

I Olimpíada da Enerxía

Escola de Enxeñaría de Minas e Enerxía
Curso 2024 - 2025



LIÑA TEMÁTICA 1
Enerxía, sociedade e clima

Coordinadora
Elena Alonso Prieto

Investigadores do equipo
María Araujo
J. Santiago Pozo-Antonio



Proxecto financiado no marco das axudas da FECYT, en réxime de concorrencia competitiva, para a realización de actividades no ámbito do fomento da cultura científica, tecnolóxica e da innovación, referencia FCT-23-19535.



O PAPEL DAS MATERIAS PRIMAS MINERAIS NA TRANSICIÓN ENERXÉTICA

1. Os usos das materias primas minerais
2. A transición enerxética
3. O papel das materias primas minerais na transición enerxética
4. O abastecemento de materias primas minerais. A matriz de risco de demanda
5. A situación na Unión Europea
6. O papel da reciclaxe na transición enerxética
7. Conclusións



1. Os usos das materias primas minerais

1

De onde proceden os materiais cos que se fabrican os bens que usamos a diario?

2

Como se xeran a enerxía térmica e eléctrica que usamos a diario?

Recursos naturais

Recursos renovables

Recursos non renovables

Ilimitados

Renovables

(A Natureza non pode producilos ao ritmo de consumo dos humanos)

(Non hai risco de esgotamento a longo prazo)

(Renovables si se explotan de forma sostible)

Radiación solar

Mareas e ondas

Vento

Enerxía hidroeléctrica

Calor da terra

Flora

Fauna

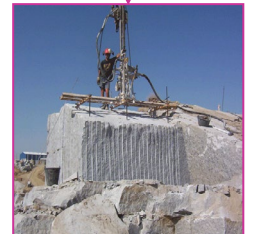
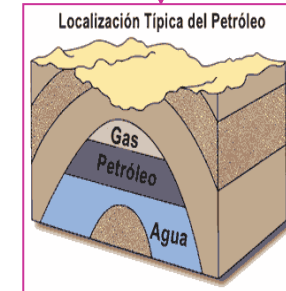
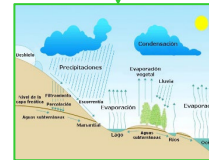
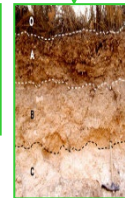
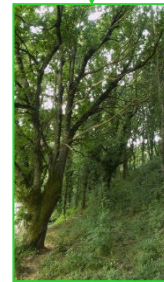
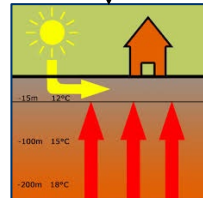
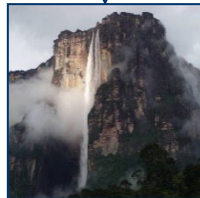
Solo

Auga

Petróleo

Gas

Rochas e minerais



Para qué se empregan os recursos minerais?



Edificación



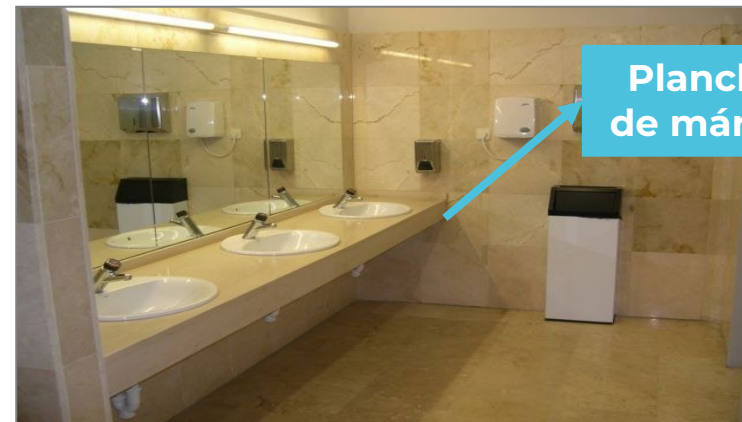
Tellado
de lousa



Planchas
de granito



Tellas



Planchas
de mármore

Construción de infraestructuras de comunicación



LA MINERÍA Y LAS CARRETERAS

EL MATERIAL BÁSICO para construir una carretera son los áridos, fragmentos de roca, llamados coloquialmente arena, grava o gravilla. Se trata del **SEGUNDO RECURSO MÁS CONSUMIDO EN EL MUNDO**, solo por detrás del agua.

Capa de hormigón

ARENILLA CALIZA, ARCILLA, ÁRIDOS (de diferentes tamaños)

Fe, Si, Al

Refuerzo de varillas

Fe, C

Asfalto

SILICE, ÁRIDOS, ARCILLA

Minería Sostenible de Galicia



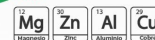
Fabricación de medios de transporte



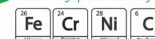
LA MINERÍA Y LOS AVIONES

Los aviones están realizados con diversos minerales que le **APORTAN RESISTENCIA, FUERZA, DENSIDAD Y ELASTICIDAD**. Desde la Primera Guerra Mundial el aluminio es su principal componente.

Alas



Barras y piezas forjadas



Caja negra



Motores



Minería Sostenible de Galicia

Combustible para transporte e calefacción



Calefacción nunha vivenda con gasóleo



Combustible de vehículos



Combustible de portacontenedores



Combustible de aeronaves

Xeración de enerxía eléctrica



Central térmica: xeración de enerxía eléctrica



Transporte de enerxía eléctrica



Consumo doméstico e industrial de enerxía eléctrica

Bens de uso diario



Arxilas e derivados de petróleo

Fluorita, barita e calcita
O recipiente: derivados de petróleo



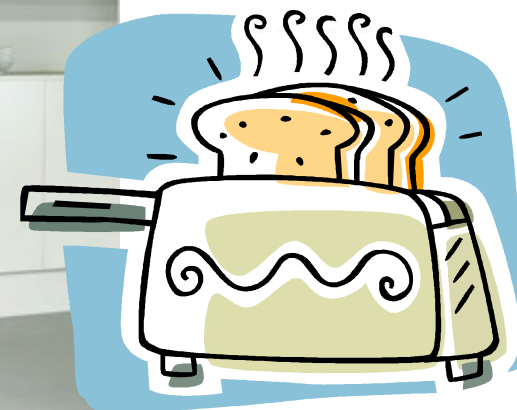
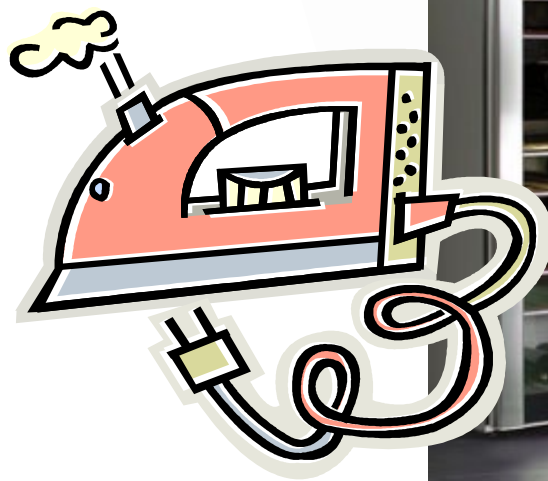
Sílice, sodio, caliza



barita, ferro, níquel
e derivados de petróleo



Fabricación de electrodomésticos, tecnología



Creación e arte



Ademais....



Insecto en ámbar



Os recursos minerais axúdannos a coñecer que ocorreu no pasado

Cantas rochas en
minerais consume
cada persona/ano?



10,8 toneladas de rochas e minerais nun ano;

- ▶ 7,2 de **minerais non metálicos** (arxila, áridos, lousa, granito, caliza, seixo,...)
- ▶ 0,7 de **metales** (ferro, chumbo, cobre, cromo, aluminio, oro, cadmio,...)
- ▶ 2,9 de **combustibles fósiles** (carbón, petróleo e gas)



Este dato é igual para todos os países?

Fuente: EUROSTAT. Datos de consumo de materias primas minerais por ciudadano europeo en 2020



2. A transición enerxética

Xeración de enerxía con queima de combustibles fósiles



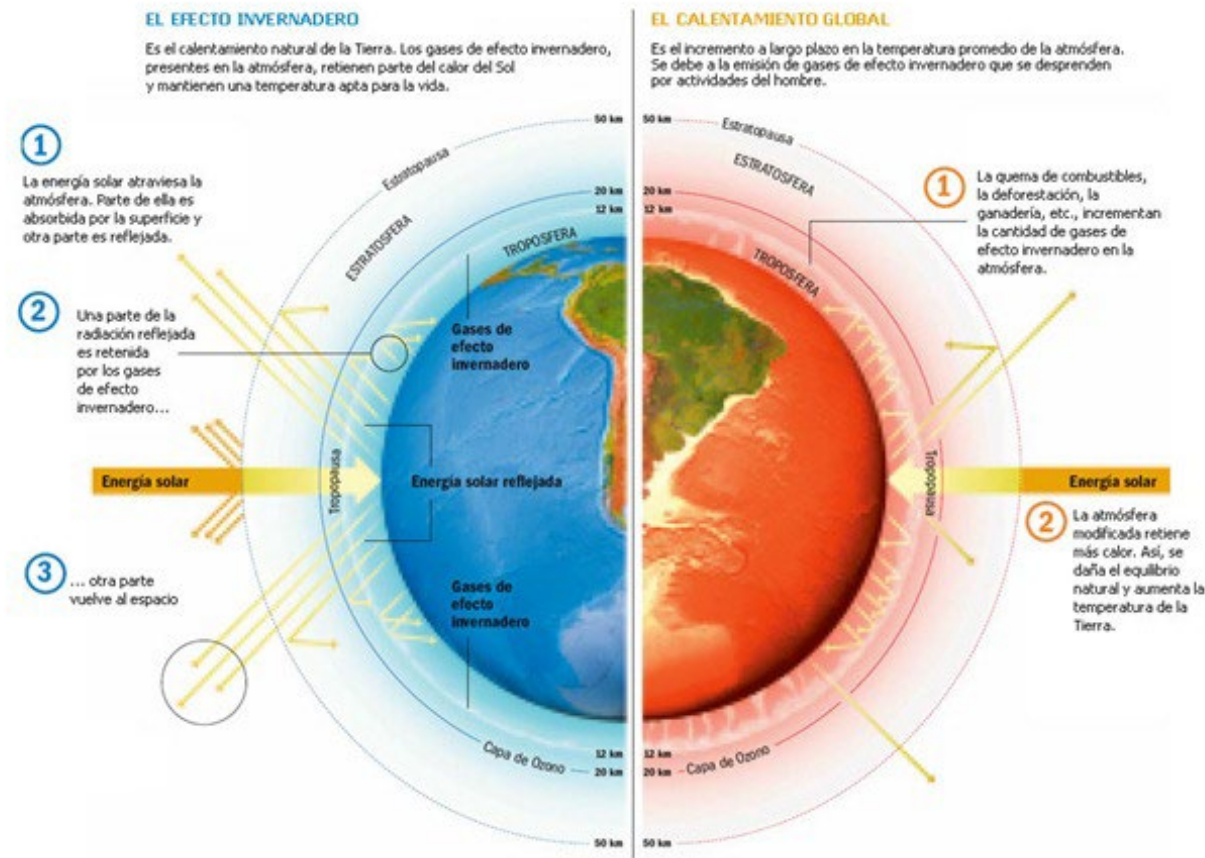
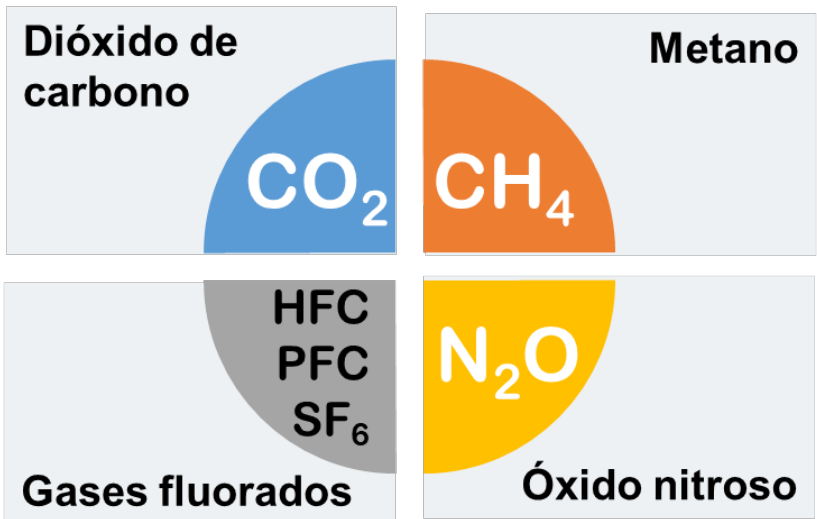
Xeración de enerxía eléctrica en centrais térmicas



Transporte: xeración de enerxía mecánica

Estas tecnoloxías de xeración de enerxía teñen algún problema importante?

Cales son os Gases Efecto Invernadero (GEI) e que efecto producen?

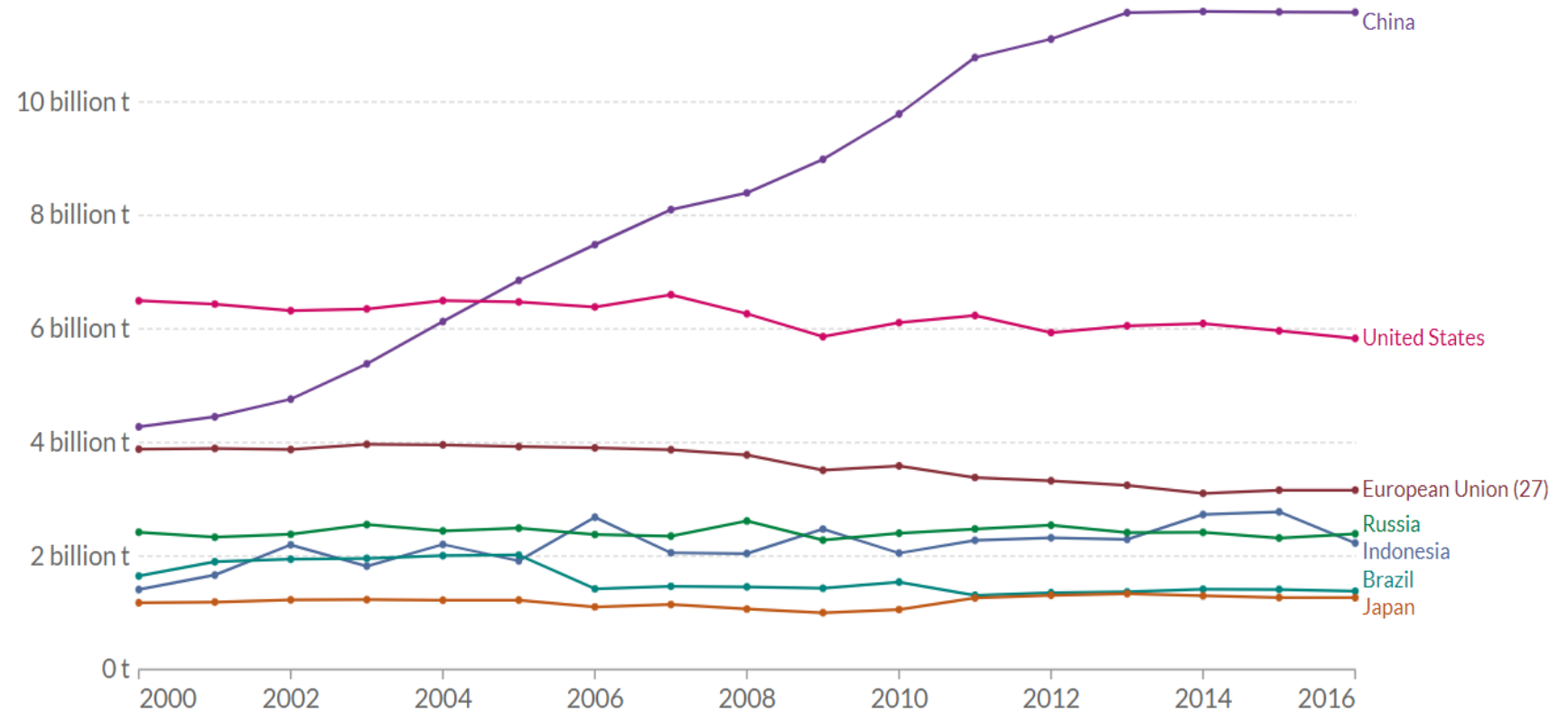




Que países son os principais emisores de GEI?

Máis 1
billón de
tCO_{2eq}

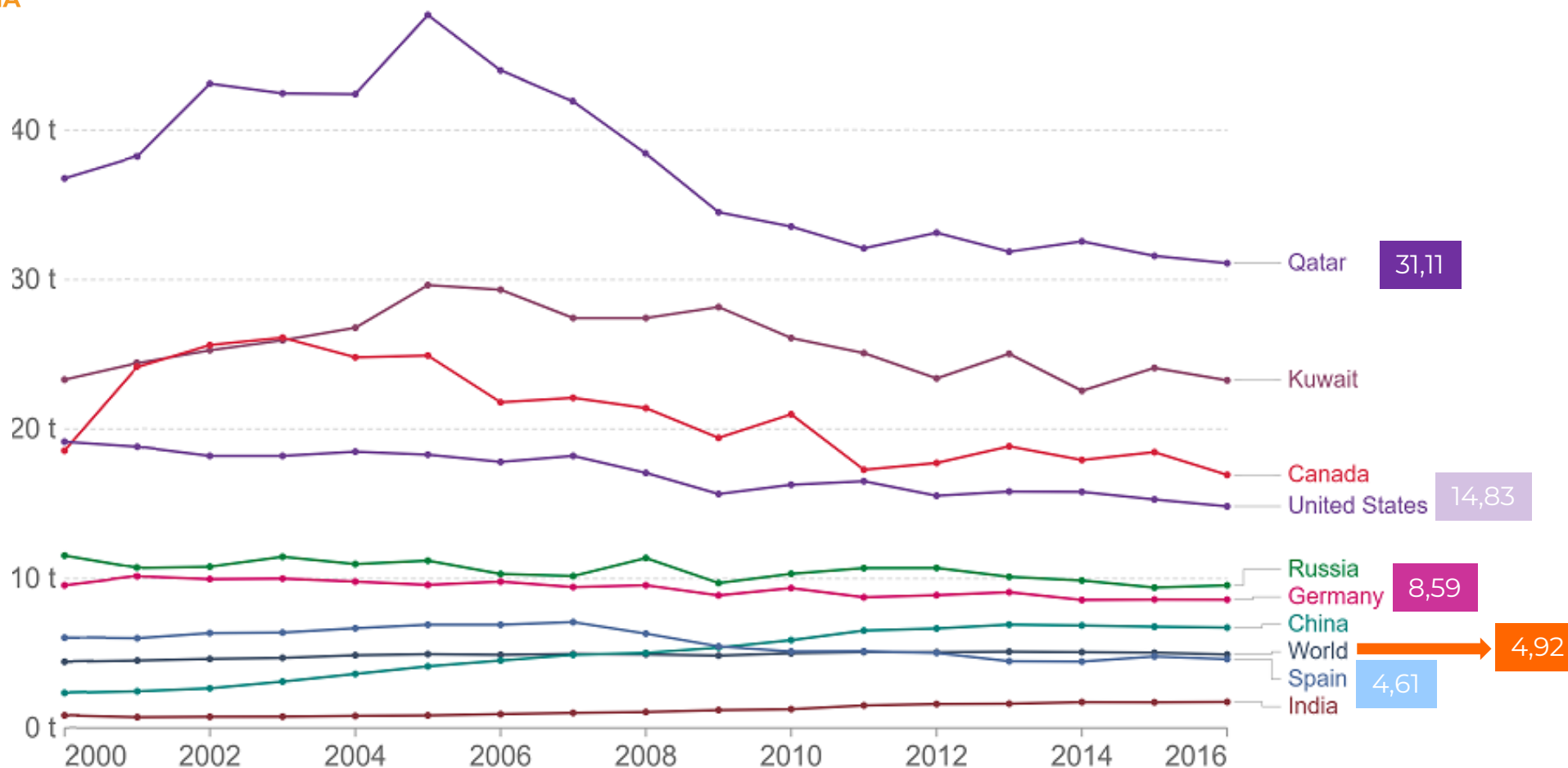
China
Estados Unidos
Unión Europea
Rusia
Indonesia
Brasil
Xapón



Fonte: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>. Datos de 2016

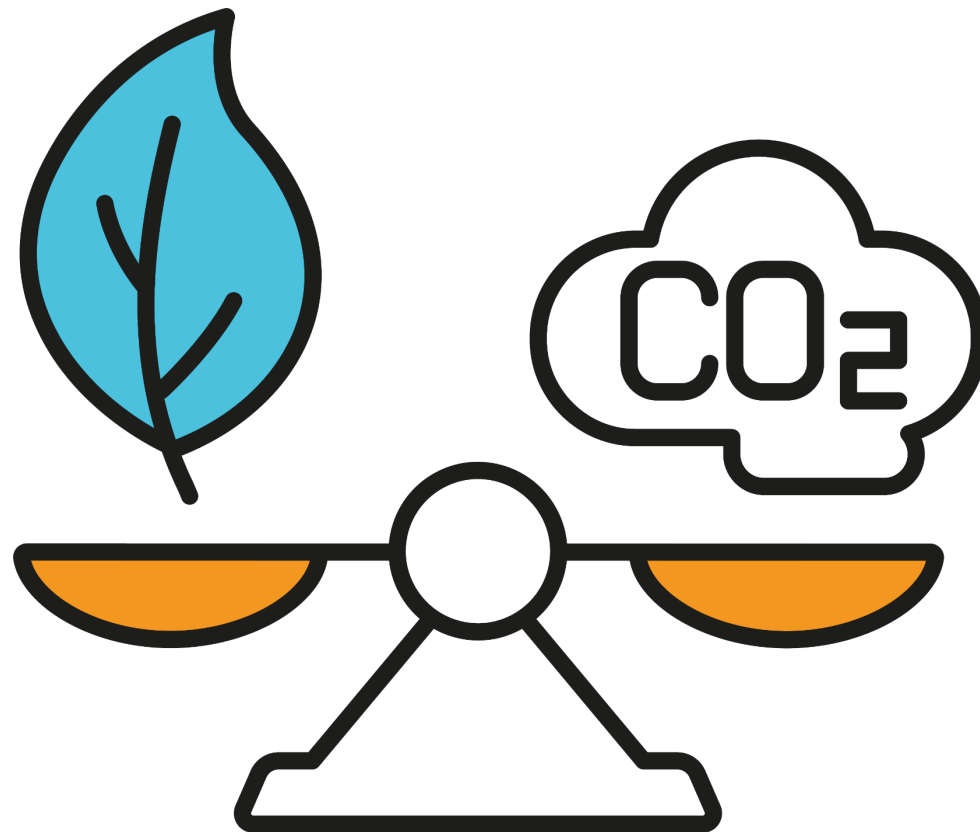


...e os datos de emisión GEI per cápita?



Fonte: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>. Datos de 2016

O reto





Obxectivo Axenda 2030
Desenvolvemento Sostible

“Garantir o acceso a unha enerxía alcanzable, segura, sostible e moderna para todos”

O sector enerxético (electricidade, calor e transporte) é responsable do 73,2 % das emisións de GEI no planeta

Acadar unha solución de **equilibrio** entre **garantir o acceso** universal da enerxía e **limitar os efectos** que sobre o clima ten a súa produción e consumo



Descarbonización

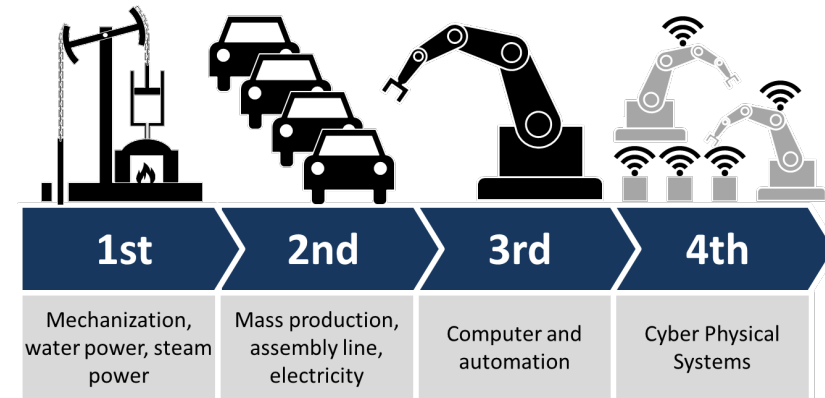
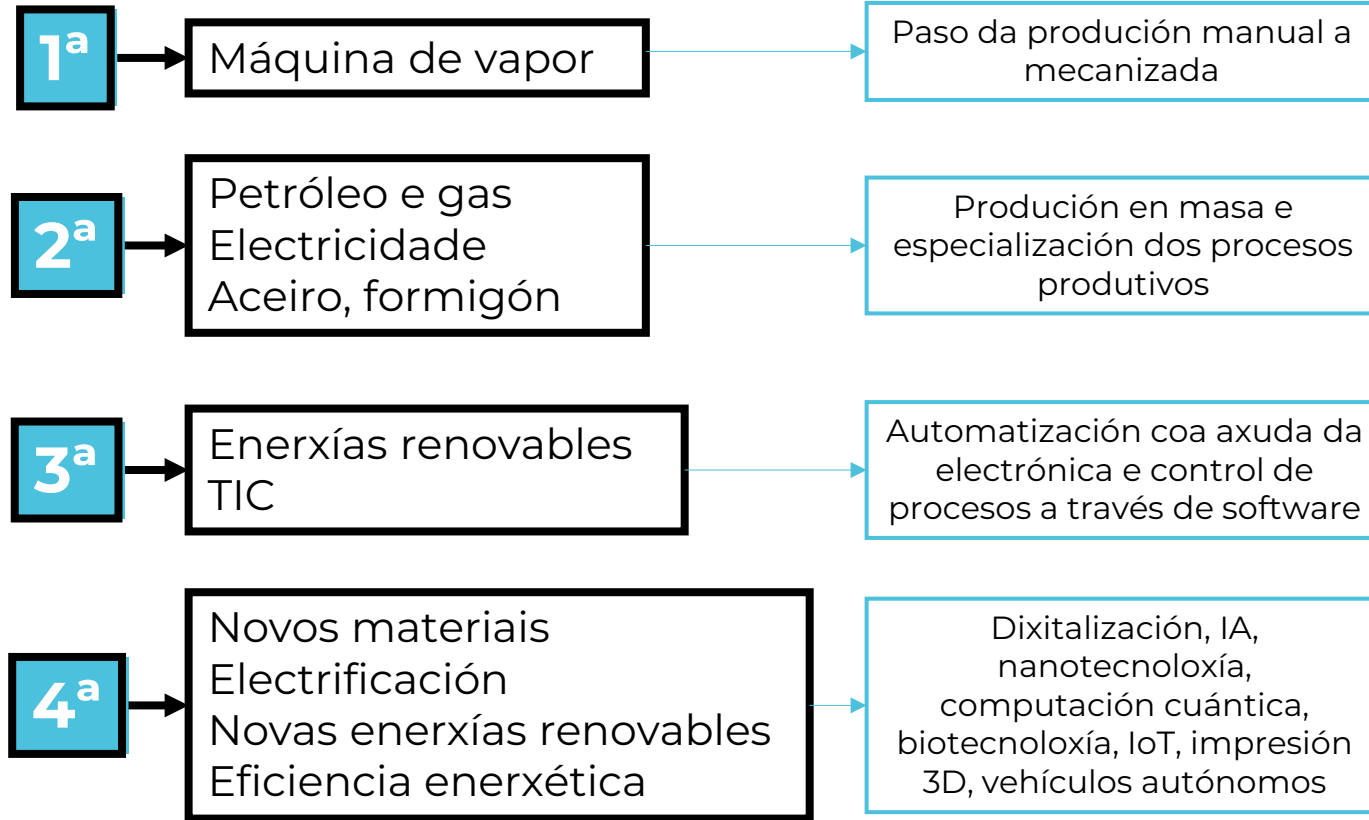


Necesidade dun novo modelo de xeración, distribución e consumo de enerxía



Transición enerxética

As transicións enerxéticas previas





Os obxectivos descarbonización

Metas do ODS “Energía asequible e non contaminante”

- ▶ De aquí a 2030, aumentar considerablemente a **proporción de enerxía renovable** no conxunto de fontes enerxéticas
- ▶ De aquí a 2030, duplicar a taxa mundial de mellora da **eficiencia enerxética**
- ▶ De aquí a 2030, aumentar a cooperación internacional para facilitar o acceso á **investigación e ás tecnoloxías** relativas á enerxía limpa e renovable, a eficiencia enerxética e as tecnoloxías avanzadas e menos contaminantes de combustibles fósiles

Ámbito	Emisións GEI		Mellora eficiencia enerxética	Cuota de enerxías renovables en consumo final		Edificios de consumo casi nulo	
	2030	2050	2030	2030	2050	Dic. 2018	Dic. 2020
Unión Europea (2020)	55%	80%*	32,5%	32%		Edificios nuevos públicos	Todos los edificios nuevos
España. “Plan Integrado de Energía y Clima 2021-2030” (PNIEC)	23%		39,5%	42%			
España. “Ley de Cambio Climático y Transición energética”	20%		35%	35%	100% del sistema eléctrico		

* O obxectivo de descarbonización implica acadar a **neutralidade climática en 2050**

Qué significa neutralidade climática?

A transición enerxética. Claves tecnolóxicas

1 Incremento de xeración de enerxías renovables e/ou limpas



2 Desenvolvemento de tecnoloxías de almacenamento de enerxía



3 Electrificación do transporte



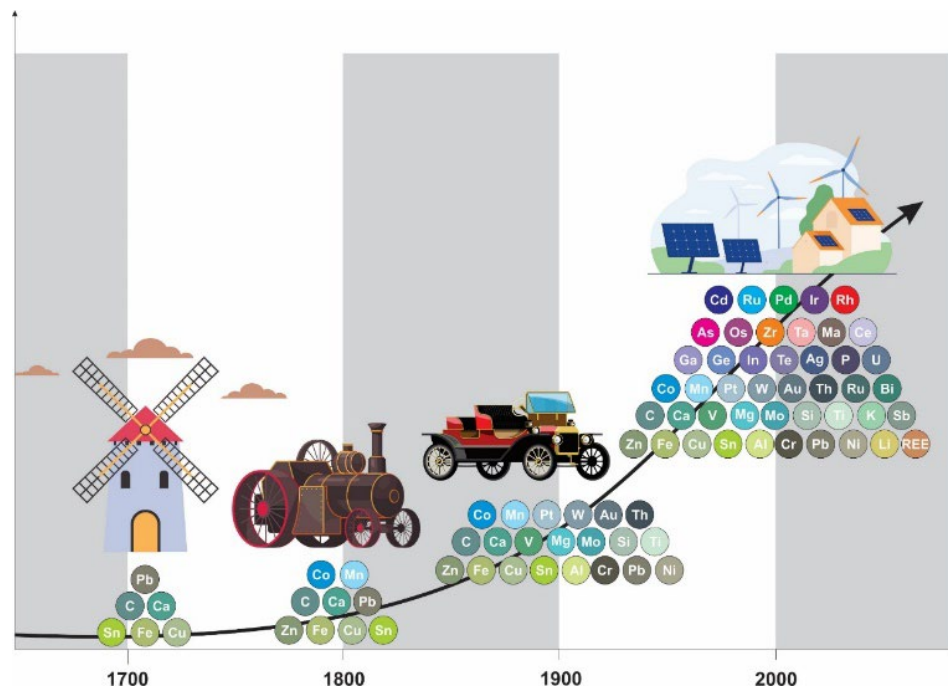
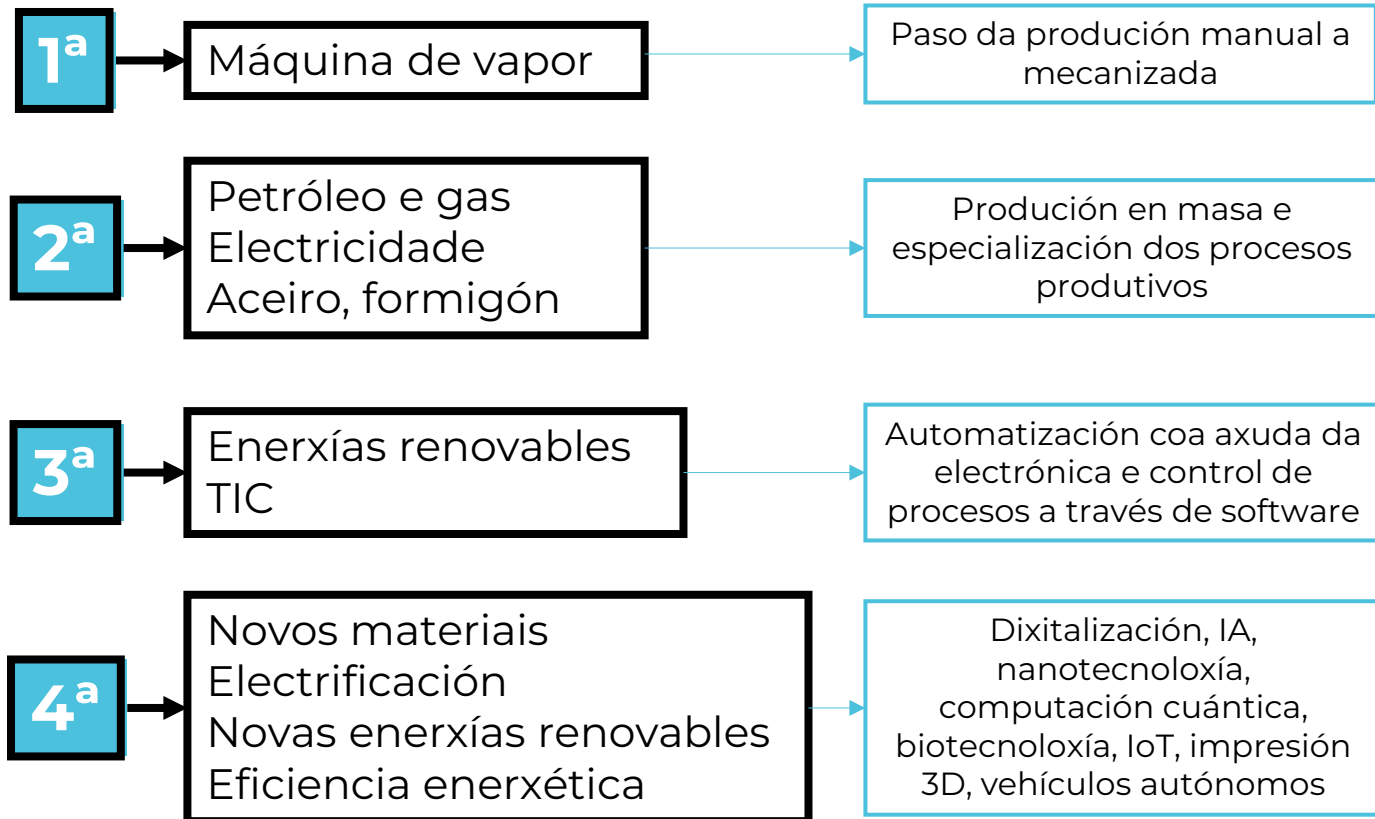
4 Eficiencia enerxética (edificación e industria)





3. O papel das materias primas minerais na transición enerxética

As transicións enerxéticas previas



Que materias primas minerais son?

LA MINERÍA Y LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables suponen una **OPORTUNIDAD DE CRECIMIENTO SOSTENIBLE** con grandes ventajas como la reducción de emisiones de gases contaminantes, el fin del uso de los combustibles fósiles y el ahorro energético. Para alcanzar estos objetivos, es imprescindible el uso de minerales:

Aerogeneradores

Nd	Fe	B	Dy
Ni	Si	Al	
Cu	Li	Ni	Na
Zn	Mo	Pb	

Placas solares

Si	Cu	
Mo	Be	
Ge	In	Ga

Minería Sostible de Galicia

LA MINERÍA Y LAS BATERÍAS

La transición hacia una economía verde requiere grandes dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica para su uso en dispositivos móviles, movilidad eléctrica y todo tipo de electrónica. Por ello, **SE HA DISPARADO LA DEMANDA DE METALES ESCASOS** como el cobalto, el níquel y el litio.

Baterías de móvil y ordenador

Li	Co	C
----	----	---

Baterías de coche eléctrico

Co	Ni	
Mn	Li	Al

Pilas Alcalinas

Zn	Mn	K
----	----	---

Pilas de Botón

Zn	K	Ag
----	---	----

Minería Sostible de Galicia

LA MINERÍA Y EL VEHÍCULO ELÉCTRICO

El camino hacia la **MOVILIDAD SOSTENIBLE** se inicia en la minería. Los metales son claves para continuar fabricando coches eléctricos cada vez más eficientes.

Batería

Li	Co	Ni
----	----	----

Cableado

Cu

Chasis y carrocería

Fe	Mn	Al
Mg	V	

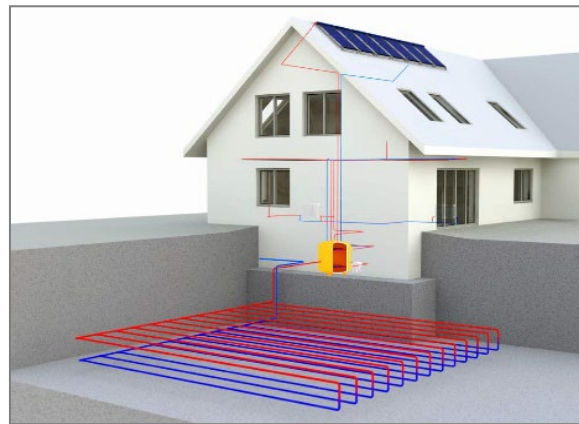
Motor

Cu	Np	Dy
----	----	----

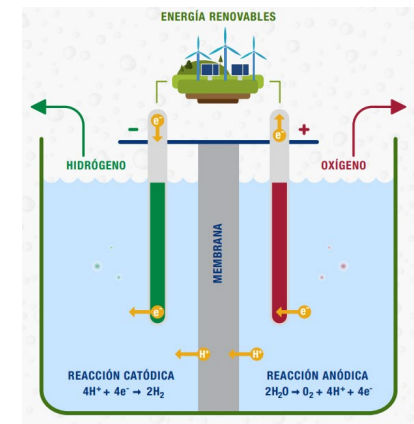
Minería Sostible de Galicia



Solar térmica. Silicio, cobre, molibdeno, berilio, xermanio, indio, galio



Xeotermia: polímeros, formigón, arenas, cobre, aceiros de alta calidade (níquel, cromo, molibdeno, titanio e manganeso)



Hidróxeno verde: Aceiro, titanio, hidróxido de potasio ou hidróxido de sodio. Fuente: IBERDROLA

Que materias primas minerais son?

	Eólica	Solar fotovoltaica	Solar térmica	Hidráulica	Xeotermia	Almac. enerxía	Nuclear	Carbón	Gas	Captura carbón	Nº tecnoloxías
Aluminio											6
Cromo											8
Cobalto											4
Cobre											10
Grafito											1
Indio											2
Ferro											2
Chumbo											5
Litio											1
Manganeso											7
Molibdeno											8
Neodimio											1
Niquel											8
Prata											3
Titanio											5
Vanadio											3
Zinc											5
Total	10	8	2	8	6	11	11	9	8	6	

Selección dos **17 elementos máis relevantes** nas principais tecnoloxías xeración e almacenamento enerxía

Algunhas destas materias son **esenciais** para determinadas tecnoloxías:

- ▶ Solar fotovoltaica: Al
- ▶ Eólica: terras raras e Zn
- ▶ Xeotermia: Ni e Cr
- ▶ Redes eléctricas: Al
- ▶ Almacenamento: Cu, Co, Ni, terras raras e Al

Cu, Ni, Mo, Cr, Mn son necesarios en moitas tecnoloxías (mínimo 7)

Grafito e litio só se empregan na fabricación de tecnoloxías de almacenamento

Fonte: World Bank, 2020. *Minerals for climate action. The mineral intensity for the energy clean transition*

Que materias primas minerais son?

	Eólica	Solar fotovoltaica	Solar térmica	Hidráulica	Xeotermia	Almac. enerxía	Nuclear	Carbón	Gas	Captura carbón	Nº tecnoloxías
Aluminio	■	■				■	■	■	■	■	6
Cromo	■			■	■	■	■	■	■	■	8
Cobalto					■			■	■	■	4
Cobre	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	10
Grafito						■					1
Indio		■					■				2
Ferro	■					■					2
Chumbo	■	■		■		■	■				5
Litio						■					1
Manganeso	■			■	■	■		■	■	■	7
Molibdeno	■	■		■	■			■	■	■	8
Neodimio	■										1
Niquel	■	■		■	■	■	■	■	■	■	8
Prata		■	■				■				3
Titanio				■	■		■	■	■	■	5
Vanadio						■	■	■			3
Zinc	■	■		■		■	■				5
Total	10	8	2	8	6	11	11	9	8	6	

Selección dos **17 elementos máis relevantes** nas principais tecnoloxías xeración e almacenamento enerxía

Dependendo da **cantidade de tecnoloxías** nas que se empregan

Concentrado

Os que se empregan só en unha/dous tecnoloxías: Li, grafito.

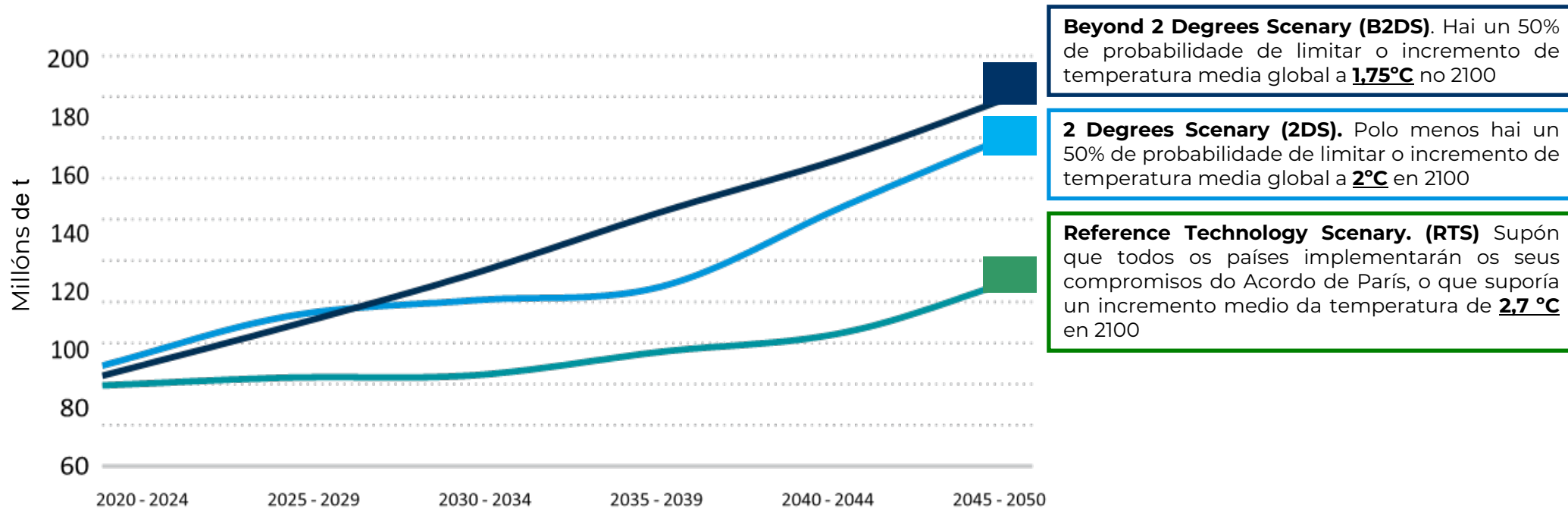
O desenvolvemento e implantación das tecnoloxías asociadas **induce incerteza**

Transversal

Os que se empregan en varias tecnoloxías de xeración e almacenamento de enerxía.

Demanda **estable**: Cu, Cr, Mo

...e en que cantidades?



Beyond 2 Degrees Scenario (B2DS). Hai un 50% de probabilidade de limitar o incremento de temperatura media global a **1,75°C** no 2100

2 Degrees Scenario (2DS). Polo menos hai un 50% de probabilidade de limitar o incremento de temperatura media global a **2°C** en 2100

Reference Technology Scenario. (RTS) Supón que todos os países implementarán os seus compromisos do Acordo de París, o que suporía un incremento medio da temperatura de **2,7 °C** en 2100

Estimación da demanda media anual de minerais para 2050 baixo diferentes escenarios propostos pola International Energy Agency (IEA). Considéranse os 17 elementos necesarios para as tecnoloxías de xeración e almacenamento de enerxía e unhas hipótesis relativas as tecnoloxías de almacenamiento de enerxía

Fonte: World Bank, 2020. *Minerals for climate action. The mineral intensity for the energy clean transition*

...e en que cantidades?

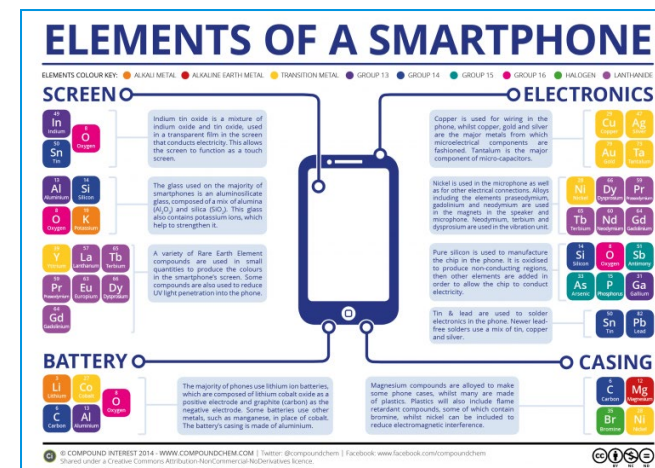
Elemento	Producción total anual 2018 (miles t)	Estimación de demanda anual para 2050 para fabricación de tecnoloxías de xeración e almacenamento de enerxía (miles t)	Porcentaxe 2050/2018
Aluminio	60.000	5.583	9%
Cromo	36.000	366	1%
Cobalto	140	644	460%
Cobre	21000	1.378	7%
Grafito	930	4.590	494%
Indio	0.75	1.73	231%
Ferro	1.200.000	7.584	1%
Chumbo	4400	781	18%
Litio	85	415	488%
Manganeso	18.000	694	4%
Molibdeno	300	33	11%
Neodimio	23	8.4	37%
Níquel	2,300	2.268	99%
Prata	27	15	56%
Titanio	6100	3.44	0%
Vanadio	73	138	189%

Para algunhas sustancias (Al, Cu, Fe) a porcentaxe de demanda en 2050 fronte a produción en 2018 é pequena, pero a estimación de **demanda anual absoluta en 2050 é moi elevada**

- ▶ Necesidade dunha ampla e crecente variedade de materiais con **propiedades específicas** (electrónicas, ópticas, magnéticas, mecánicas) para fabricar circuitos integrados e dispositivos
- ▶ Aumento substancial da demanda respecto a produción actual
- ▶ Velocidade de desenvolvemento de novas tecnoloxías TIC, que pode superar as escalas de tempo das cadeas de subministración das materias primas

Elemento	Móviles	PCs	Pantallas planas TV	Portátiles e tablets	5G	Baterías recargables	Fibra óptica
Galio	X	X	X	X			X
Germanio	X	X		X			
Indio	X	X	X	X			
Terras raras	X	X	X	X	X		
Selenio						X	
Tántalo	X		X	X			
Te						X	

Uso de materias primas minerais en TIC. Fuente: UNCTAD





4. O abastecimento de materias primas minerais. A matriz de risco de demanda

..e hai riscos de abastecemento?

Matriz de risco da demanda

Analízase como a demanda xeral pódese ver afectada por:

- **concentración** de uso de cada sustancia na tecnoloxía e/ou
- polo **desenvolvemento** de novas tecnoloxías

A matriz de risco da demanda que se presenta está feita para un **escenario 2DS** e proporciona un marco xeral de tendencias para 2050 tomando como referencia os datos de 2018

Imos ver como se constrúe;



Índice de demanda

Mide en que medida a **producción no 2050 se ten que escalar** (o referente é a produción de 2018) para atender a demanda para as tecnoloxías de enerxía

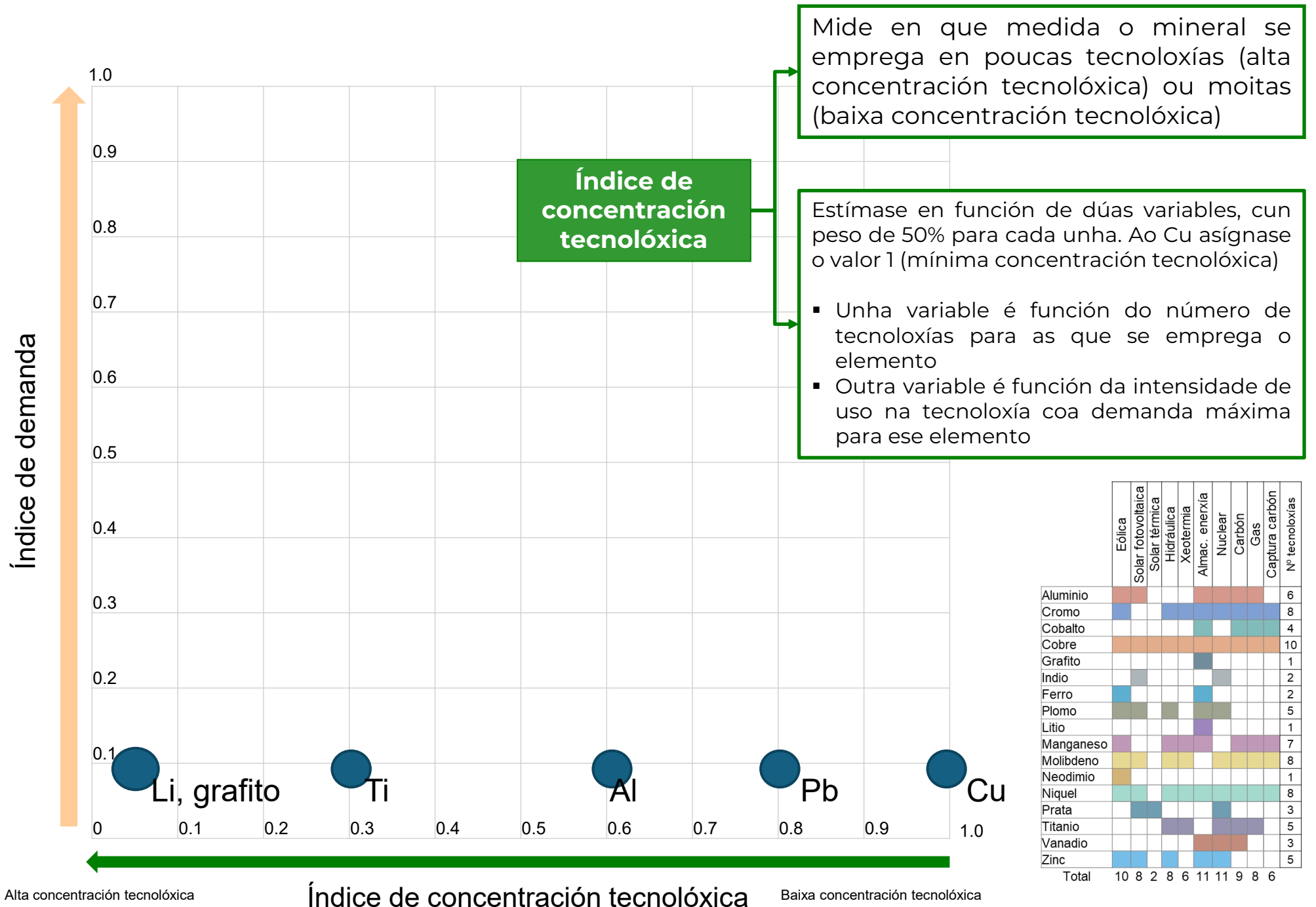
Índice de concentración tecnolóxica

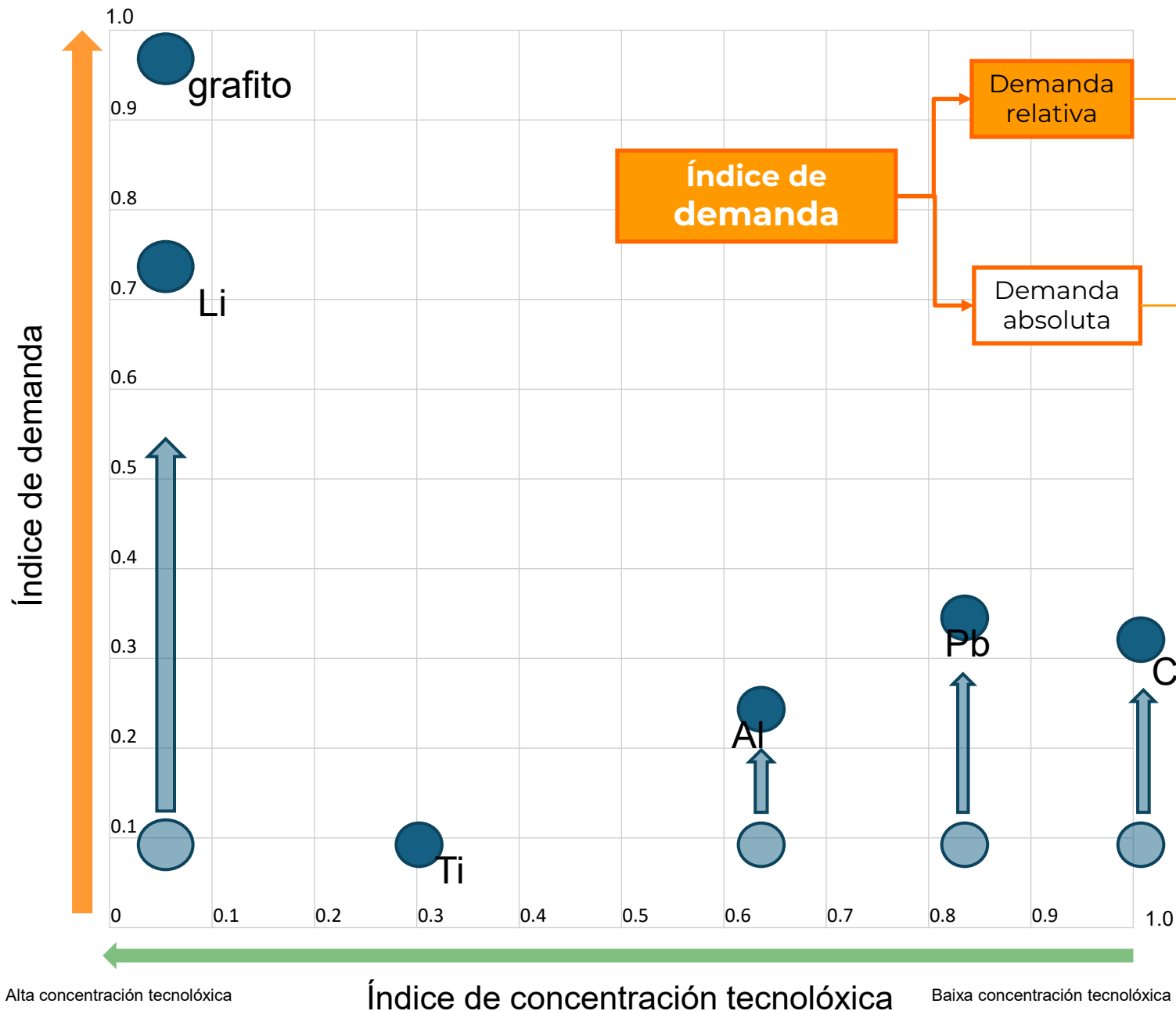
Mide en que medida o mineral **se emprega en poucas tecnoloxías** (alta concentración tecnolóxica) ou moitas (baixa concentración tecnolóxica)

Alta concentración tecnolóxica

Índice de concentración tecnolóxica

Baixa concentración tecnolóxica





Índice de demanda

Demanda relativa

Demanda absoluta

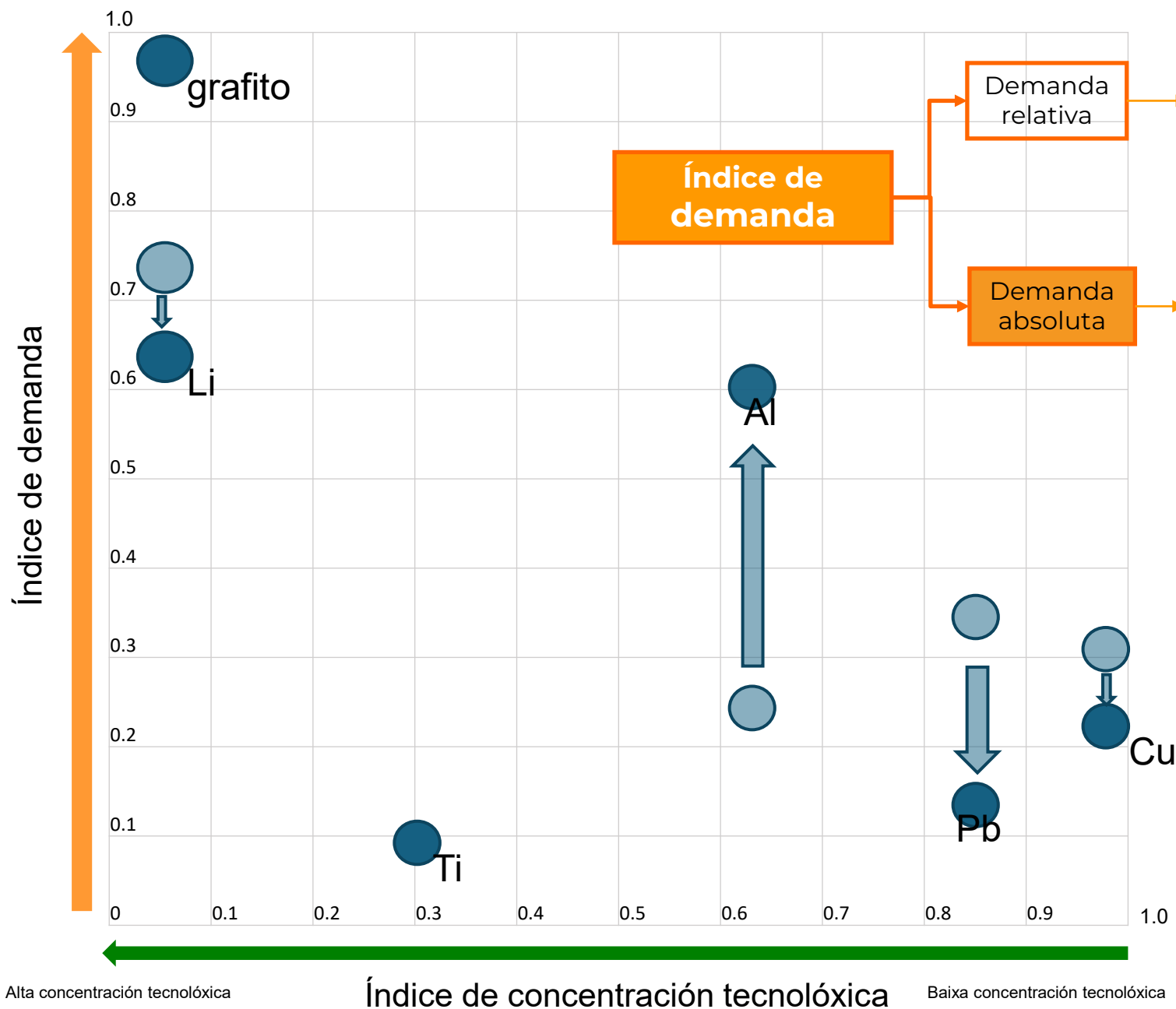
A relación entre a demanda estimada para 2050 para tecnoloxías de enerxía e a produción total en 2018

Valor máximo: grafito (1)

Estimación da demanda anual en 2050 para tecnoloxías de enerxía

Valor máximo: aluminio (1)

Elemento	Producción total anual 2018 (miles t)	Estimación de demanda anual para fabricación de tecnoloxías de xeración e almacenamento de enerxía (miles t)	Porcentaxe 2050/2018
Aluminio	60.000	5.583	9%
Cromo	36.000	366	1%
Cobalto	140	644	460%
Cobre	21000	1.378	7%
Grafito	930	4.590	494%
Indio	0.75	1.73	231%
Ferro	1.200.000	7.584	1%
Chumbo	4400	781	18%
Litio	85	415	488%
Manganeso	18.000	694	4%
Molibdeno	300	33	11%
Neodimio	23	8.4	37%
Níquel	2.300	2.268	99%
Prata	27	15	56%
Titanio	6100	3.44	0%
Vanadio	73	138	189%



Demanda relativa

A relación entre a demanda estimada para 2050 para tecnoloxías de enerxía e a produción total en 2018

Valor máximo: grafito (1)

Demanda absoluta

Estimación da demanda anual en 2050 para tecnoloxías de enerxía

Valor máximo: aluminio (1)

Risco de abastecemento



1

Minerais de medio impacto

- ▶ Cada mineral se emprega nun rango pequeno de tecnoloxías e a demanda relativa e absoluta son baixas
- ▶ **Non quere dicir que non son importantes** para o desenvolvemento de determinadas tecnoloxías (por exemplo, o Neodimio é unha terra rara esencial para a tecnoloxía eólica offshore)

Risco de abastecemento



2

Minerais de alto impacto

- ▶ Aínda que se usan nun rango pequeno de tecnoloxías a **demanda relativa é moi elevada**
- ▶ Son basicamente minerais empregados en tecnoloxías de almacenamento de enerxía
- ▶ Para o litio, que só se emprega para fabricación de baterías, estímase unha demanda relativa do 488% en 2050 respecto á produción de 2018 (escenario 2DS)

Risco de abastecemento

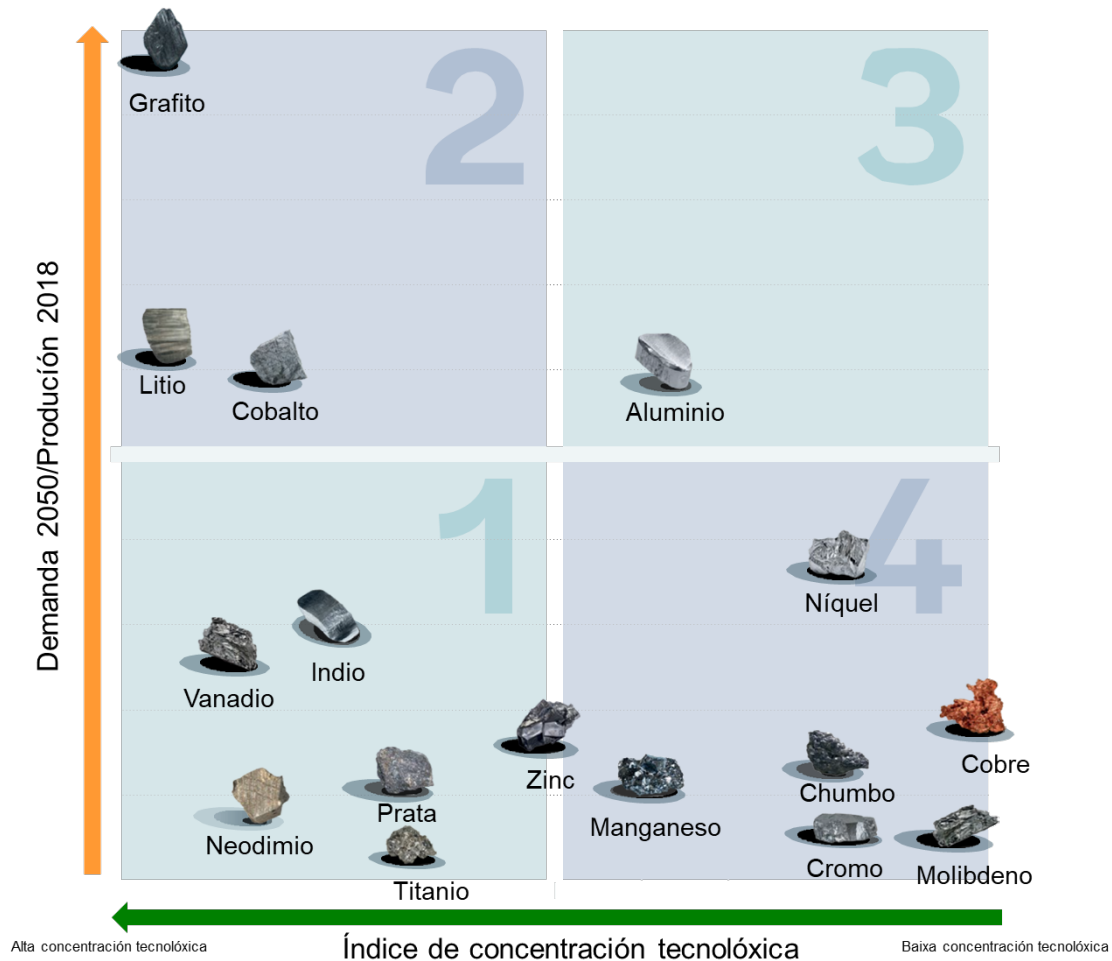


3

Minerais de alto impacto transversais

- ▶ Son críticos porque **a demanda total para tecnoloxías de enerxía é elevada e se empregan en moitas tecnoloxías**
- ▶ O aluminio emprégase en tecnoloxías de xeración e almacenamento. Aínda que a demanda relativa é 9% a demanda absoluta estimada para 2050 é a máxima. Estímase unha producción acumulada de 102.8 millóns de toneladas para 2050 para tecnoloxías de enerxía

Risco de abastecemento



4

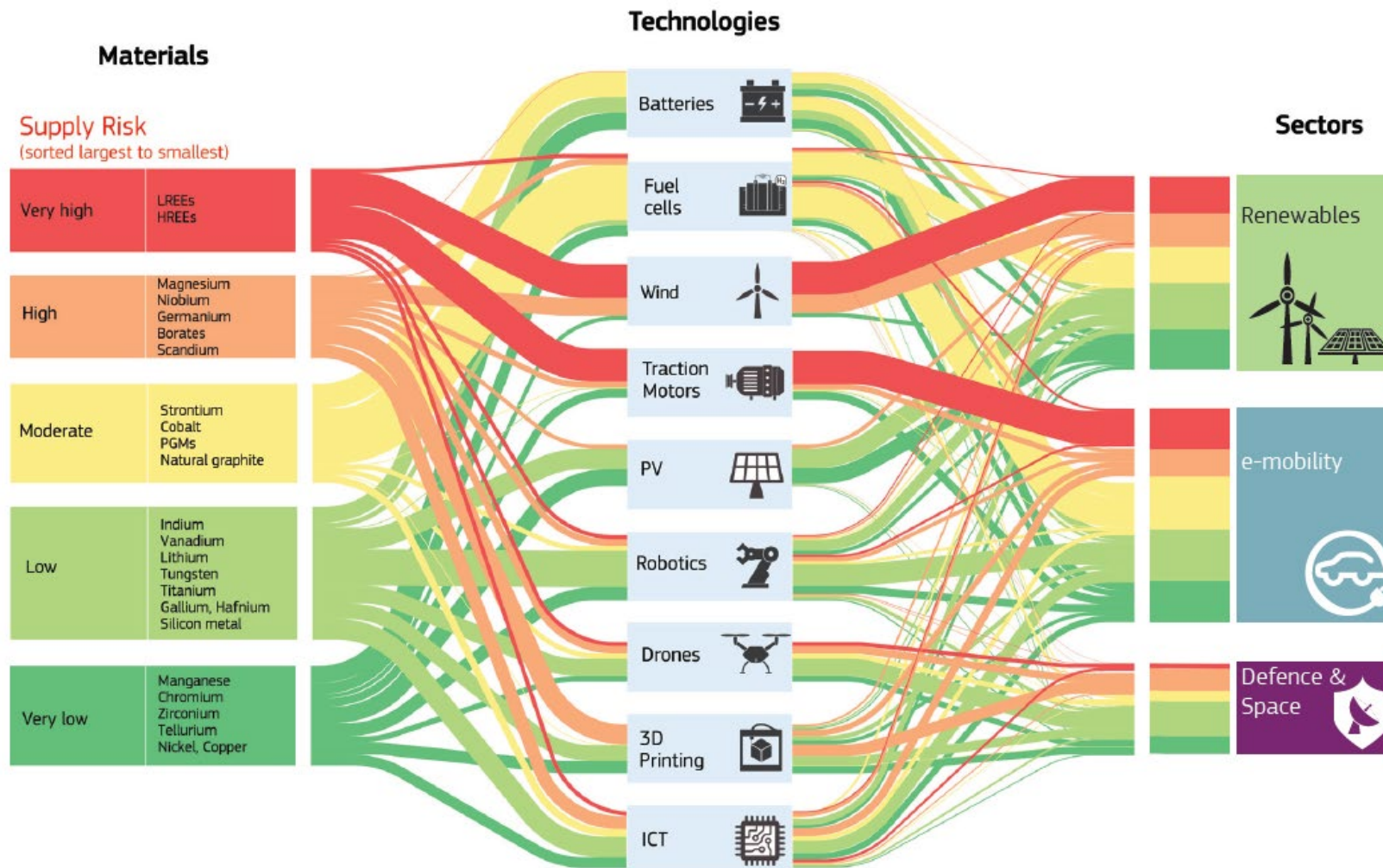
Minerais transversais

- ▶ Son importantes porque a **demanda destas materias existirá**, porque empréganse en moitas tecnoloxías e a demanda non dependerá en exceso de cambios nas tecnoloxías
- ▶ O cobre emprégase en 10 tecnoloxías. **O cobre é o elemento menos impactado** polos cambios de intensidade de uso de diferente tecnoloxías



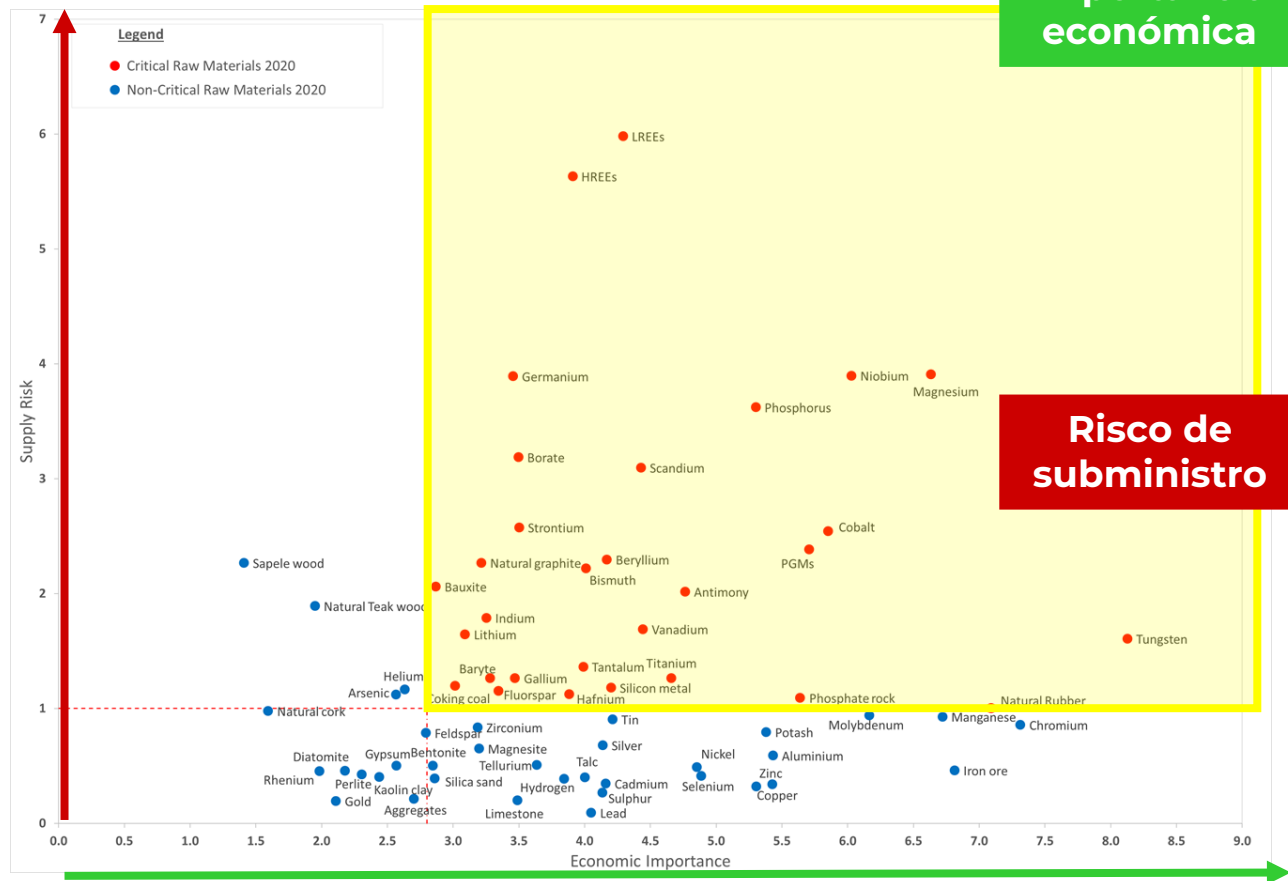
5. A situación na Unión Europea

Risco de abastecemento na UE



Fluxos de materias primas minerais e riscos de subministro para a UE para as 9 tecnoloxías identificadas estratéxicas. Fonte: European Comission, 2020

Risco de abastecemento na UE



Importancia económica

Análizase con detalle a asignación das materias primas aos seus usos finais nas aplicacións industriais

Risco de subministro

- Concentración a nivel nacional da producción mundial de materias primas fundamentais e o abastecemento á EU
- Gobernanza dos países provedores
- Contribución da reciclaxe
- Posibilidade de substitución
- Dependencia con respecto a importacións da UE e as restricións do comercio en terceiros países

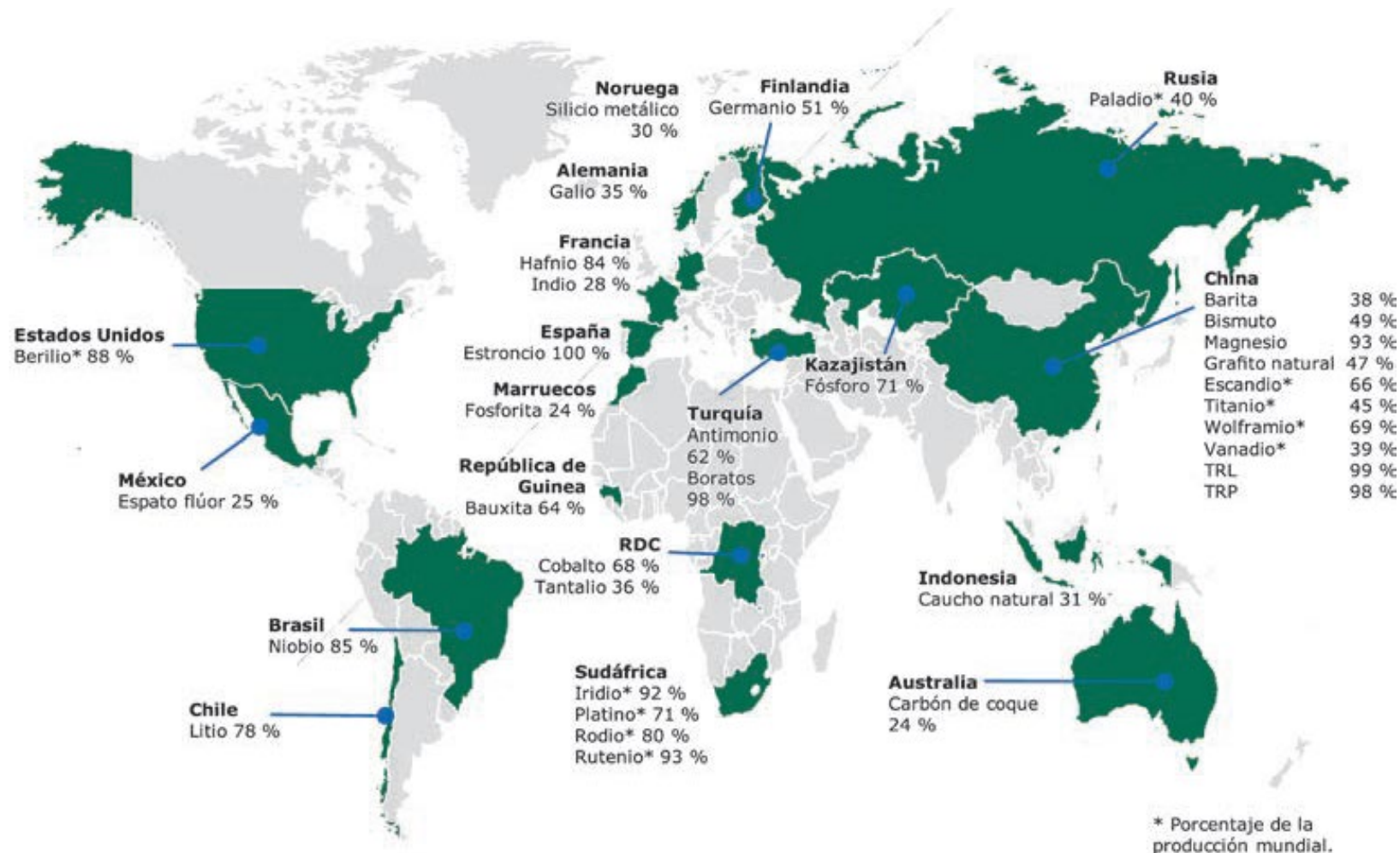
Materias primas fundamentais 2023		
Antimonio	Espato flúor	Magnesio
Arsénico	Estroncio	Manganeso
Barita	Feldespato	Metales grupo platino
Bauxita	Fosforita	Niobio
Berilio	Fósforo	Níquel
Bismuto	Galio	Silicio metálico
Borato	Germanio	Tantalio
Carbón de coque	Grafito natural	Tierras raras ligeras
Cobalto	Hafnio	Tierras raras pesadas
Cobre	Helio	Titanio
Escandio	Litio	Vanadio
		Wolframio



Unión Europea. https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_es

- A listaxe de materias primas minerais **fundamentais** actualízase cada 3 anos. A listaxe de 2023 ten 34 fronte aos 14 de 2011
- A partir das 34 materias primas fundamentais, creouse unha lista específica de 17 materias primas **estratéxicas** (amarelo) para os materiais cuxo subministración se espera que creza de forma exponencial e cuxas necesidades de produción son complexas e que, por tanto, corren maior risco de sufrir problemas de subministración.

Risco de abastecemento na UE



Principal dependencia de la UE de materias primas críticas por país. Fuente: European Commission, 2020



6. O papel da reciclaxe na transición enerxética

...e a reciclaxe, que papel xoga?





Extraer



Producir

Modelo lineal de producción vehículo



Usar



Tirar

Buscar as rochas e minerais



Extraer rochas e minerais



Fabricación de aceiro



Deseño das pezas e compñentes



Produción e fabricación



Comercialización e distribución



Consumo



Residuo



Restauración





Obxectivos

Manter o valor dos produtos, os materiais e os recursos (auga, enerxía, bens) na economía o maior tempo posible

Minimizar a xeración de residuos

...e a reciclaxe, que papel xoga?

- ▶ A reciclaxe contribúe a manter na economía o maior tempo os materiais e é un **elemento determinante e necesario** na transición enerxética
- ▶ As variables coas que se traballa na reciclaxe son a **taxa de reciclaxe (RR)** ao final da vida útil e o **contido reciclado (RC)**
 - ▶ **RR (Recycled Rate):** porcentaxe de material que se recicla ao final da vida útil (End Of Life –EOL-)
 - ▶ **RC (Recycled Content):** porcentaxe de material reciclado –secundario- respecto ao total que se emprega como materia prima (primario+secundario)
- ▶ As materias que máis se reciclan son o ferro e o aceiro
 - O aceiro é 100% reciclable. Por exemplo, todo o aceiro producido en EEUU ten contido reciclado, acadando o 100% nalgúns casos. Estímase que o 50% do aceiro que se emprega en EEUU é reciclado
 - Por cada t de aceiro e ferro reciclado evítase a extracción de 1,5 de mineral de ferro
 - A reciclaxe de 1t de aceiro evita a emisión de 1t de CO_{2eq}



Fonte: "Siderúrgica Sevillana"

Elemento	Taxa de reciclaxe ao final da vida útil (RR)	Contido Reciclado (RC)
Aluminio	42%–70%	34%–36%
Cobalto	68%	32%
Cobre	43%–53%	20%–37%
Litio	<1%	<1%
Níquel	57%–63%	29%–41%



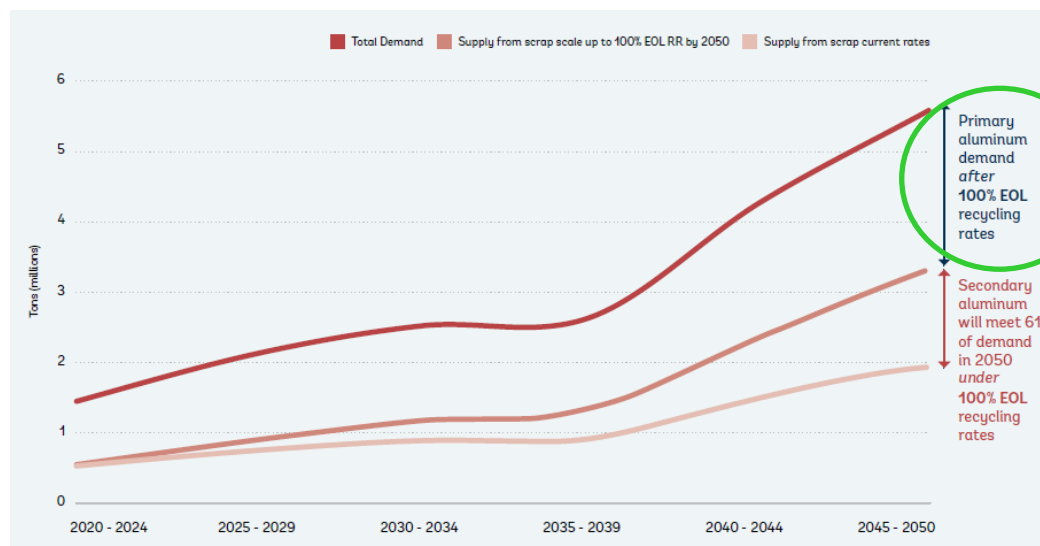
... problemas non resolto na reciclaxe

- ▶ O **custo de reciclaxe** é determinante para levalo a cabo. Se o custo da extracción do mineral primario (mina) é menor que do secundario (reciclado), pouca reciclaxe se fará.
- ▶ As **melloras tecnolóxicas** xogan un papel esencial no desenvolvemento da reciclaxe e da súa viabilidade técnica e económica.
- ▶ Nalgúns casos o material reciclado **non ten a mesma calidade** que o material primario. Por exemplo: o cobalto usado para fabricar baterías necesita unha pureza extrema e non se pode usar material reciclado.
- ▶ A fibra de vidro das pás das turbinas é **extremadamente difícil de reciclar**.
- ▶ Nalgúns procesos de reciclaxe **hai perda de material** e non se pode técnica ou economicamente recuperar o 100% do material (por exemplo o Li das baterías ión-Li).

O establecemento de **políticas** apropiadas e as **melloras tecnolóxicas** son fundamentais no desenvolvemento da industria da reciclaxe de materiais, para reducir os custos e fomentar a innovación

... problemas non resolto na reciclaxe

- ▶ As taxas de reciclaxe varían substancialmente para as diferentes materias, en función de aspectos tecnolóxicos e económicos.
- ▶ O incremento das taxas de reciclaxe implica unha **baixada da demanda de minerais primarios**, polo que a reciclaxe é unha **práctica necesaria**. No obstante, aínda que se acadase o 100% das taxas de reciclaxe ao final da vida útil, é necesaria a extracción de mineral primario para satisfacer a estimación da demanda.



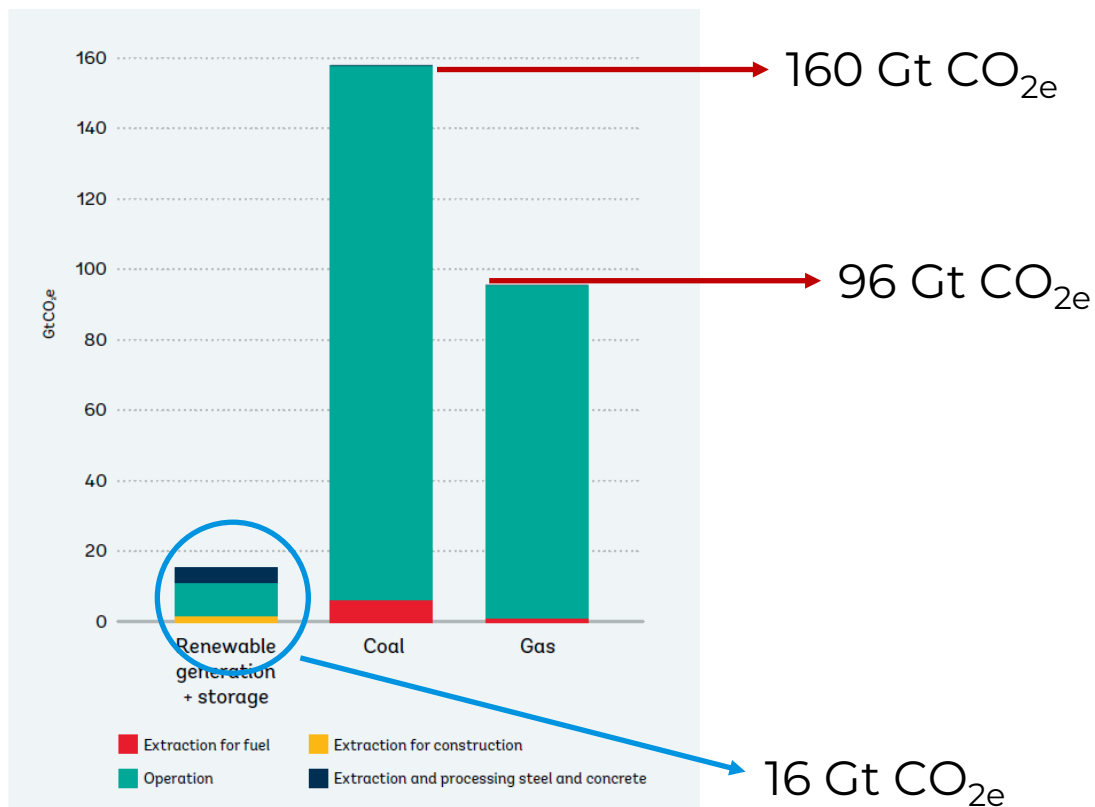
Aínda que se poidera reciclar o 100% do material (100% RR EOL), rara vez se acadaría o 100% da RC



Para satisfacer as estimacións de demanda ten que manterse a extracción dunha cantidade de mineral primario (extracción en mina)

Estimación de demanda de Al primario e secundario supoñendo que as taxas de reciclaxe ao final da vida útil aumentan anualmente ata alcanzar o 100% en 2025 (actualmente están entre 42 e 70%). Escenario 2DS.

...e que pasa coas emisións GEI?



Estimación de GPW (**Global Warming Potential**) acumulado hasta 2050 procedente da extracción e procesado de minerais para xeración e almacenamento de enerxía con tecnoloxías renovables comparado coas tecnoloxías de combustibles fósiles. Escenario 2DS e 17 minerais do Informe *World Bank 2020*

A emisión de GEI imputable á extracción e procesado de minerais para **fabricar** as tecnoloxías de xeración de enerxía con renovables é **probablemente maior** que a correspondente para fabricar e construír as tecnoloxías de xeración a partir de queima de combustibles fósiles

...pero.....

Cando se computan ademais os GEI vinculados á **xeración** e almacenamento de enerxía, as cifras son considerablemente menores



A emisión de GEI vinculada á extracción e procesado de minerais para fabricación e xeración con renovables e almacenamento de enerxía é **un 6% da emisións dos GEI vinculada aos combustibles fósiles** (escenario 2DS)

....e que pasa cos GEI?



Emisións de GEI acumuladas para tecnoloxías renovables hasta 2025 comparadas co índice de demanda. Emisión en MtCO_{2e}. Escenario 2DS

- Para o **aluminio** estimase unha emisión de 842,7 MtCO_{2e} acumuladas en 2050, dado que a fotovoltaica é a tecnoloxía coa maior intensidade de uso no escenario 2DS e supón o 87% da demanda de aluminio
- Para o **grafito** estímase una emisión acumulada de 363,5 MtCO_{2e} considerase o seu uso na fabricación de ánodos na maior parte das baterías
- Para **níquel** estímase unha emisión acumulada de 211,6 MtCO_{2e} e emprégase nunha ampla gama de tecnoloxías
- Non se recolle o **aceiro**, do que se estiman emisións acumuladas 3,7 GtCO_{2e}, mais de 4 veces superiores ao GPW do Al.

O aluminio



Proceso Bayer Proceso Hall-Hérout

Producción do Al primario a partir de bauxita: (i) procesado da bauxita para obter alúmina (óxido de aluminio) mediante a trituración, lavado, tratamento e cocción da bauxita (proceso Bayer) e (ii) extracción do Al da bauxita mediante electrólise (proceso Hall-Hérout). Prodúcese emisións en todas as etapas, especialmente na electrólise, con **emisións directas de CO₂ e consumo intensivo de enerxía**.

As emisións GEI/t Al poderían baixar substancialmente (especialmente na fase final) como resultado da transición enerxética. Estímase unha redución de 840 MtCO_{2e} a menos de 500 MtCO_{2e} co emprego de tecnoloxías renovables de xeración de enerxía e a reciclaxe (o GPW do Al primario estímase entre 8,7 e 30,5 veces do GPW do Al secundario) No obstante, o proceso de produción de Al produce **emisións directas de CO₂**, polo que son necesarios avances tecnolóxicos que reduzan a emisión de CO₂ na electrólise.

Proceso de fabricación de aluminio a partir de bauxita e emisións GEI



7. Conclusións



Conclusiones

Demanda

A **demanda de minerais** necesarios para fabricar as tecnoloxías de xeración e almacenamento de enerxía necesarias para a descarbonización **aumentará substancialmente hasta 2050**, tanto en termos relativos como absolutos

Se estiman incrementos de demanda relativa de hasta 500%, especialmente para minerais empregados en **tecnoloxías de almacenamento de enerxía**: litio, grafito e cobalto

Algunhas tecnoloxías implicadas na transición enerxética están en desenvolvemento, polo que **é difícil prever a demanda** dos minerais implicados nestas tecnoloxías

Para os países que teñen no seu territorio estas sustancias preséntanse **oportunidades e riscos**, especialmente en países en vías de desenvolvemento. Hai retos **sociais e medioambientais** moi relevantes

Vulnerabilidade demanda

O desenvolvemento da tecnoloxía das enerxías renovables require **dispoñibilidade dunha variedade de minerais, así como prezos estables** e un mercado coas mínimas garantías

A **vulnerabilidade** na demanda depende da **concentración tecnolóxica e do índice da demanda** (que a súa vez depende da demanda relativa respecto a 2018 e da demanda absoluta)

A **Unión Europea** identifica as materias que considera **críticas** para garantir o subministro de materiais das tecnoloxías identificadas como estratéxicas



Conclusiones

Reciclaixe

Reciclaixe, reparación e reutilización teñen un **papel determinante** na redución da demanda de minerais primarios para as tecnoloxías limpas

A pesar de que se estima que a porcentaxe de reciclaixe aumenta substancialmente, **a extracción de minerais primarios aínda será necesaria** no escenario actual

É necesario incentivar accións para responder aos retos dos procesos tecnolóxicos da reciclaixe (baixada de custos, desenvolvemento novos procesos, entre outras)

O non resolto

Os datos que se presentan están baseados nun modelo no que non se inclúen os **riscos ambientais e sociais**.

Desde unha perspectiva ambiental, por exemplo, a intensidade **de uso da auga** do sector mineiro e o **impacto da deforestación** deben ser integrados no modelo.

Desde unha **perspectiva social**, analizar cuestións como o impacto de minería sobre as comunidades locais é vital para garantir que a transición enerxética sexa beneficiosa para todas as persoas.



Algunhas cuestións

O dato de **consumo de materias primas minerais per cápita** é igual para todos os países?

.....

As estimacións de necesidades de materias primas minerais para transición enerxética dependen das hipóteses de **consumo** de enerxía?

.....

A demanda de minerais para fabricar as tecnoloxías de renovables depende da **vida útil** das tecnoloxías?

.....

As estimacións de necesidades de materias primas para a transición enerxética dependen da intensidade de uso das diferentes tecnoloxías?

.....

Como inflúen nas estimacións do GPW as **leis dos minerais**?

I Olimpíada da Enerxía

Escola de Enxeñaría de Minas e Enerxía

Curso 2024 - 2025



Proxecto financiado no marco das axudas da FECYT, en réxime de concorrencia competitiva, para a realización de actividades no ámbito do fomento da cultura científica, tecnolóxica e da innovación, referencia FCT-23-19535.