

Recursos minerales para la transición digital y sus límites físicos y geopolíticos

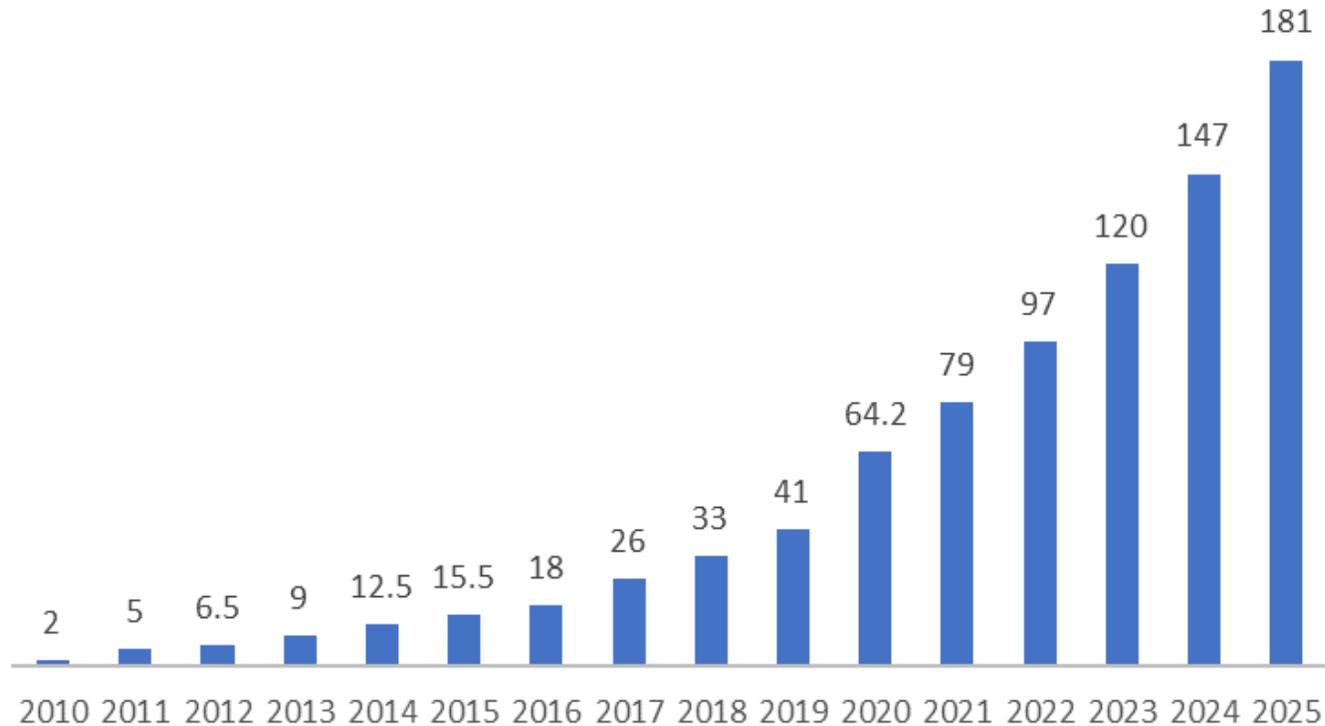
Alicia Valero

Instituto CIRCE - Universidad de Zaragoza

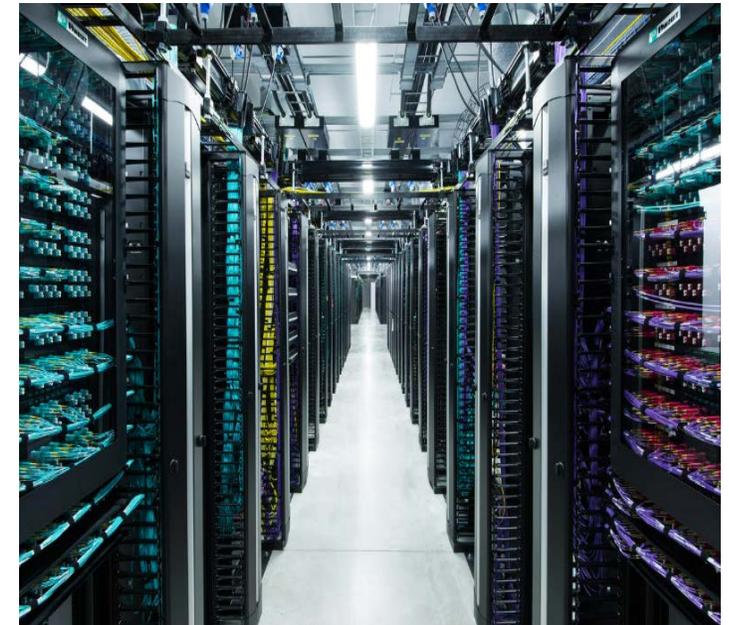


Crecimiento exponencial de la creación de datos

Evolución real y esperada del volumen de datos (Zettabytes)

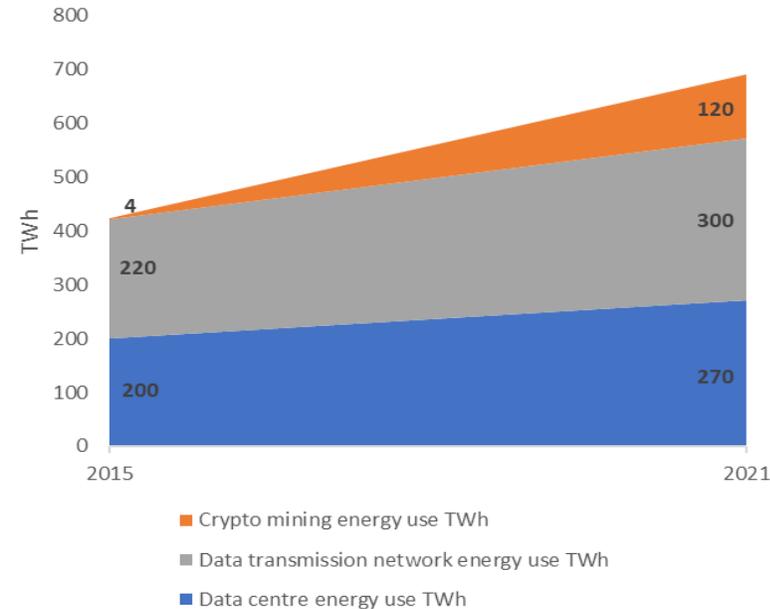
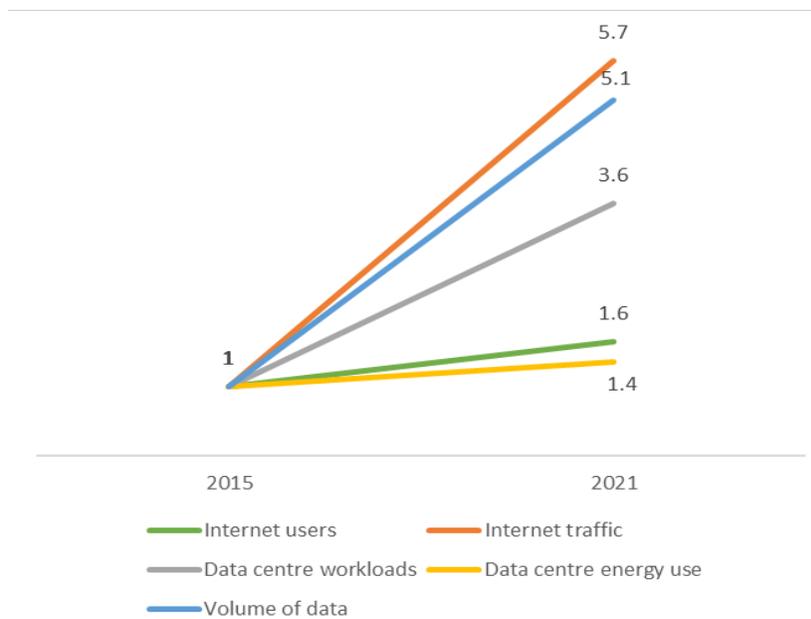


Fuente: Elaboración propia con datos de (Statista Research Department 2022)



Fuente: FS community 2021

Evolución de la creación de datos 2015-2021



Fuente: elaboración propia a partir de IEA 2022 y Statista Research Department 2022

- La energía en CCDD aumentó un 40% (centros más eficientes y CCDD de hiperescala).
- 3% de consumo de electricidad mundial en 2021 (IEA, 2022).
- 18% energía para criptominería en 2021 (aumento x30)

El tráfico y volumen de datos se ha quintuplicado => Cada usuario de internet genera muchos más datos (muchos de ellos inservibles)

Ley de Moore y ley de Koomey

Ley de Moore: cada 2 años se duplica el número de transistores en un microprocesador.

Ley de Koomey: la eficiencia energética de los equipamiento computacional se duplica cada 1.5 años.

Desde el 2000, la ley de Moore no se cumple y el aumento del volumen de datos => aumenta el consumo energético



La Cara B de la Eficiencia: el mayor uso de materiales!

Quimiodiversidad en nuevas tecnologías

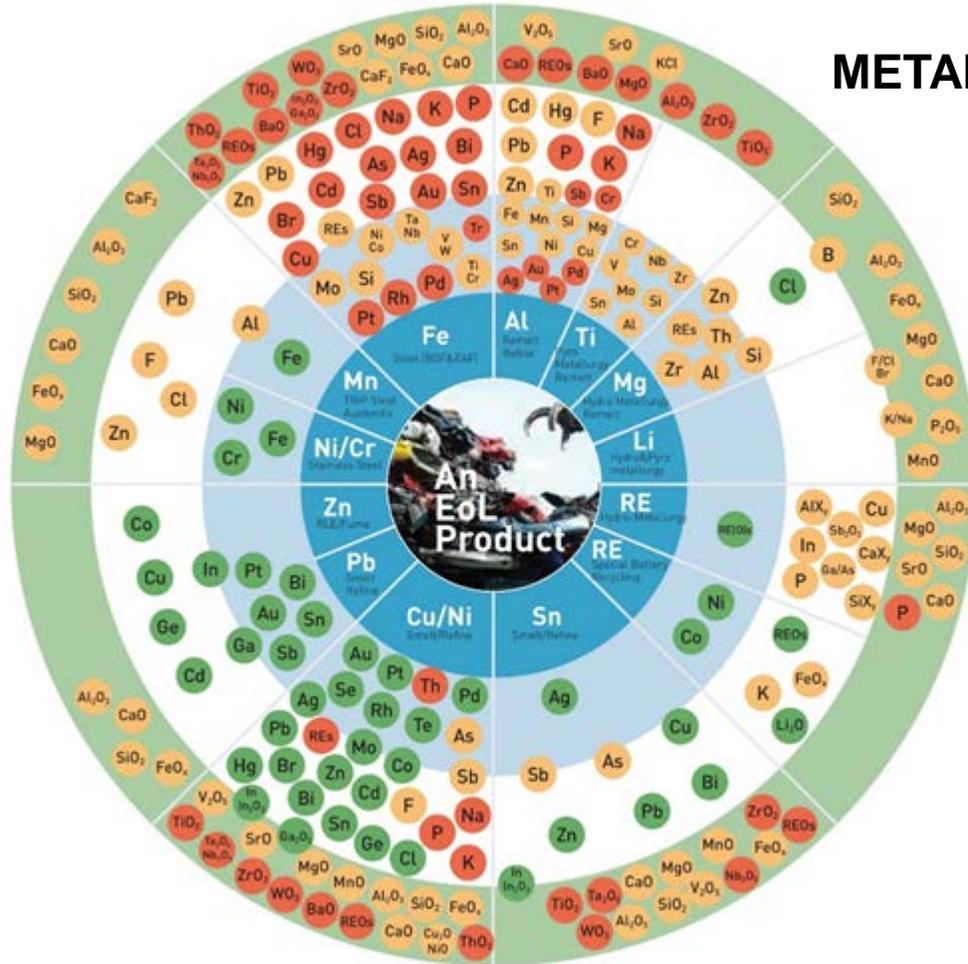
TENDENCIA:

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



IMPOSIBLES DE RECICLAR FUNCIONALMENTE!

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.

- **Mainly Recovered Element** Compatible with Carrier Metal as alloying Element or that can be recovered in subsequent Processing.
- **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.).
- **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.



Paradoja: tecnologías más eficientes energéticamente son menos sostenibles desde un punto de vista de materiales!

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)

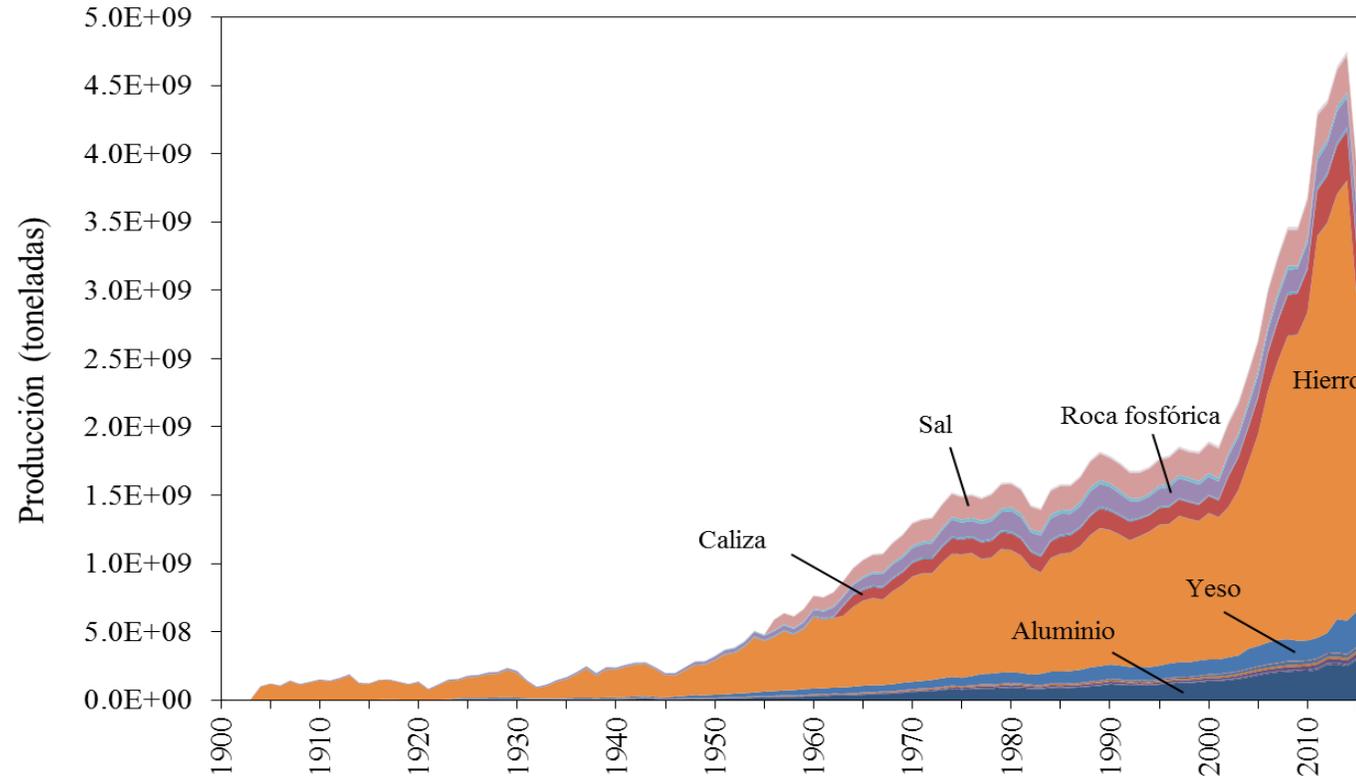
Ejemplo TOKYO 2020



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



Extracción exponencial de materias primas



Producción acumulada mundial total de 48 minerales y elementos desde 1900 hasta 2016. En la figura solamente figuran los nombres de aquellos minerales que tienen un mayor peso. Fuente: Valero, A.; Valero A.; Calvo, G. (2021). Thanatia: Límites materiales de la transición energética. Prensas de la Universidad de Zaragoza.

Crecimiento exponencial de las materias primas

Durante el s. XXI hemos extraído tanto cobre como en toda la historia de la humanidad



Oro (electrónica, joyería...): 0,5 veces

Plata (energía solar, electrónica, joyería...): 0,6 veces

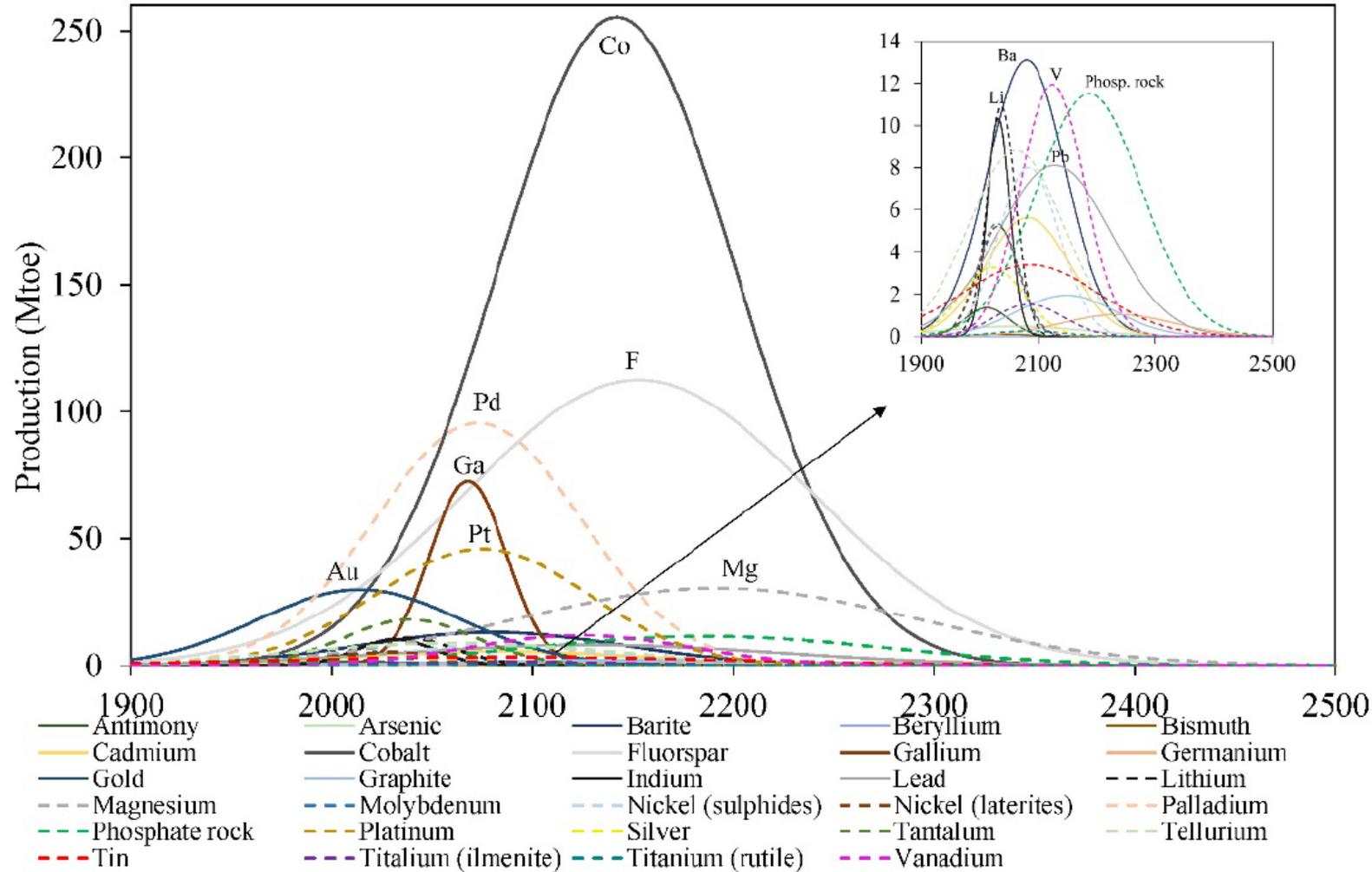
Zinc (aceros, piezas metálicas,...): 0,8 veces

Ni (aceros, baterías,...): 1,2 veces!

Co (baterías, pigmentos, motores...): 1,56 veces!

Li (baterías): 1,93 veces!

Las minas se agotan

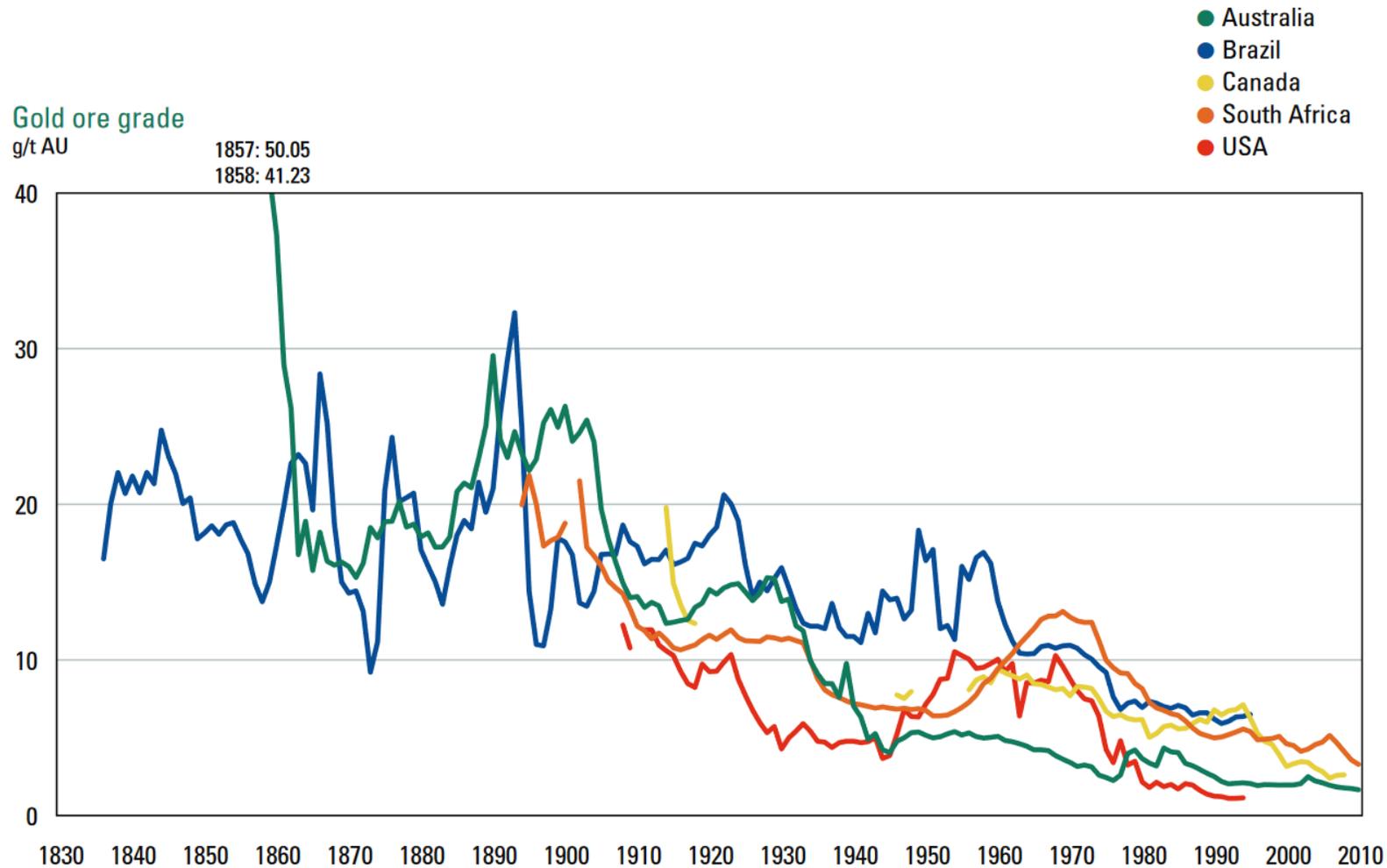


	Reserves Peak	\$R^2\$	W.R. Peak	\$R^2\$	Observed Peak
Mercury	1960	0.56	1965	0.18	1971
Tin	1979	0.53	1986	0.63	2007
Silver	1995	0.44	1999	0.52	-
Gold	1994	0.65	2001	0.74	2001
Antimony	1998	0.56	2006	0.64	-
Zirconium	2003	0.89	2006	0.89	-
Oil	2012	0.97	2027	0.97	2008 (2011)
Lithium	2015	0.86	2033	0.89	-
Nickel laterites	2017	0.98	2033	0.98	-
Nickel sulphides	2017	0.98	2033	0.98	-
Wolfram	2007	0.89	2036	0.87	-
Molybdenum	2018	0.95	2040	0.95	200
Bismuth	2015	0.87	2042	0.86	-
Tantalum	2034	0.85	2046	0.85	-
Rhenium	2022	0.95	2054	0.94	-
Uranium	2033	0.72	2061	0.70	200
Zinc	1999	0.92	2062	0.98	-
Copper	2012	0.95	2068	0.98	-
Natural gas	2024	1.00	2069	1.00	-
Ti-rutile	2028	0.89	2069	0.86	-
Cobalt	2042	0.87	2073	0.88	-
Cadmium	1996	0.98	2076	0.90	-
Phosphate rock	2031	0.92	2080	0.89	-
REE	2092	0.98	2104	0.98	-
Ti-ilmenite	2040	0.96	2082	0.96	-
Beryllium			2082	0.40	-
Aluminium	2050	0.98	2088	0.98	-
Lead	1989	0.82	2110	0.82	-
Iron	2040	0.91	2115	0.92	-
Manganese	2007	0.87	2119	0.81	-
Vanadium	2067	0.83	2129	0.83	-
Chromium	2015	0.96	2149	0.97	-
Coal	2059	0.95	2159	0.95	-
Arsenic	1971	0.29	2159	0.31	-
Potassium	2072	0.91	2272	0.88	-

El pico de los recursos podría alcanzarse antes de que acabe este siglo!

Fuente: A. Valero and A. Valero (2014) . Thanatia: the Destiny of the Earth's mineral resources. World Scientific Publishing

Las minas se degradan...



La concentración de oro en la minas no para de descender:

- 1830-1900: 20g/ton
- 1990-2010: 5 g/ton

¡Las minas de oro se agotan!

Consumo energético total (GJ/t vs. ley)

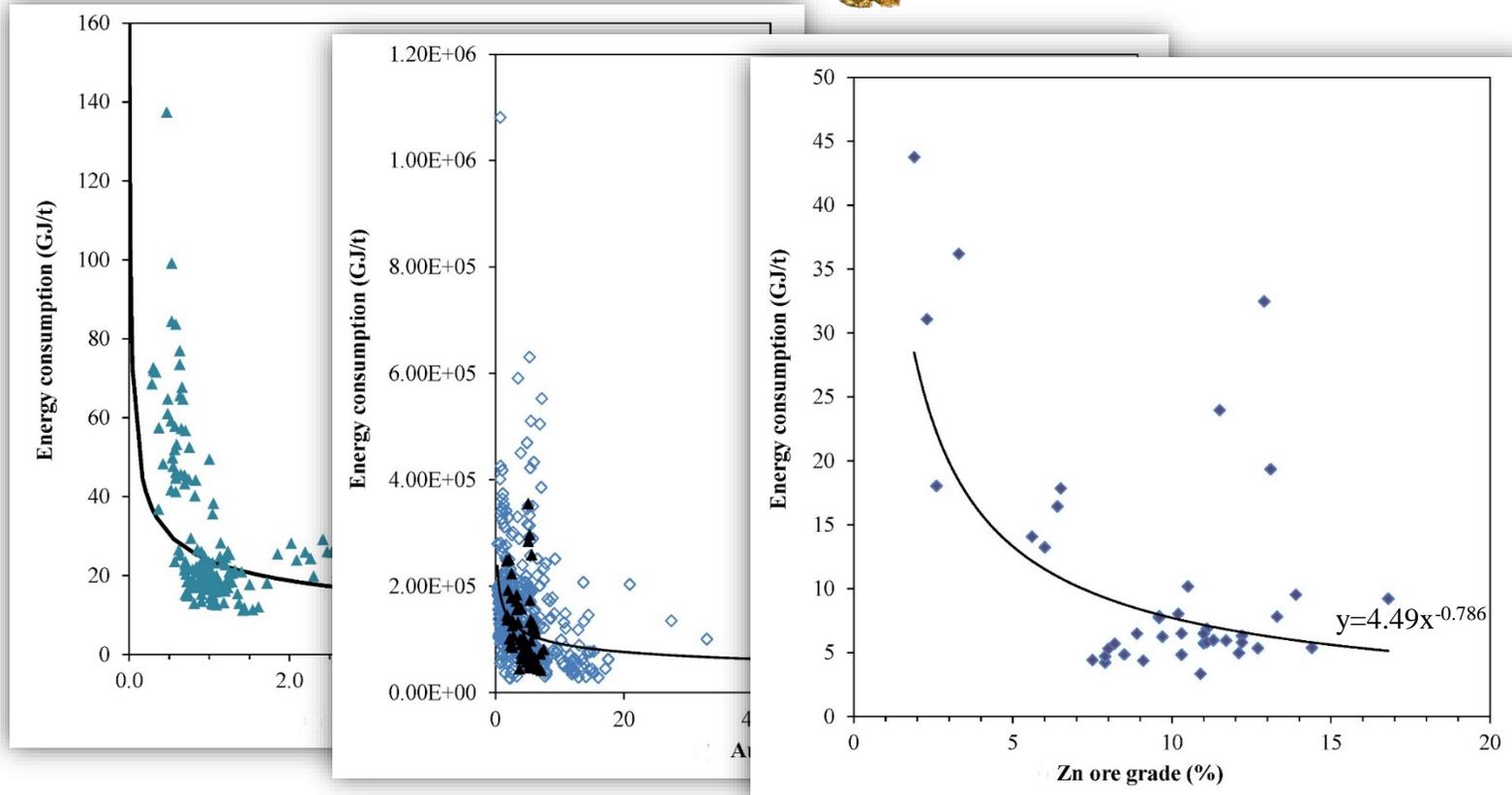
Cobre



Oro



Cinc



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

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



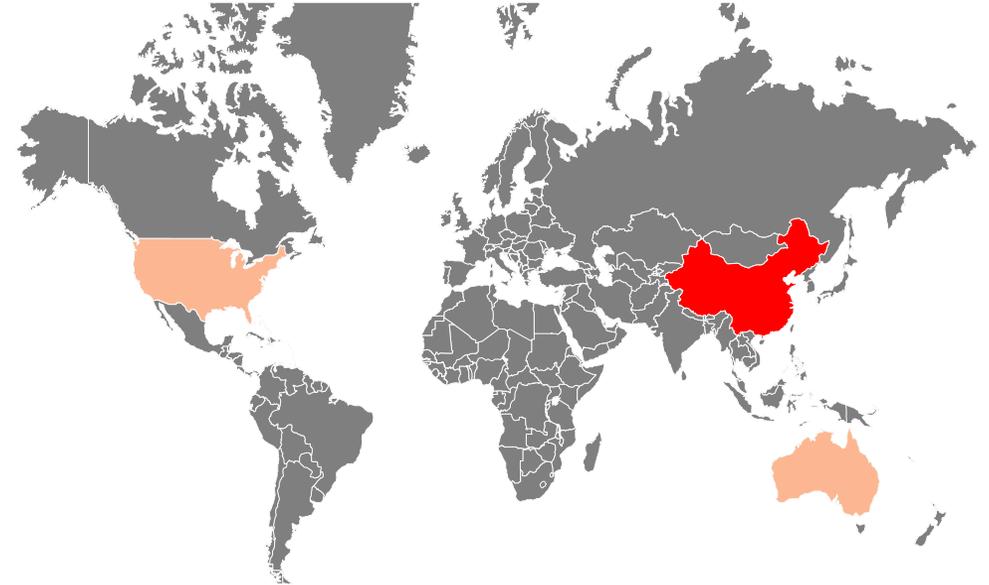
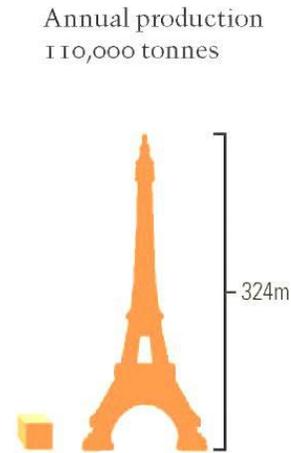
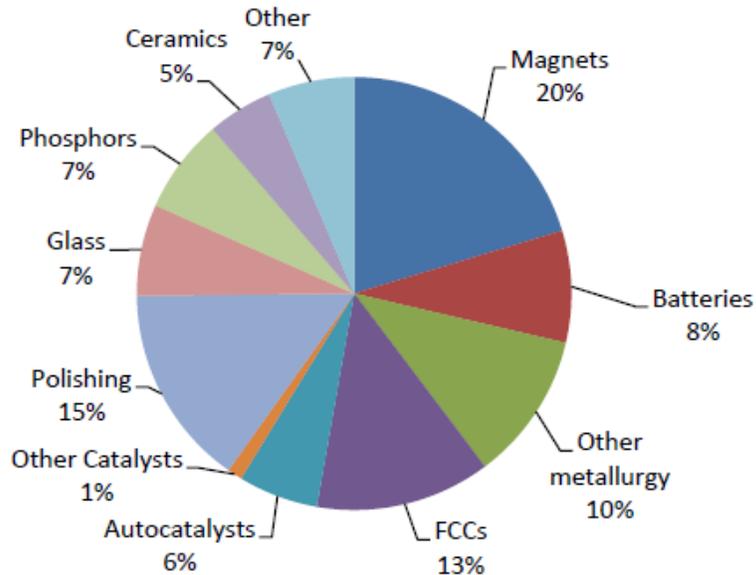
El violeta oscuro en el río es producto del material de los residuos de la mina (Fotografía de 2003)

Los peces del río Aikwa casi han desaparecido

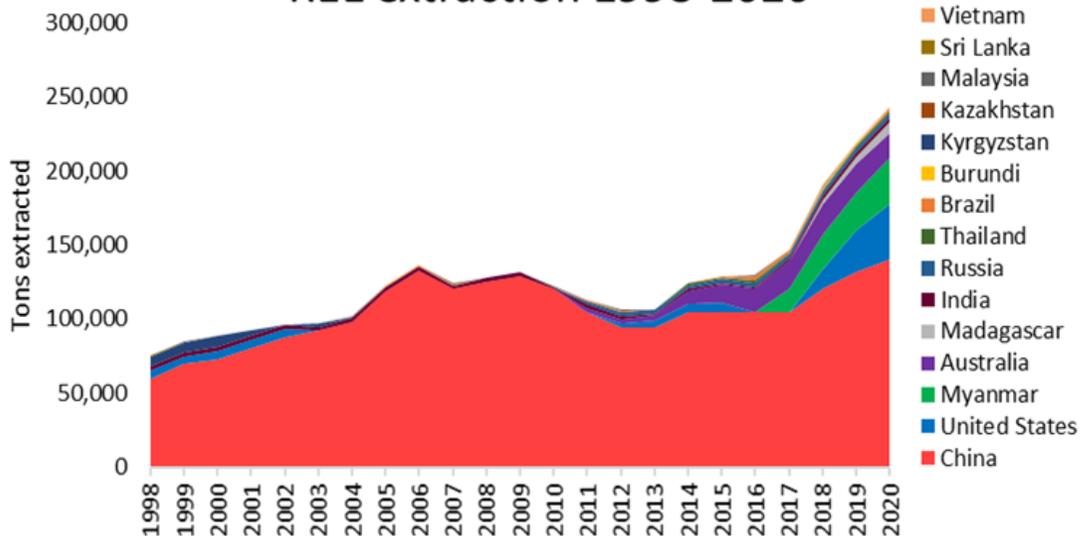
Emisiones de CO2

Impactos para las economías - El caso de las tierras raras

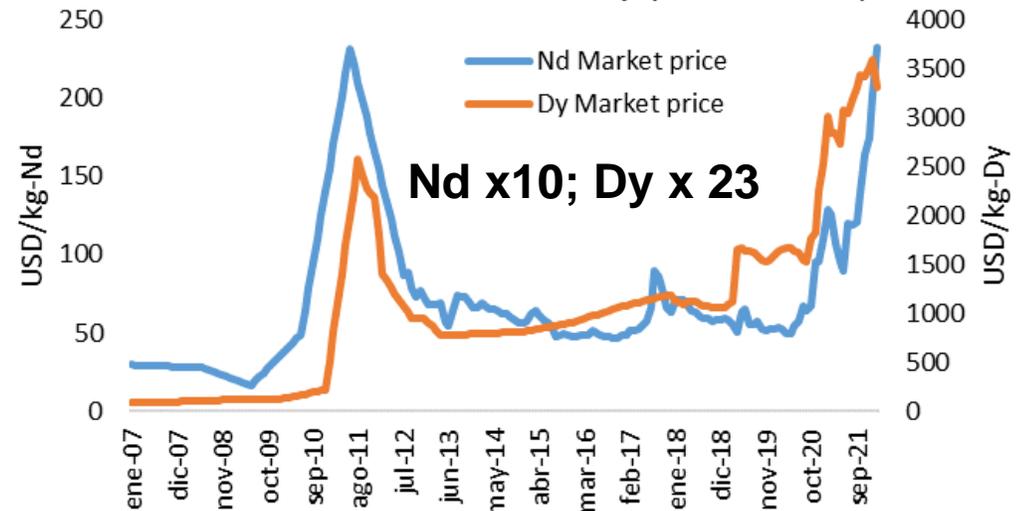
2017-2020: + 85% aumento de producción de 130,000 tons to 240,000 tons (China 57%).



REE extraction 1998-2020



Price evolution: Nd and Dy (2007-2021)

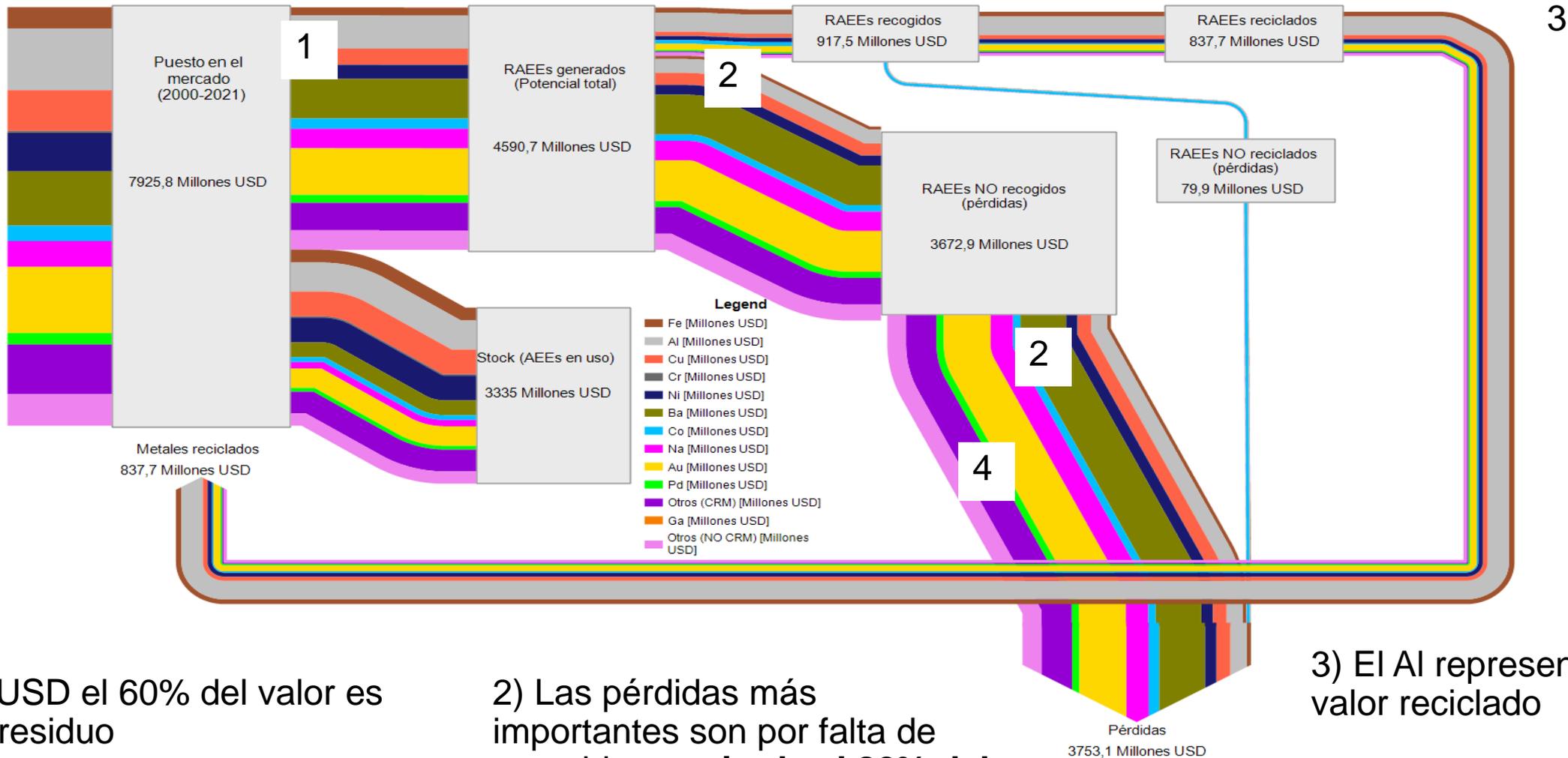




Fuente: Elaborado a partir de Valero, A., Valero, A., Calvo, G., & Ortego, A. (2018). Material bottlenecks in the future development of green technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 93, 178–200.

¿Cuánto se recicla en España?

RAEEs reciclados en USD (2000-2021)



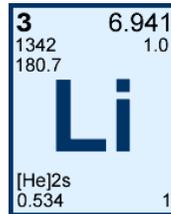
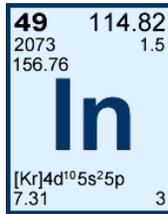
1) En USD el 60% del valor es ya un residuo

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

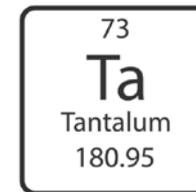
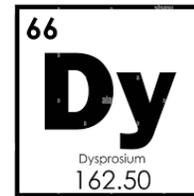
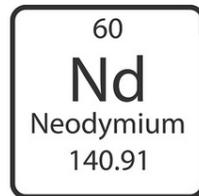
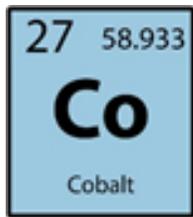
3) El Al representa el 50% del valor reciclado

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

M **In** eral **Li** mits to the



e **Co** logical a **Nd** **Dy** igi **Ta** l



tran **Si** tion

