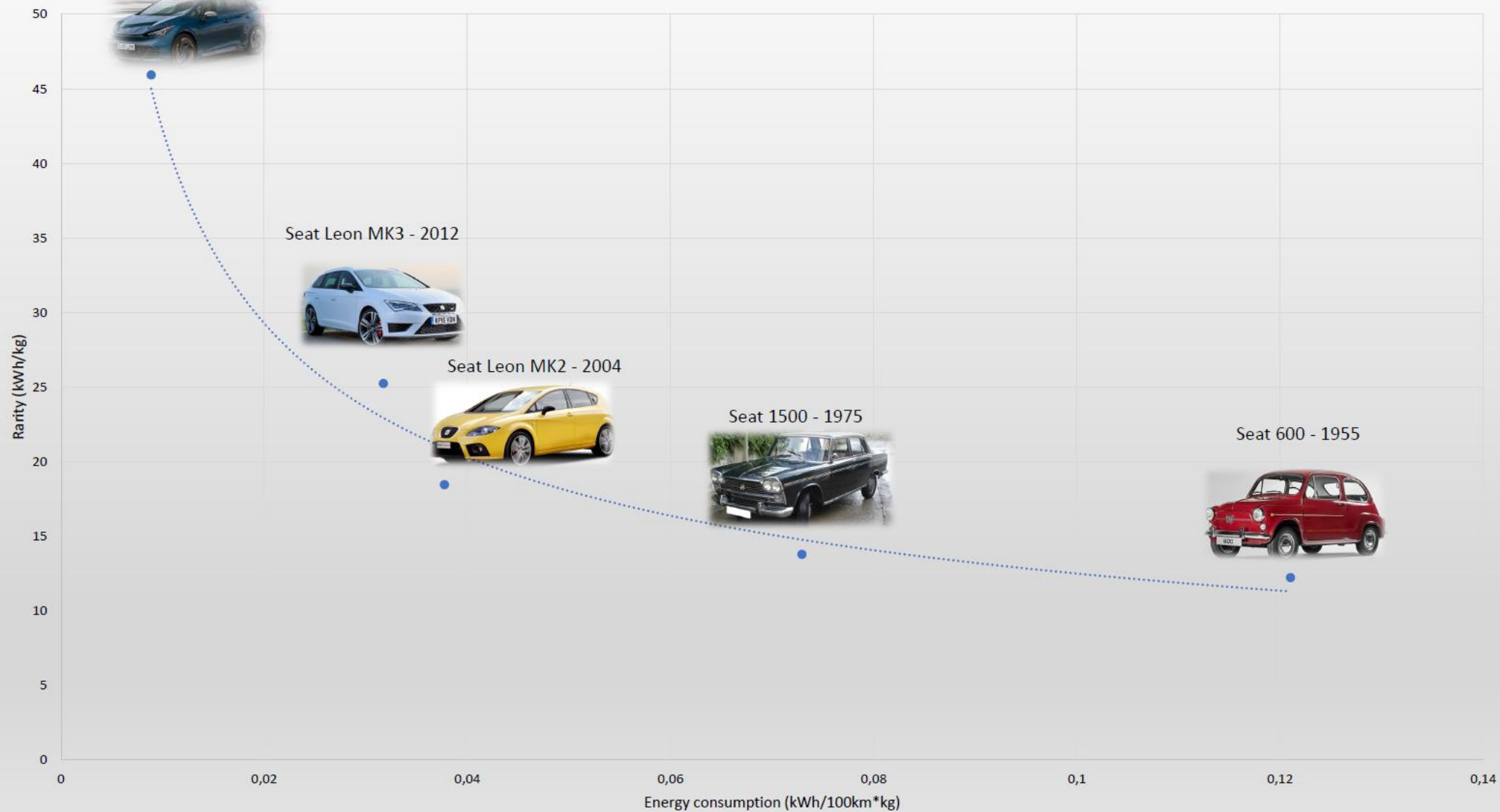
**La creación de valor económico tiene su mochila en destrucción de recursos y la mayor parte de este, se pierde cuando los productos dejan de usarse!**

# Más eficientes energéticamente, ¿pero más sostenibles?



CUPRA BORN - 2022

## Energy efficiency vs Resource inefficiency



Fuente: elaboración propia

Hay otras opciones para no  
superar los límites materiales

CUPRA BORN - 2022

## Energy efficiency vs Resource inefficiency



# VUELTA A LAS RAICES. VUELTA AL FUTURO:

## Calidad en los productos

### “INGENIERÍA DEL BOTIJO”



- Mantiene el agua fría (eficiencia energética)
- Diseño simple
- Materiales locales y baratos
- Robusto
- Fácil de reparar y reciclar (sólo 1 material)
- Crea sentimiento de comunidad

# LA “DESFÁBRICA”

## Calidad en los procesos

- Una fábrica de automóviles produce un coche cada 2 minutos
- La misma fábrica es incapaz de desensamblar un solo vehículo!



**En el diseño de productos, asegúrate de que estos puedan ser fácilmente desensamblados**

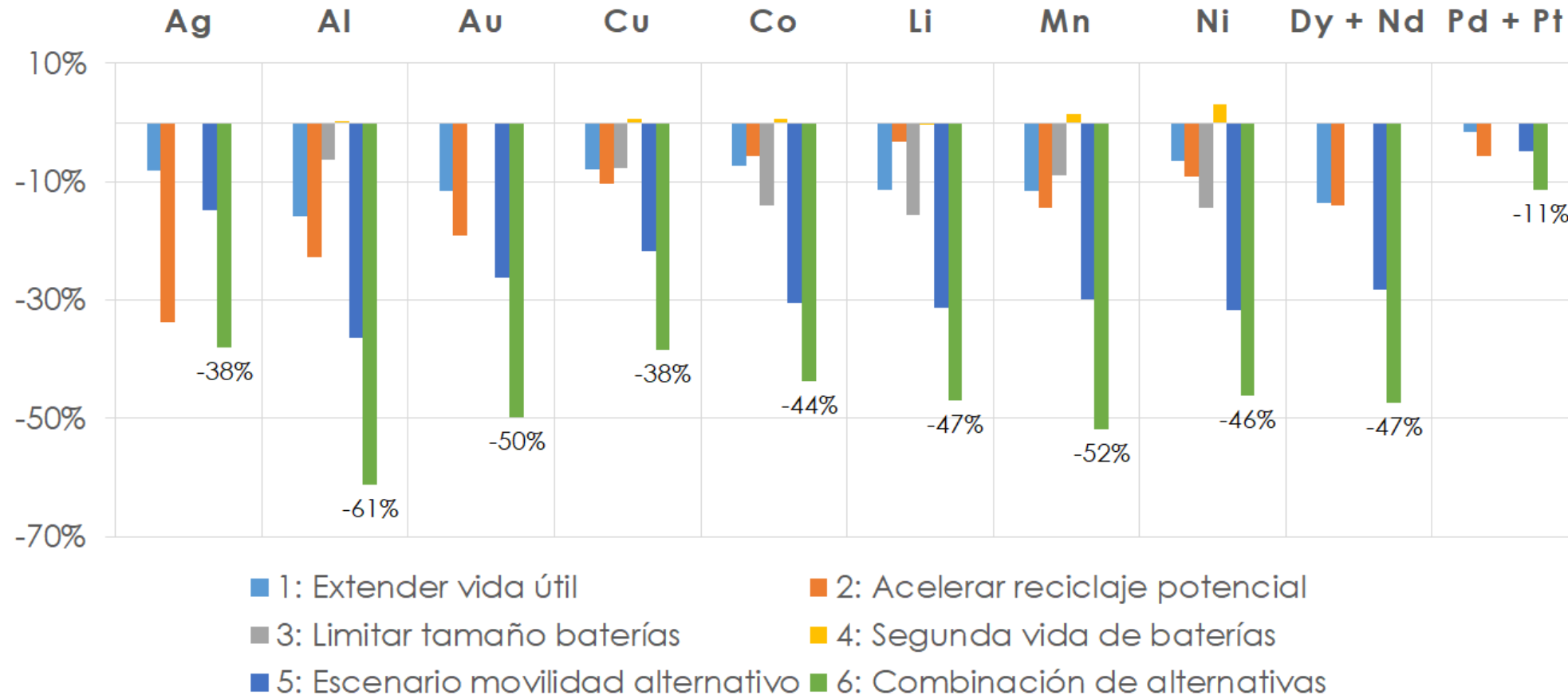
**Estrategia pieza a pieza: Para una economía realmente circular/espiral, los productos no deben convertirse en una fuente de materiales, sino en una fuente de piezas de repuesto!!!**

# El caso del territorio español



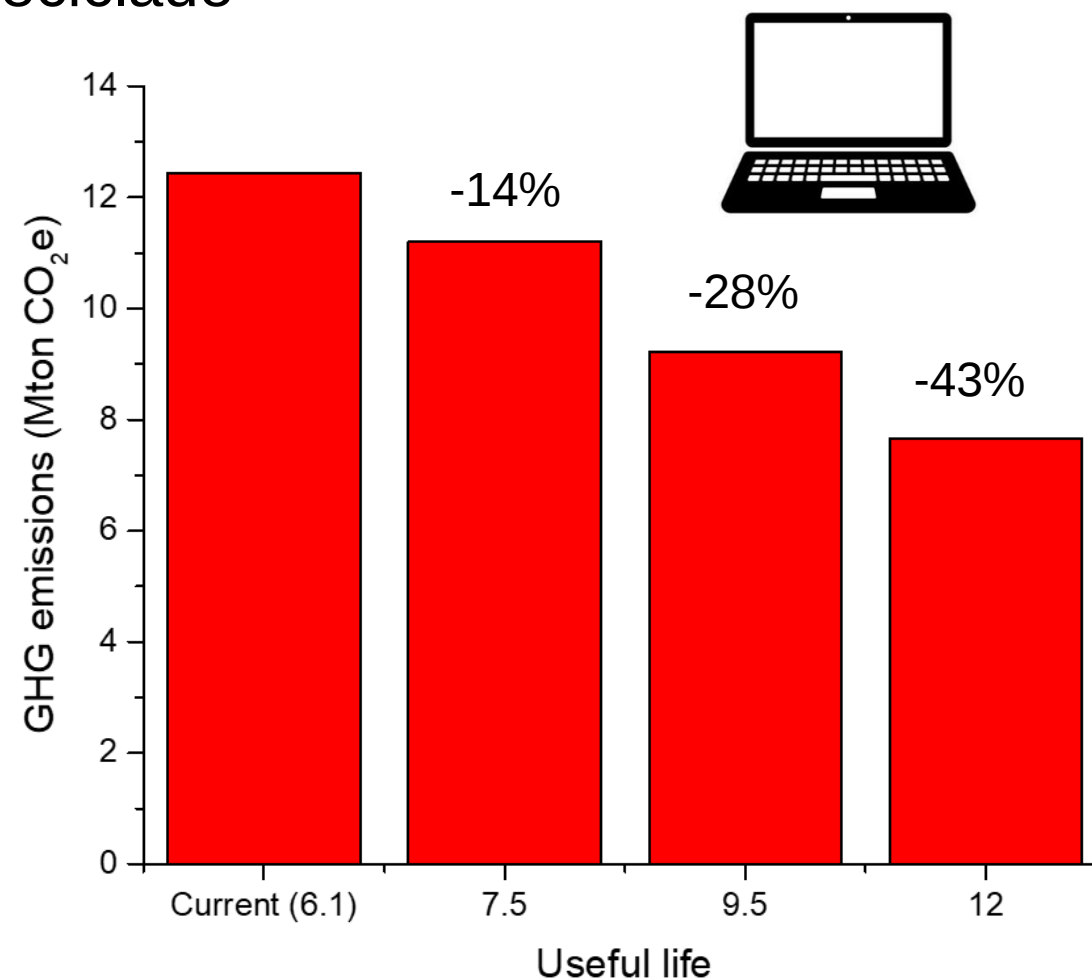
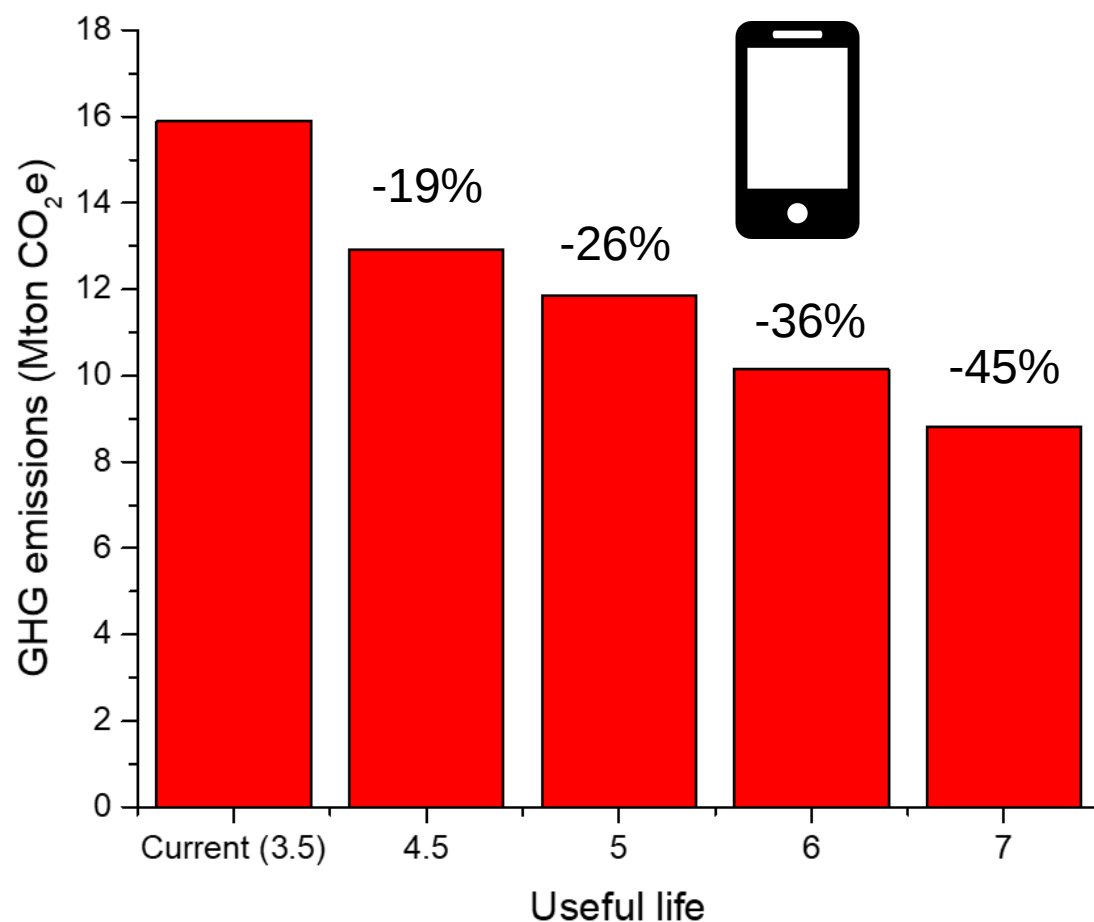
Instituto Universitario de Investigación Mixto de la  
Energía y Eficiencia de los  
Recursos de Aragón  
Universidad Zaragoza

Distribución según tecnologías de la demanda acumulada de metales 2020-2050



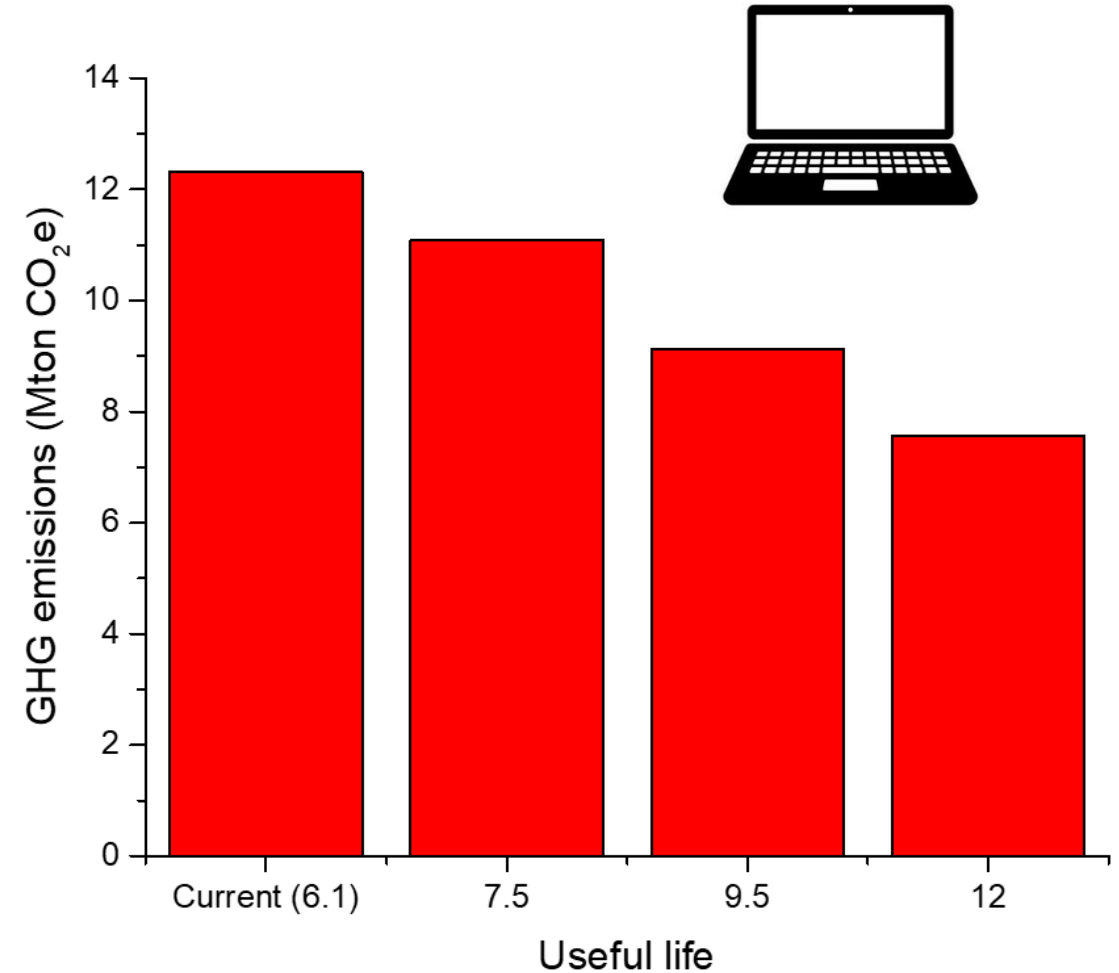
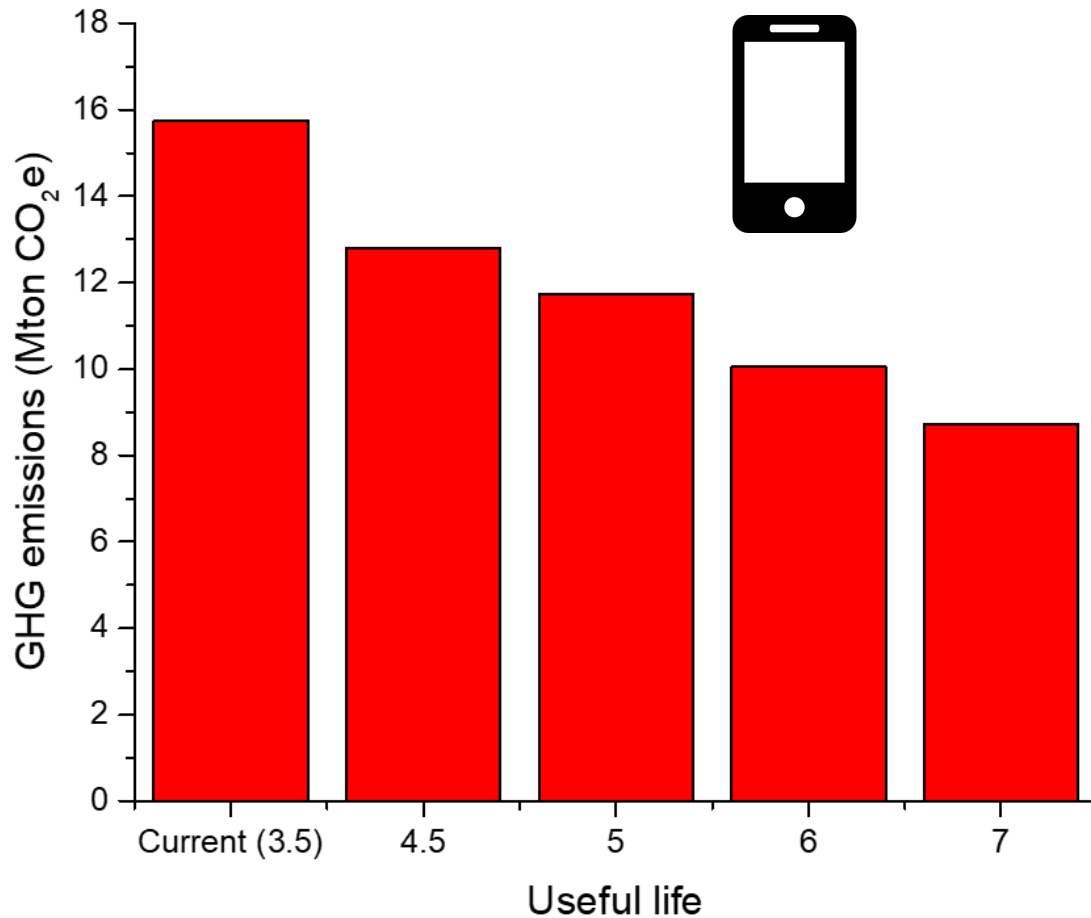
# El efecto de la alargascencia

Sin reciclado

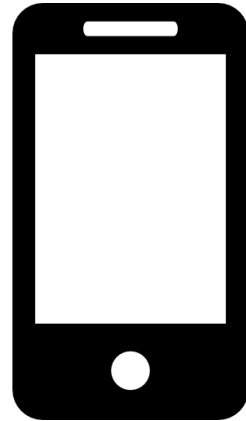


# El efecto de la alargascencia

Con reciclado



# Efecto de duplicar la vida útil de móviles y portátiles en España (acumulado hasta 2040)



- **Energía: 70.000 TJ**



**Electricidad hogares  
de toda Zaragoza en  
10 años**



- **Oro: 16 ton**



**10x Producción  
anual de España**



Hay otras opciones para no  
superar los límites materiales

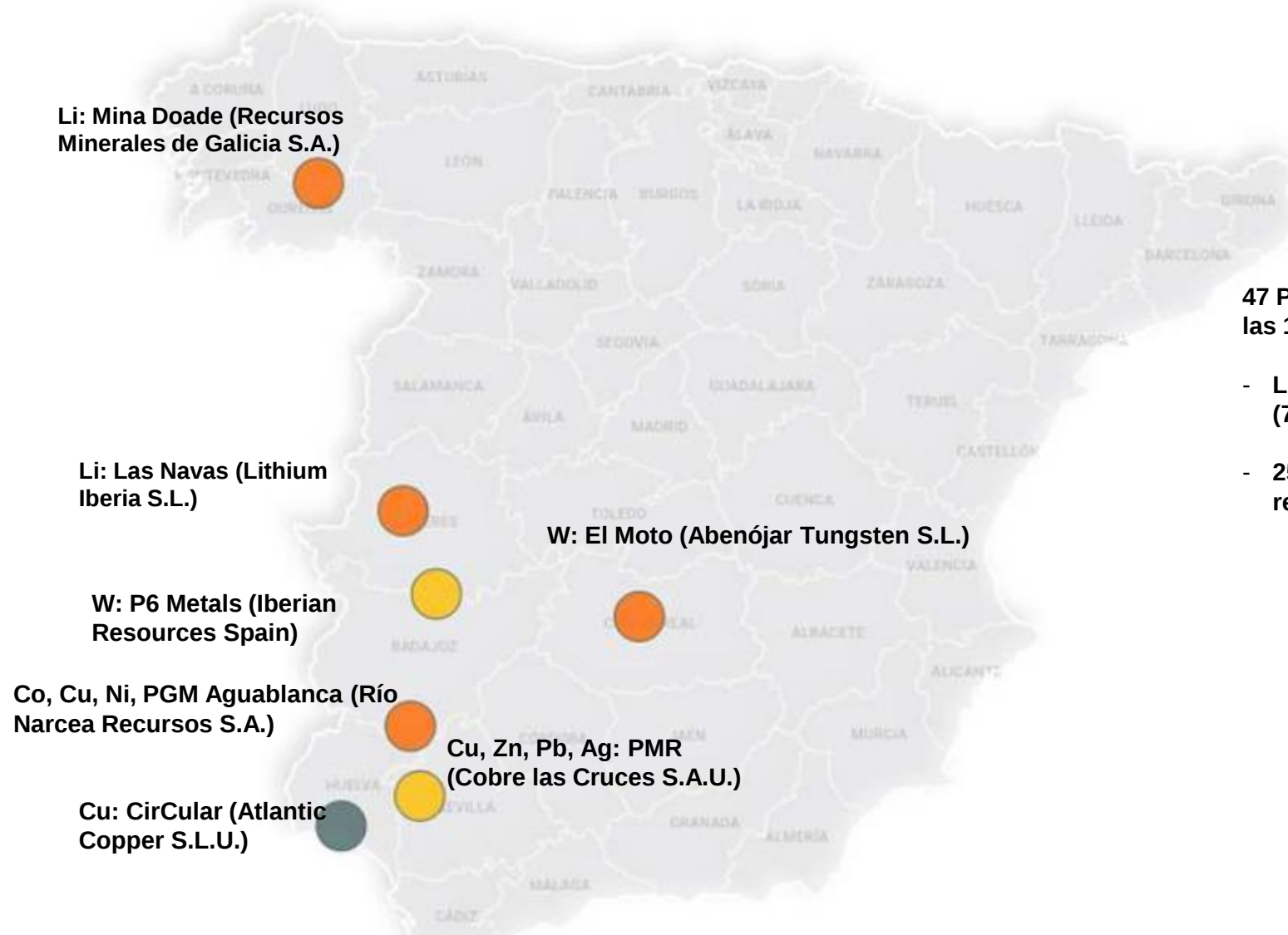


# ¿ Cómo afrontar las debilidades de España y Europa en la transición?

# Proyectos estratégicos en España



Instituto Universitario de Investigación Mixto de la  
Energía y Eficiencia de los  
Recursos de Aragón  
**Universidad Zaragoza**



**47 Proyectos en Europa (acceso a 14 de las 17 MMPP estratégicas):**

- Li (22), Ni (12), grafito (11), Co (10), Mn (7), W(3), REE, Cu, PGM, Mg, Se.
- 25 extracción; 24 procesamiento; 10 reciclado 2 sustitución.

# I Plan de acción sobre materias primas minerales 2025-2029



Instituto Universitario de Investigación Mixto de la

Energía y Eficiencia de los  
Recursos de Aragón

Universidad Zaragoza

## Cuatro orientaciones estratégicas:

1. Buscar la **eficiencia y la economía circular** en las cadenas de valor del suministro de materias primas minerales, integrando y concretando para la industria extractiva los objetivos y líneas de actuación de la Estrategia España Circular 2030.
2. Impulsar y consolidar la **gestión sostenible de las materias primas minerales en la industria extractiva española**.
3. Enfocarse en la **seguridad de suministro y el cumplimiento de los requisitos medioambientales, geoestratégicos y de justicia social** en la importación de materias primas minerales.
4. Fomentar la **industria de materias primas minerales de carácter estratégico para la transición energética y digital**, por su empleo en la implantación de energías renovables, baterías para vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía a medio y largo plazo.



I PLAN DE ACCIÓN PARA LA GESTIÓN  
SOSTENIBLE DE LAS MATERIAS PRIMAS  
MINERALES 2025 – 2029

Marzo 2025

# I Plan de acción sobre materias primas minerales 2025-2029



- Mi visión:
- Muy centrado en minería.
- Se habla de potenciar la economía circular (ejemplo: derecho a reparar y cofinanciación de reparación), pero faltan acciones específicas y más variadas.
- Falta mucho más reciclado, pero sobre todo falta alargascencia y en general estrategias de reducción.

# ¿Es posible superar los límites transición?



Instituto Universitario de Investigación Mixto de la

Energía y Eficiencia de los  
Recursos de Aragón

Universidad Zaragoza

- La creación de valor lleva asociada una mochila de destrucción de recursos que es irreversible.
- Centrarse exclusivamente en el reciclado no es suficiente (economía espiral).
- Repensar las necesidades humanas → reducción del consumo y alargascencia
- Valorar adecuadamente los bienes de la naturaleza
- Medidas de suficiencia y justicia social

