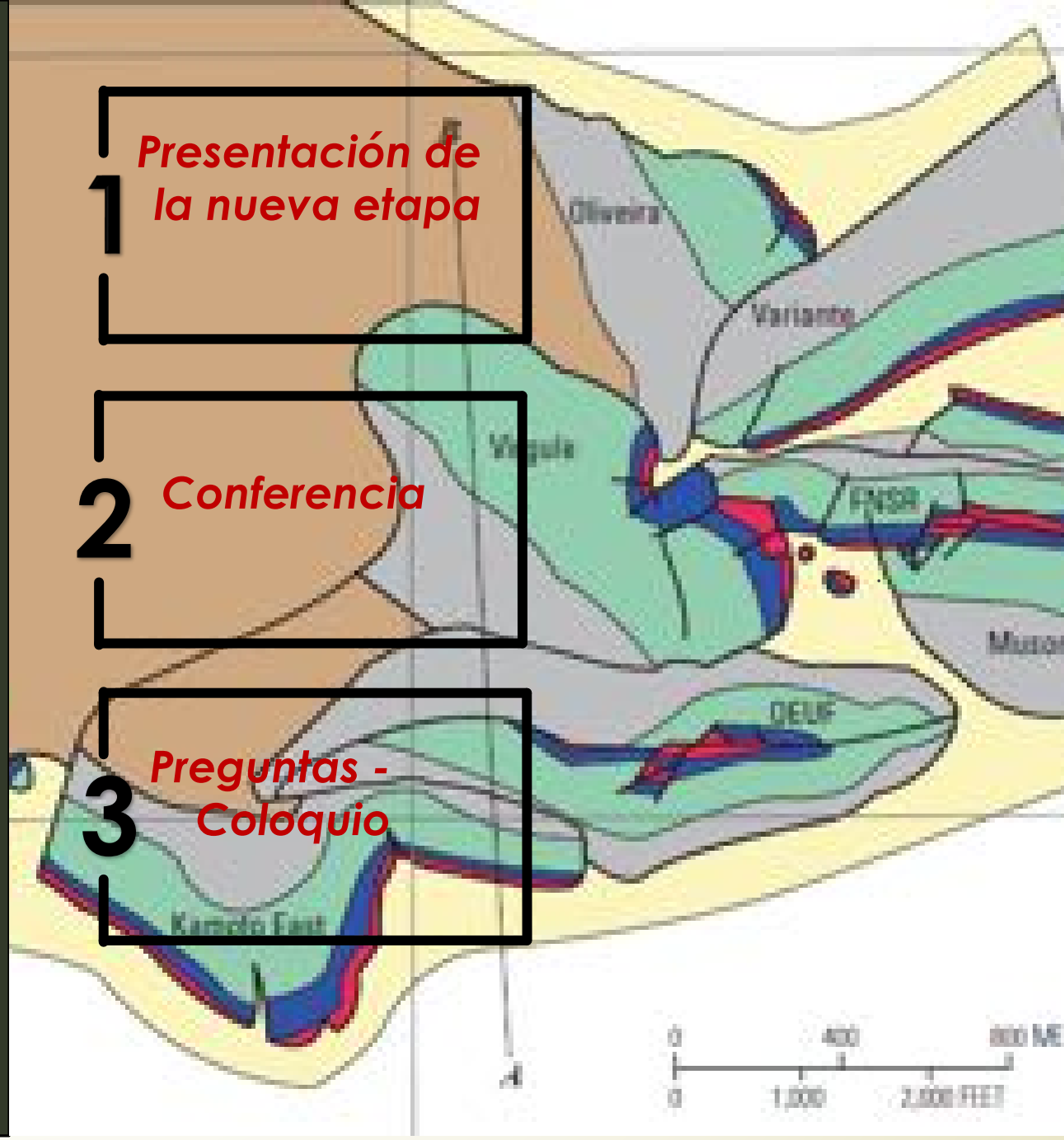
“Stock natural” y suministro de las materias primas minerales

GERRM



J. Antonio Espí

IMEB Iberian Mining Engineers Board

Febrero 2023

GERRM
16 Feb.23

INTRODUCCIÓN

- Los recursos minerales pertenecen a los recursos naturales no renovables que forman parte del "stock natural". Todavía se discute su escasez, poseen un interés económico significativo, pero difieren algo de los ciclos de la economía global. Además, los componentes de su economía han cambiado sustancialmente en los últimos años y se han incorporado las relaciones con el medio ambiente y los aspectos sociales. La formación de precios, el aporte de la innovación tecnológica, las estrategias para su producción y la dificultad de definir su futuro también forman parte de sus peculiaridades e incertidumbres *(J. A. Espí, 2004)*.

- En principio, podría suponerse que la acumulación de recursos minerales en un territorio **sería una cuestión casualidad**, sin embargo, no es del todo así. En una mirada histórica, los pueblos y la superficie que ocupan son producto de complicadas interacciones humanas y materiales que han configurado los límites actuales de su propiedad. Además, la propia presencia de recursos minerales muchas veces ha sido el objeto de su propia expansión.

La posesión de recursos minerales ¿Cuestión de suerte?

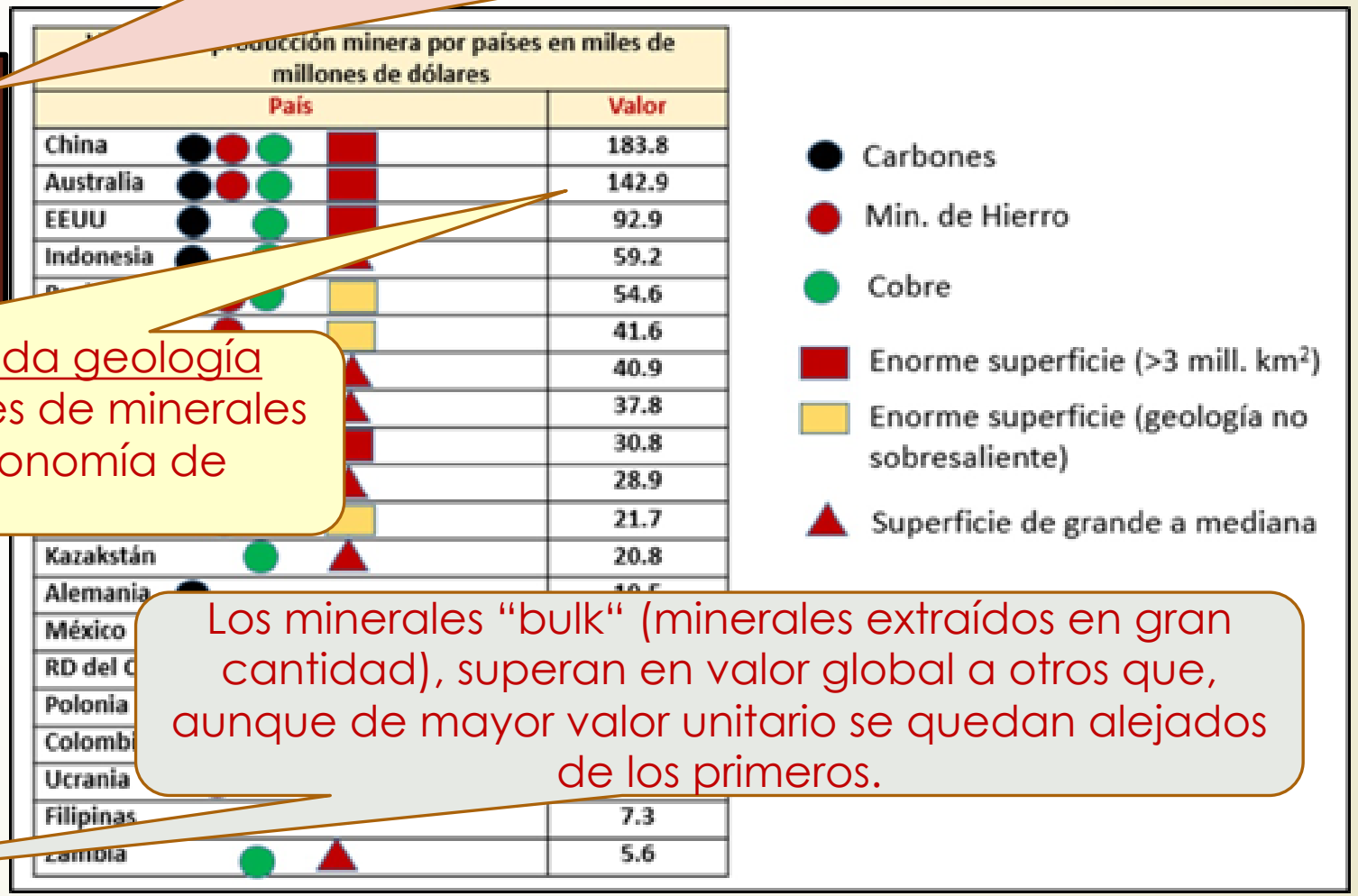
Principales productores de minerales (verde)

Una mayor superficie produce más posibilidades de contener más recursos, pero no ocurre siempre y muchas veces no existe proporcionalidad.

Países	Extensión en mill. km²
Rusia	17,12
Canadá	9,98
EE.UU.	9,83
China	9,59
Brasil	8,51
Australia	7,74
India	3,28
Argentina	2,78
Indonesia	1,90
Sudán	1,86
Libia	1,75
Irán	1,64
Mongolia	1,56
Perú	1,28
Chad	1,28
Sudáfrica	1,21

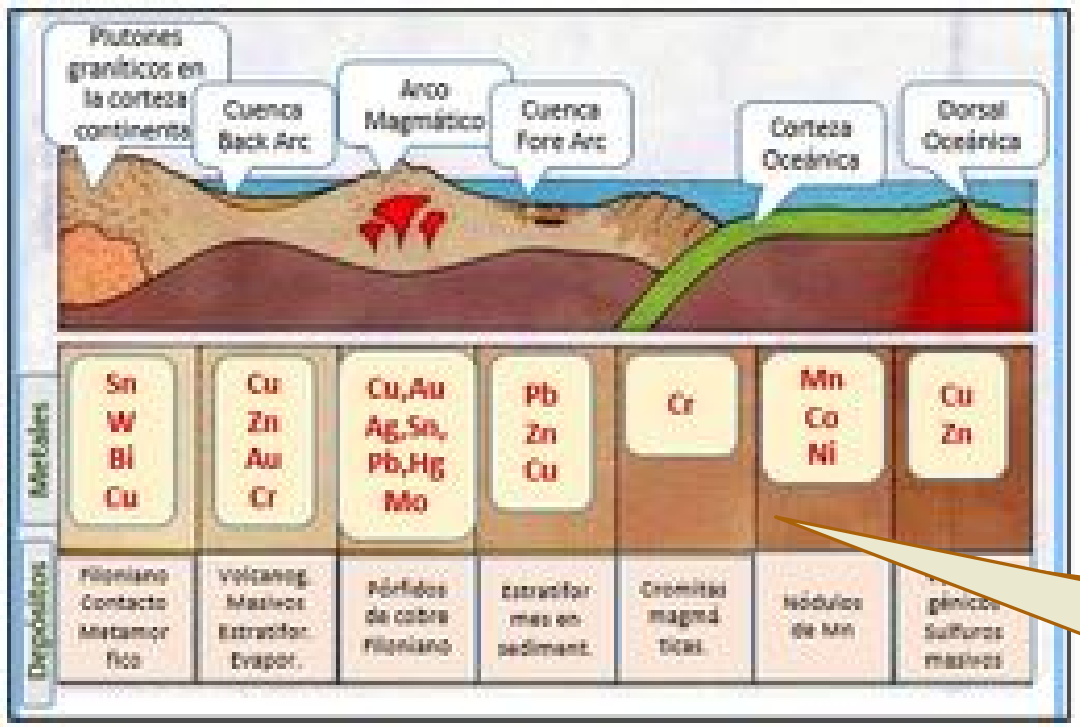
No todo es superficie

También debe poseer una adecuada geología para disponer de notables cantidades de minerales "bulk", que generan una gran economía de mercado



Los minerales "bulk" (minerales extraídos en gran cantidad), superan en valor global a otros que, aunque de mayor valor unitario se quedan alejados de los primeros.

Calidad geológica del territorio



- El término de calidad geológica se refiere a la capacidad de un territorio para albergar minerales.
- Existen multitud de circunstancias de tipo geológico que influyen en la formación de depósitos minerales y, además, aunque la metalogenia ha avanzado mucho en los últimos años, todavía queda mucho camino para comprender todos los factores que determinan la aparición de los yacimientos minerales.

A medida que se ha incrementado el conocimiento estructural de la corteza, también se ha evolucionado en el emplazamiento de los modelos metalogénicos

- Los depósitos minerales poseen distribuciones geoquímicas heterogéneas, y cada tipo de depósito principal muestra patrones temporales distintivos. Estos reflejan una interacción compleja entre las fuerzas de formación y preservación que, a su vez, señalan en gran medida los cambios en los procesos tectónicos y las condiciones ambientales en una Tierra en evolución.

Valoración global y modelo metalogénico

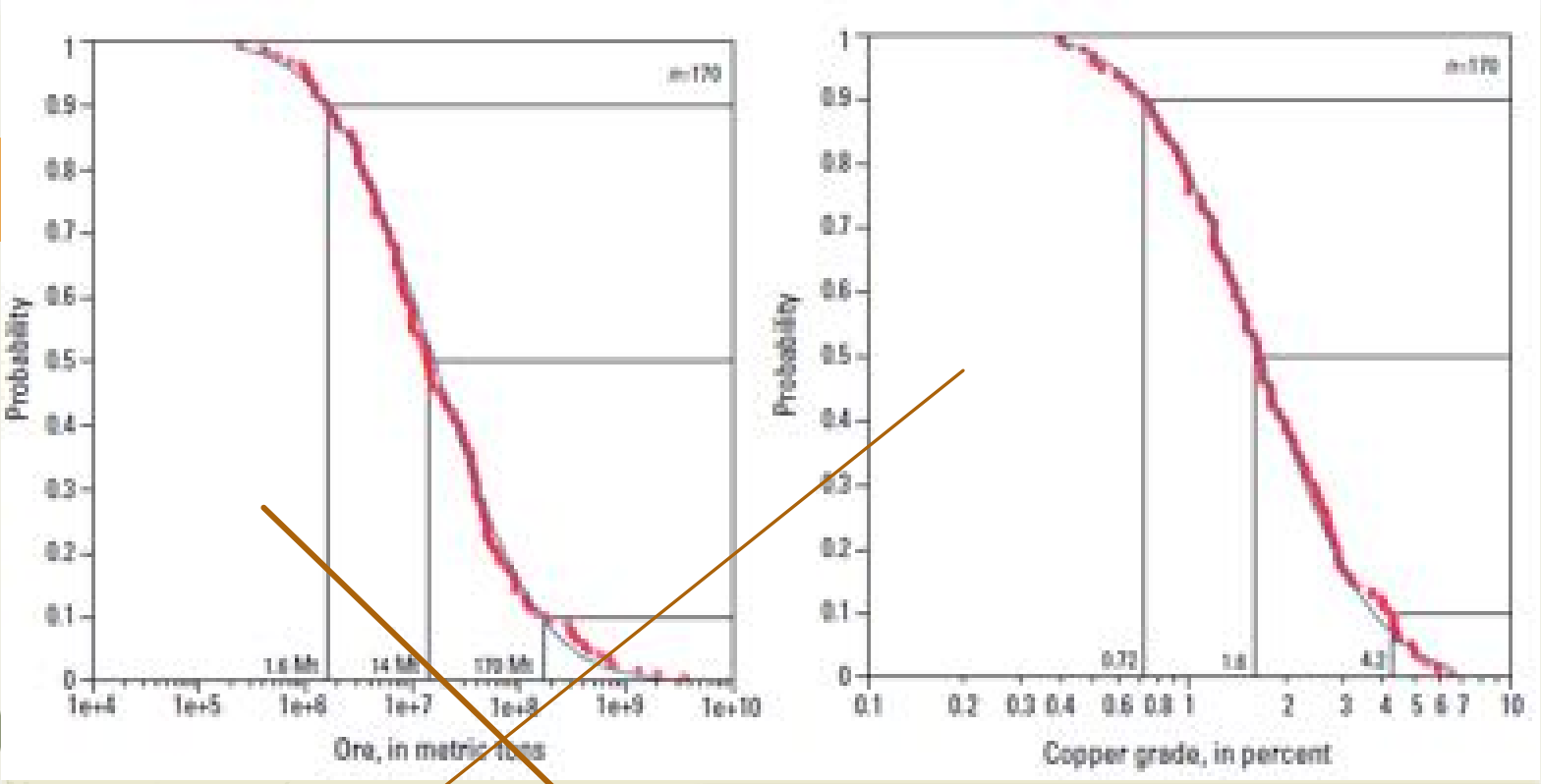
GERRM

La valoración de un territorio que no tenga limites geológicos predeterminados es una cuestión muy difícil que pocos organismos lo han intentado. El trabajo realizado por el Servicio Geológico Norteamericano, **USGS**, desde hace ya varias décadas, es el único que ha avanzado sobre este tema. El concepto fundamental es el modelo (asociación de yacimientos con características comunes).

Regiones valoradas por el USGS

Valorar un territorio por sus posibilidades de albergar nuevos recursos, hoy es muy arriesgado. Sin embargo, la distribución geográfica de los modelos de depósitos minerales, sí nos permite acercarnos a una predicción sobre la inclusión o no de muchos modelos y, a veces, de su importancia

En esta valoración, se realiza una compilación de la literatura técnica y científica y también en la observación directa, acumulando conocimiento sobre los atributos geológicos comunes de los depósitos y sus entornos geológicos.



Las distribuciones de las frecuencias de la ley y el tonelaje de los yacimientos de un modelo sirven como base a las estimaciones probabilísticas de las características económicas del tipo del depósito

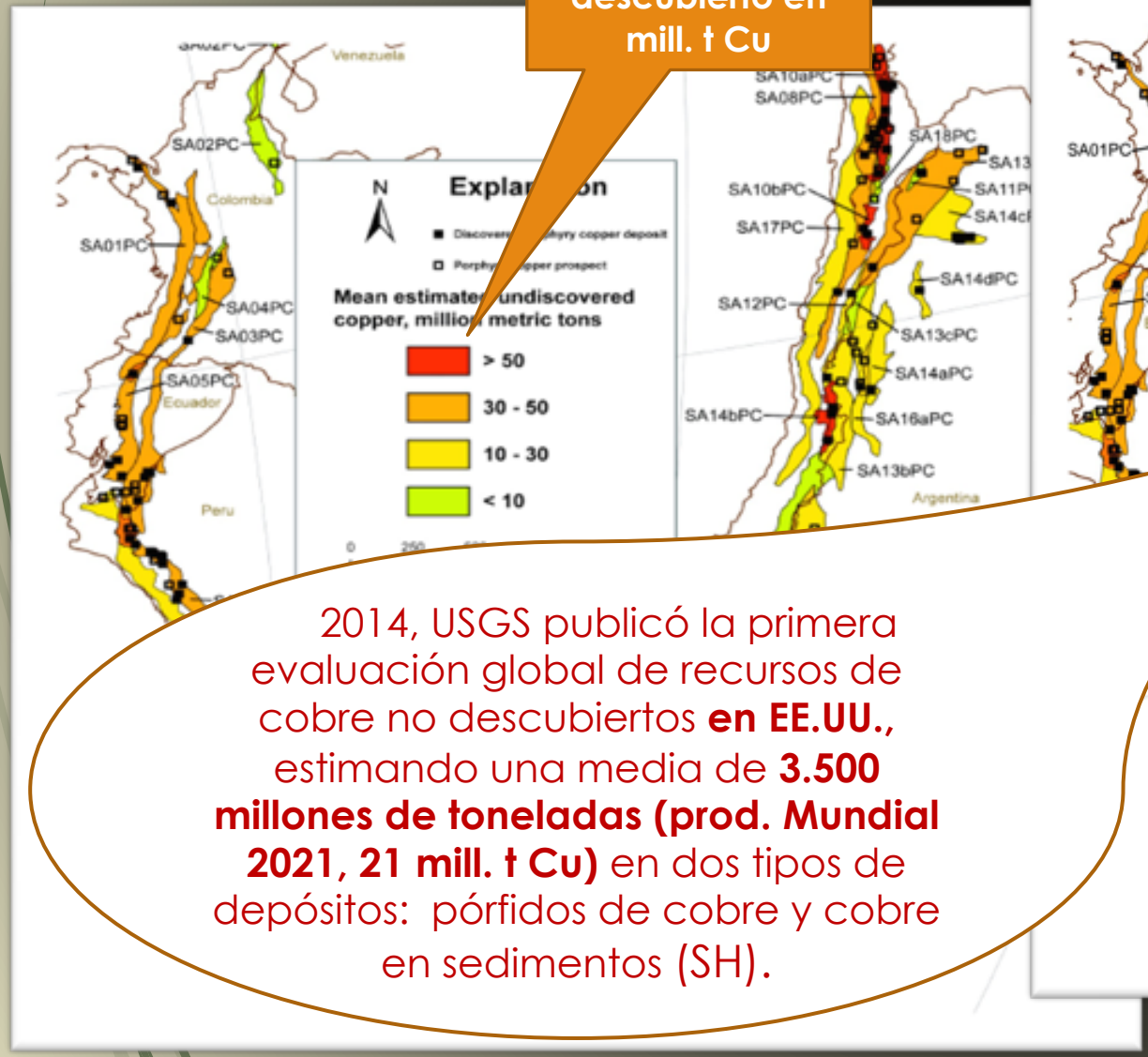
La contribución de los especialistas del modelo y de la región son fundamentales en el método.

No existen métodos fijos para realizar estimaciones del número de depósitos no descubiertos. El más robusto es una forma de modelo en el que, para un tipo de depósito, se contabilizan el número yacimientos por unidad de superficie de regiones bien exploradas, y la distribución de frecuencias que se derive de ello se utiliza directa o indirectamente como directriz en algún otro método, como la probabilidad de que un depósito de un tipo se produzca dentro de una unidad de superficie (km^2, por ejemplo)

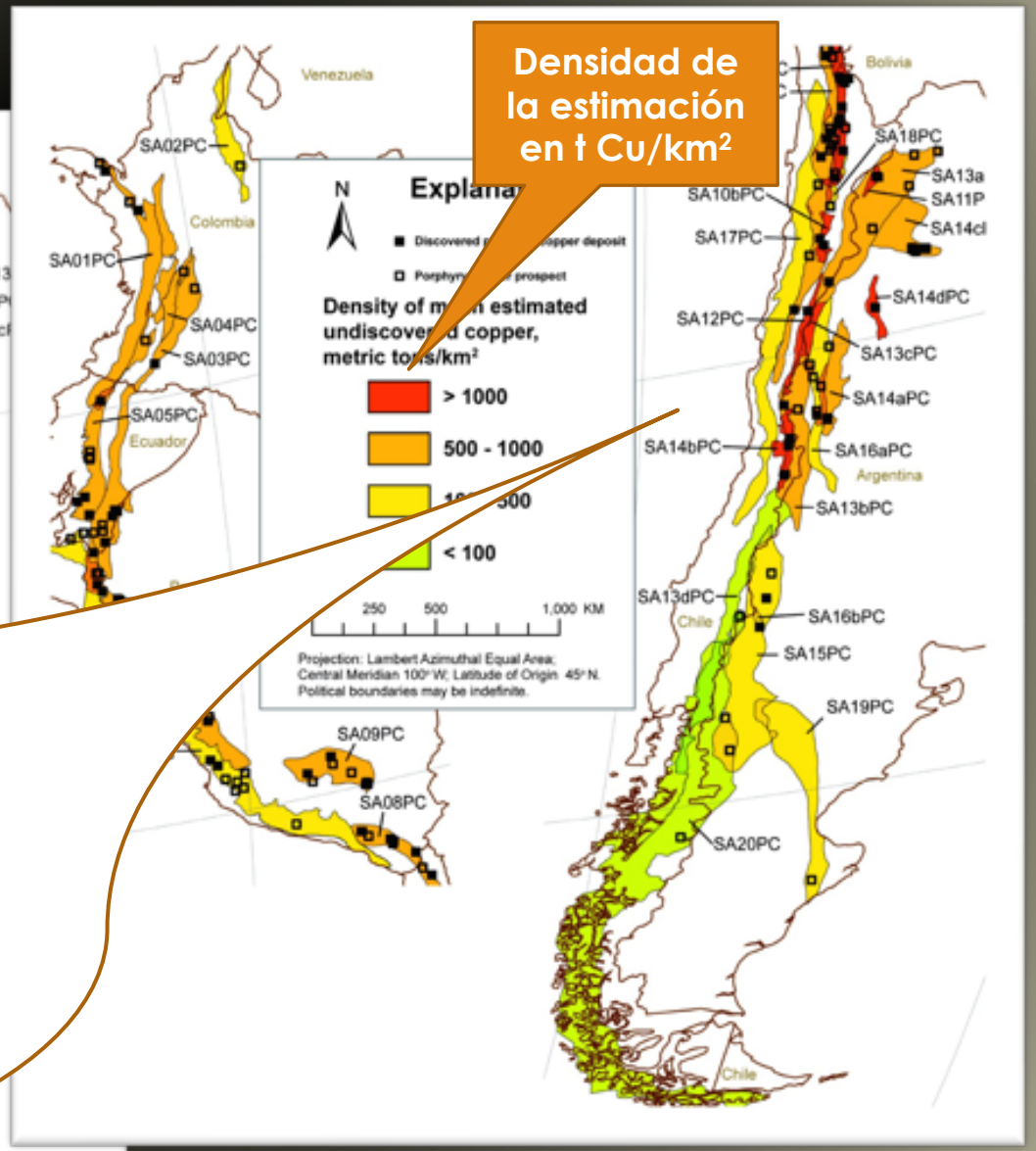
RESULTADOS en Pórfidos andinos

GERRM

Estimación del cobre todavía no descubierto en mill. t Cu

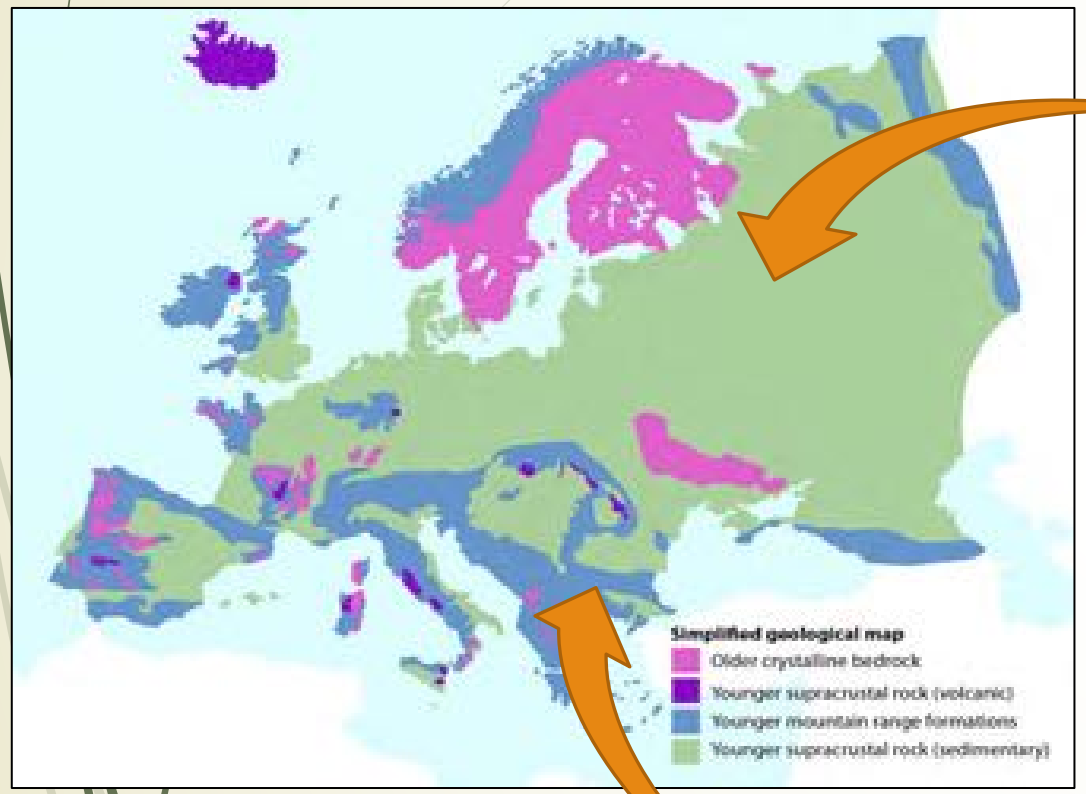


Densidad de la estimación en t Cu/km²



2014, USGS publicó la primera evaluación global de recursos de cobre no descubiertos **en EE.UU.**, estimando una media de **3.500 millones de toneladas (prod. Mundial 2021, 21 mill. t Cu)** en dos tipos de depósitos: pórfidos de cobre y cobre en sedimentos (SH).

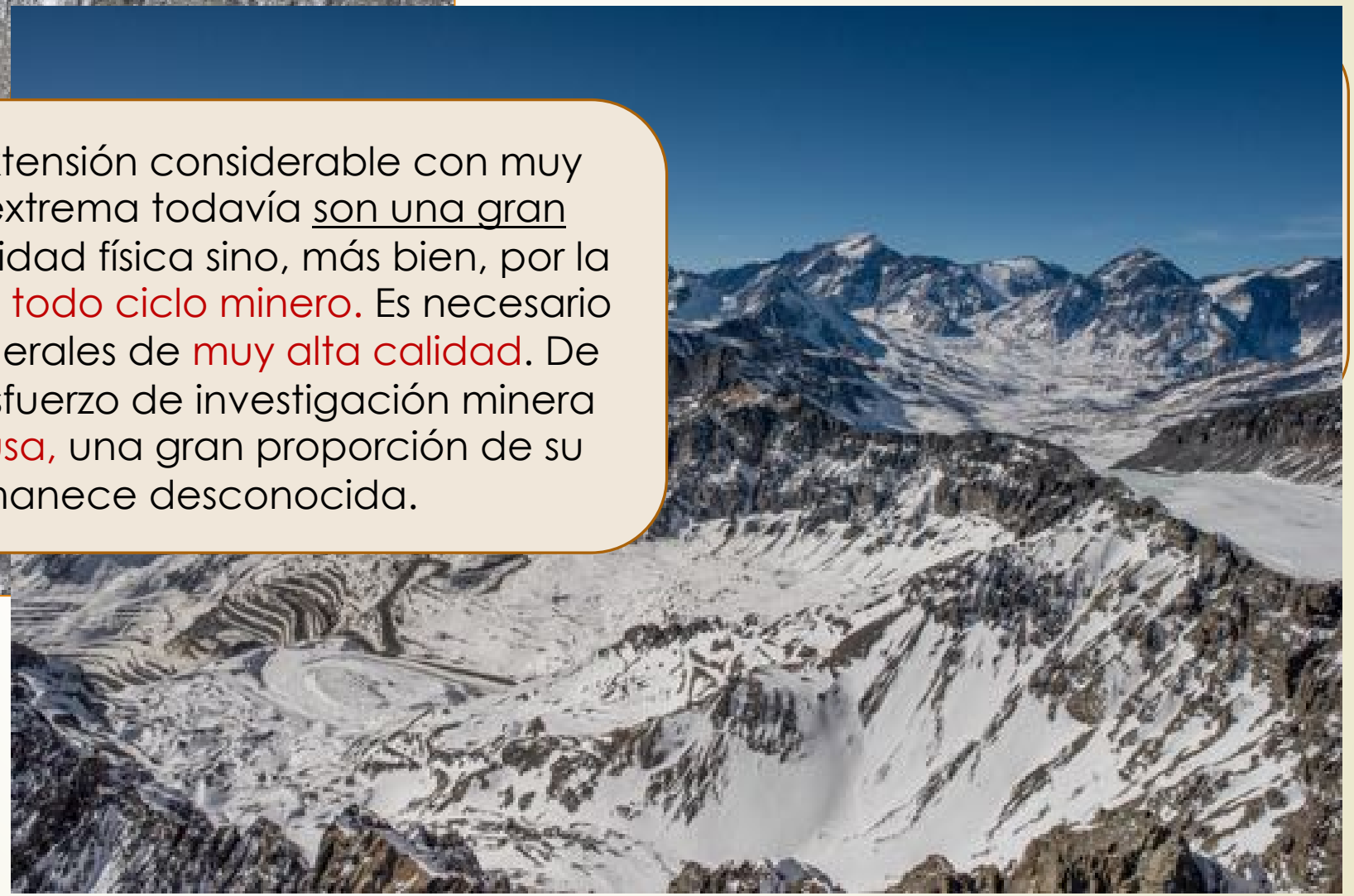
Simplificaciones



Un ejemplo de esa visión simplificada acerca de la calidad geológica de un territorio para albergar depósitos minerales, lo encontramos en esta cartografía. Es un esquema simplificado de las formaciones geológicas superficiales en Europa separadas según sus posibilidades de contener manifestaciones minerales importantes.

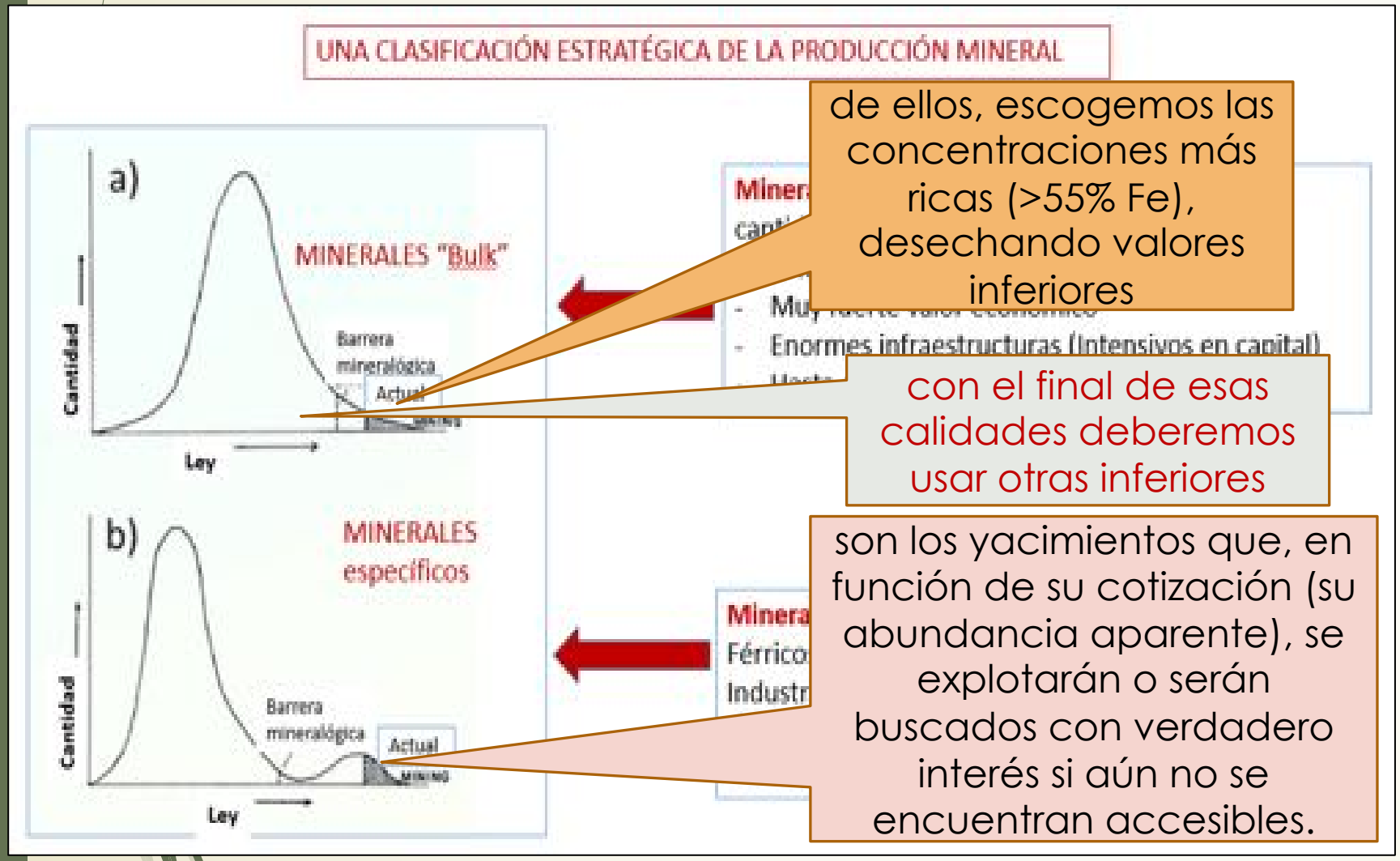
Es la separación de las formaciones sedimentarias recientes que ocultan terrenos relativamente antiguos que han sido deformados por orogenias (formación de cadenas de montañas, entre otras manifestaciones). El conjunto sedimentario es muy extenso y, en general, carece de interés para encontrar ciertos tipos de concentraciones de minerales metálicos.

Accesibilidad y climatología



Sin embargo, superficies de extensión considerable con muy difícil acceso y climatología extrema todavía son una gran limitación, no tanto por su viabilidad física sino, más bien, por la elevación de los costes durante todo ciclo minero. Es necesario explorar y explotar recursos minerales de muy alta calidad. De ahí que, a pesar del enorme esfuerzo de investigación minera realizado por la Federación Rusa, una gran proporción de su territorio todavía permanece desconocida.

Las materias primas minerales y la segmentación de su valor (Berry 2011)



Encaje de los minerales abundantes y los escasos en curvas teóricas de contenido metálico en relación con su abundancia en la corteza terrestre:

1) Los "bulk" son abundantes

2) El resto de los minerales explotables son fenómenos anómalos (familia aparte de la distribución geoquímica global de la corteza).

Producción mundial de algunos metales tecnológicos de la industria digital. UNCTAD, 2018

GERRM

País	Galio	Germanio	Indio	T. Raras	Selenio	Tántalo	Teluro	Valor total (mil mill. $)
China	154,9	138,9	148,1	2.760,0	31,4	38,3	24,3	3.295,9
USA		3,1		414,0	5,0		4,0	426,1
Australia				483,0		9,8		492,8
DCR						314,9		314,9
Ruanda						179,1		179,1
Brasil				25,3		106,4		131,7
Rusia	3,0	9,3	1,5	62,1	7,7	16,2	3,6	103,4
Corea Sur	1,5		88,1					89,6
Nigeria						85,1		85,1
India				66,7	0,7			67,4
Japón	1,5	3,1	26,2		32,1		4,3	67,3
Madagascar				46,0				46,0
Etiopía						29,8		29,8
Canadá			21,8		3,5		1,3	26,7
Tailandia				23,0				23,0
TOTAL	**164**	**156**	**313**	**3.901**	**125**	**789**	**41**	**5.490**

La producción de minerales "bulk", además del cobre, determinan la posición de un territorio respecto al valor total de su producción

Otros también cuentan en el interés global: los básicos (Cu, Zn, Ni, Cr) y otros presentes en las tecnologías de vanguardia (tierras raras, tántalo, indio y otros) y en la transición energética (níquel, cobalto, litio, grafito). También los que poseen interés para variadas industrias (alimentación, construcción, etc.) no deberían ser olvidados en ningún momento.

No siempre el valor estratégico de una sustancia mineral va acompañado de una calificación económica proporcional.

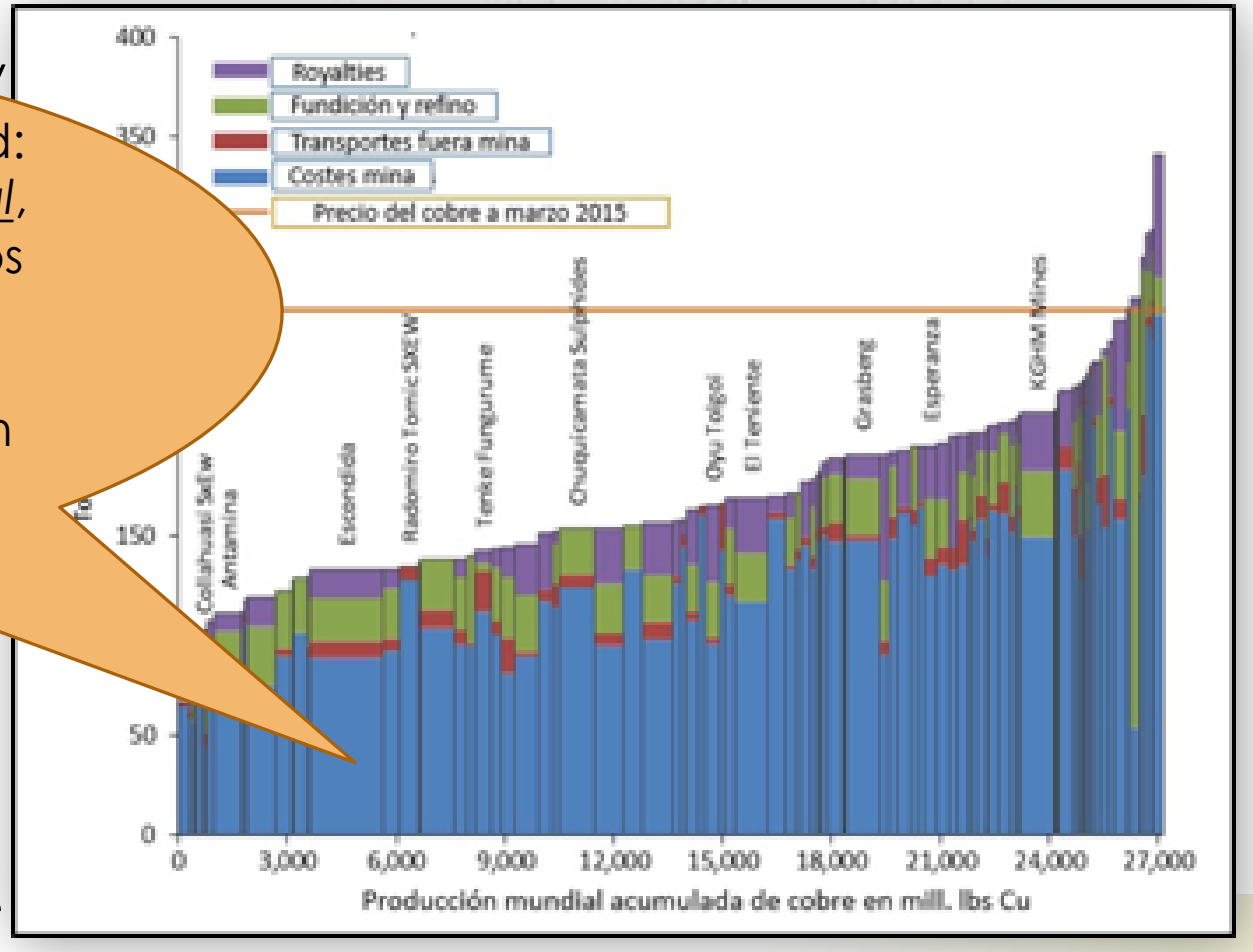
Así, la tabla muestra el valor de la producción (2018) de siete metales críticos: galio, germanio, indio, tierras raras, selenio, tántalo y teluro. En total, un valor de 5.490 mill. $. Esta cantidad está muy alejada de los metales de mayor producción: el cobre 150.000 millones (solo el 3,6%) o el mineral de hierro, 200.000 mill. $ (el 2,7%).

Los proyectos excepcionales

Su significado [illegible] muy fuera [illegible] y [illegible] toda [illegible] cobre, el [illegible]

Los "world class" son de una gran utilidad: dan *consistencia a la producción mundial*, al producir *una respuesta más rápida* a los aumentos repentinos de la demanda, incrementan *la calidad tecnológica* (a causa de su fortaleza financiera) y son un *referente* para los demás

La existencia de los "world class" nace de la distribución logarítmica de las concentraciones minerales: pocos grandes y muchos de menor tamaño y, entre los superiores, algunos de dimensiones realmente excepcionales.

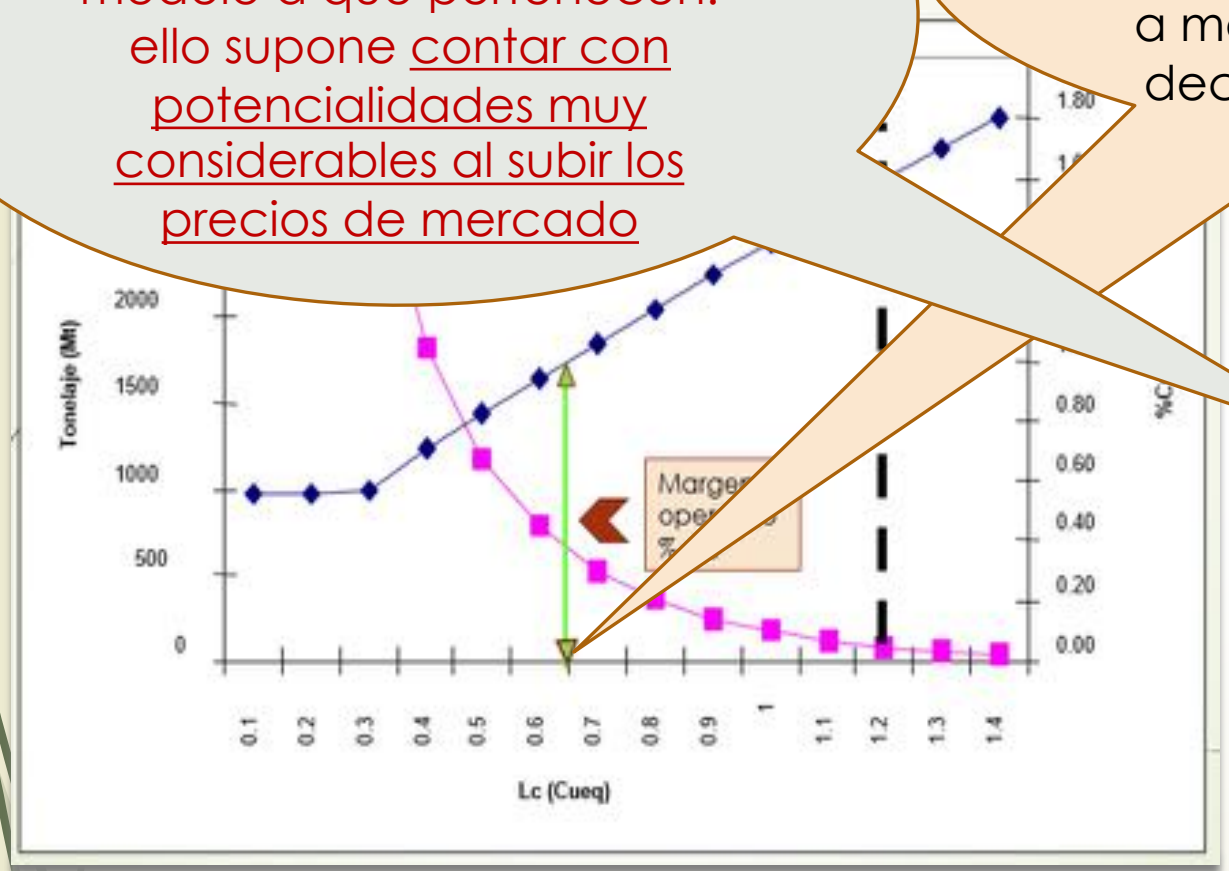


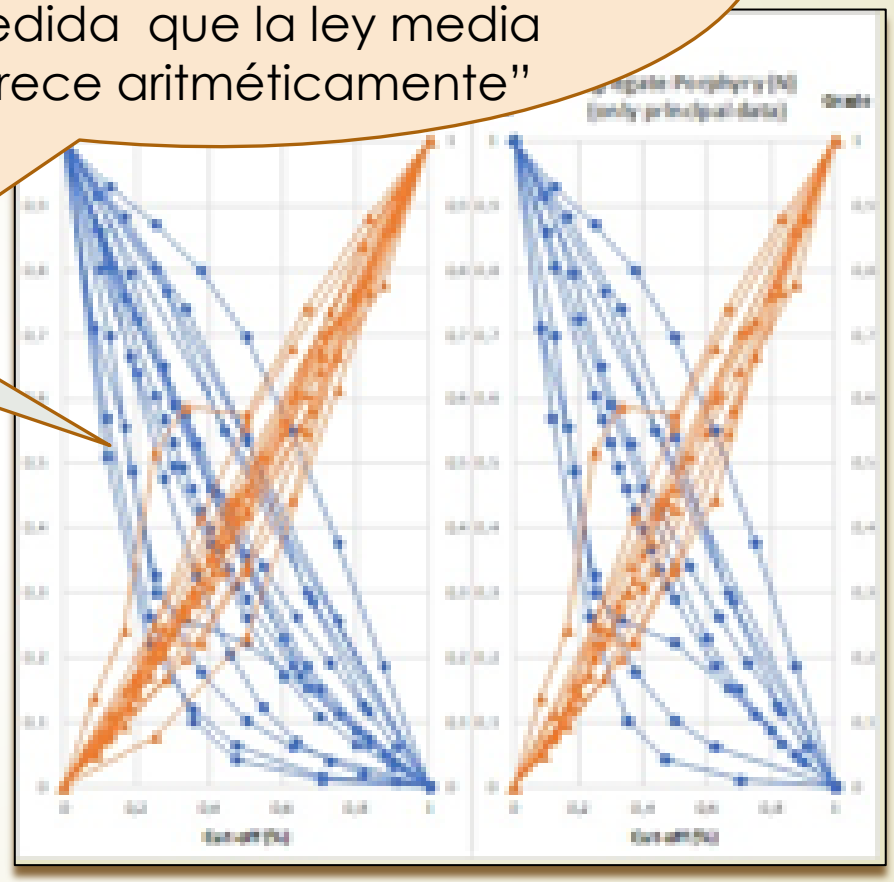
Representación de la producción de los proyectos de cobre (2015) relacionada con sus costes de operación: Escondida un World Class que representa el 8 % de la producción mundial, Grasberg y Chuquicamata, un 4 % cada uno

...ión exp... ...rsos al ...

Los depósitos mundiales tienen este esquema, tanto individualmente como en el modelo a que pertenecen: ello supone contar con potencialidades muy considerables al subir los precios de mercado

"el tonelaje de mineral acumulado por encima de una ley de corte, se incrementa geométricamente a medida que la ley media decrece aritméticamente"





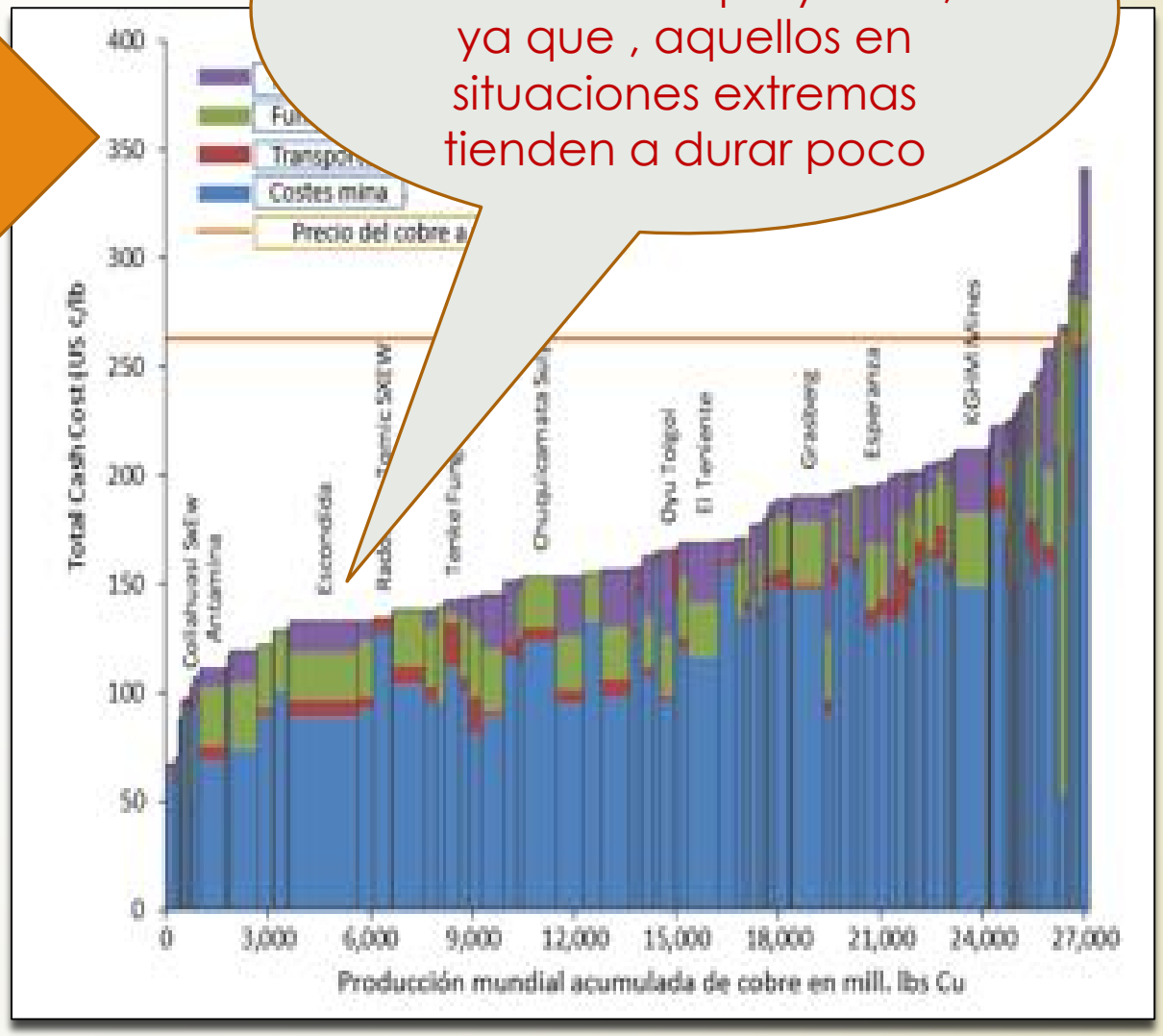
Al estudiar las relaciones entre los tonelajes acumulados por encima de distintos intervalos de leyes (leyes de corte), se observa una función exponencial (ley de Lasky, 1950), en un modelo que reproduce las relaciones entre las leyes y los correspondientes tonelajes acumulados.

Interacción entre productores[illegible] de producción <-> riqu[illegible]

GERRM

La mayoría de los proyectos, estar en el perc. 50%, es casi un requisito para su financiación. Para ello deben de ser de alta ley o de un coste operativo muy bajo.

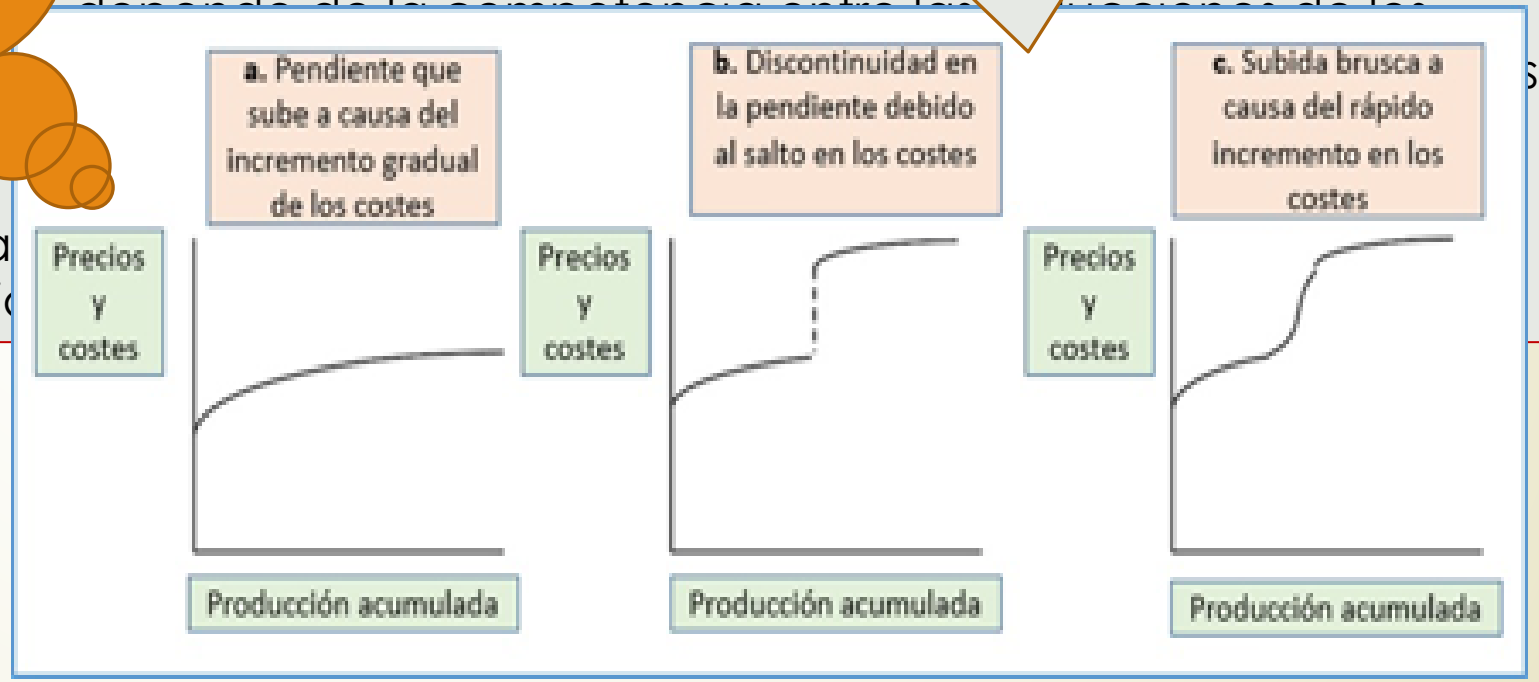
Las curvas permiten ver el mecanismo igualdor entre nuevos proyectos, ya que , aquellos en situaciones extremas tienden a durar poco



La visión de J. Tilton y otros sobre la escasez de minerales

Los minerales más amenazados por el agotamiento pueden ser mejor observados utilizando "curvas de disponibilidad" acumulada en lugar de su "esperanza de vida" en función de la estimación de las existencias disponibles

El agotamiento parcial puede crear a largo plazo escasez , pero no tiene que ser el caso si una nueva tecnología compensa el aumento de sus costosos efectos en el futuro, como lo ha hecho en el pasado



¿Escasez? ¿Agotamiento?

El Grupo (J.Tilton y otros), a corto plazo, ve que las situaciones de escasez de minerales continuarán plagando los mercados, tanto en el futuro como ya ha ocurrido en el pasado. Dolorosas mientras duran, estas limitaciones son temporales y no son una amenaza grave a largo plazo.

Incluso sin la intervención de los gobiernos, se corrigen a sí mismas. Los precios marcadamente más altos que provocan, también crean fuertes incentivos que fomentan la oferta y frenan la demanda. A menudo se piensa que tales insuficiencias son inevitables (visión física del agotamiento).

Para Mudd (2010), aunque hoy, de pocos metales se puede hablar de agotamiento, los costes de la energía y de la gestión de los impactos socio-ambientales puede generar barreras a la viabilidad económica de su producción. Por tanto, la cuestión fundamental no es si los recursos minerales son 'finitos' sino cuáles son las condiciones futuras bajo las cuales los minerales se consideren "económicos".

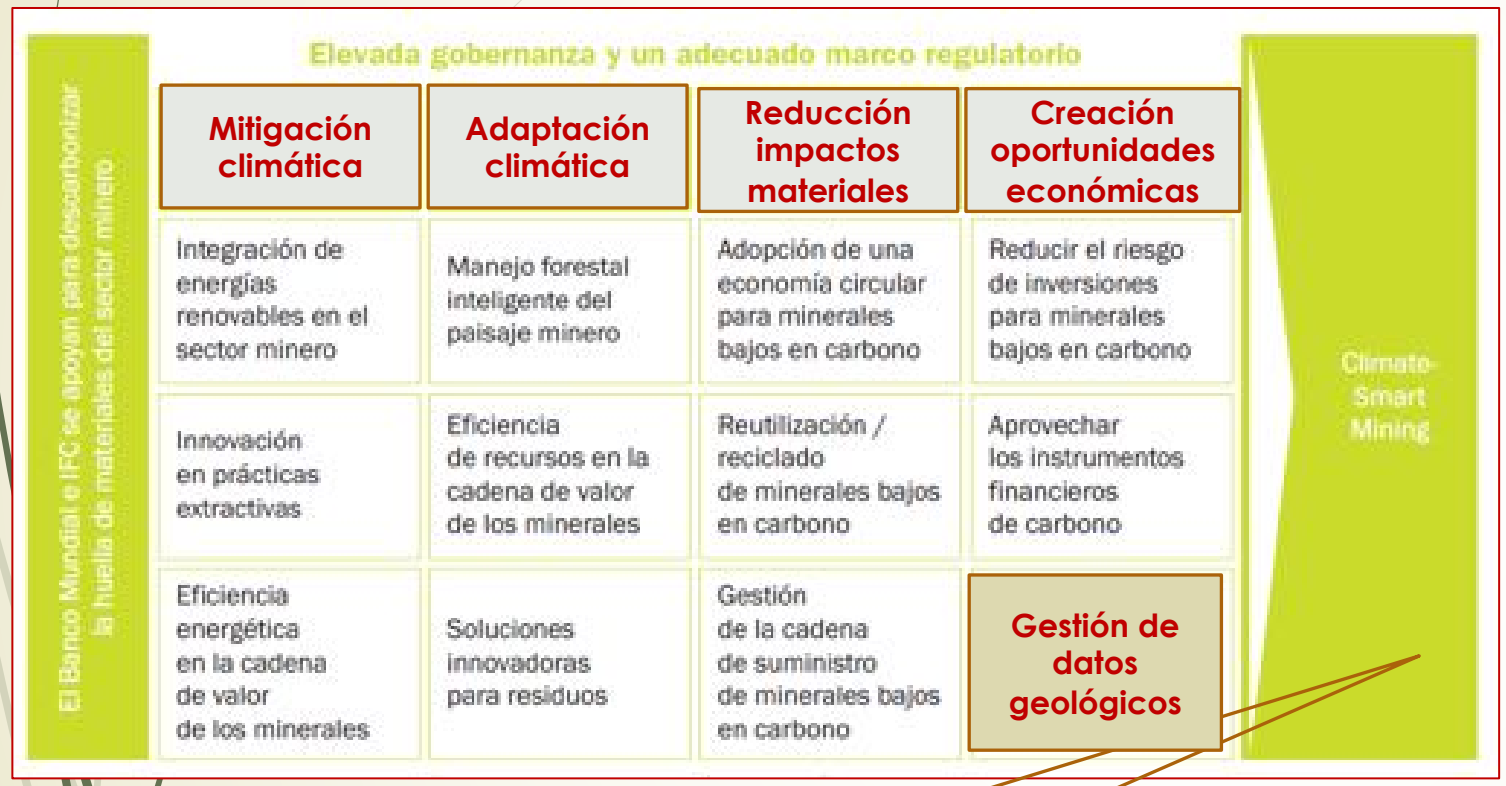
…….”Si la sociedad actual fuera sensible acerca de los temas de escasez mineral, invirtiendo recursos para aumentar la información geológica a fin de determinar mejor la forma de la curva de suministros acumulados, ello podría proporcionar muchos datos de las circunstancias de una posible reducción de los recursos a largo plazo”
John E. Tilton. “Mining, Minerals and Sustainable Development”. 2001

Recapitulación

Acceso a la explotación del stock natural	
Conceptos revisados	**Efectos en la explotación del Stock**
Superficie disponible	Dispersión **(D)**
"Calidad Geológica"	Concentración **(C)**
Conocimiento del Modelo	**C/D**
Distribución Geoquímica (existencia de World Class)	**C**
Interacción entre productores	**D**
Visión Tilton y otros	**D**

Los aspectos anteriores son visiones de un solo concepto, el reservorio natural, y su acceso depende tanto de sus condiciones físicas como de interacciones de variados tipos (posturas sociales y estrategias políticas y económicas, sobre todo)

Propuestas del World Bank. "Climate-Smart Mining: Minerals for Climate Action"



En los últimos tiempos se ha prestado poca atención a la cadena de suministro que hace que las tecnologías de vanguardia sean posibles: mientras que el interés se ha dirigido hacia otros aspectos como los costes de las tecnologías y el aseguramiento de la existencia de los recursos, sin embargo, se descuida la atención del correcto funcionamiento de la cadena, que se encuentra plagada de desafíos geológicos, geopolíticos y de gobernanza.

El problema no solo radica en el stock natural de minerales que serían suficientes para satisfacer las proyecciones actuales de demanda. Sobre la cadena de suministro de algunas sustancias sobrevuelan las dificultades muy radicales de obtención de los permisos ambientales y sociales y, además, la tentación de transformar la fuerte demanda en acciones geopolíticas de diverso grado y sentido.

Valor de la producción de minerales y metales de la transición energética y la inversión necesaria

Mineral	Producción anual 2018 (miles t)	Demanda anual tecnologías de la energía (2050)	Demanda 2050/prod. 2018 en %	Valor ($/t) 2022	Valor prod. 2050 (MS)
Aluminio	60.000	5.583	9	2.500	13.950
Cromo	36.000	366	1	20.000	7.300
Cobalto	140	644	460	50.000	32.200
Cobre	21.000	1.378	7	7.700	10.610
Grafito	930	4.590	494	1.400	6.420
Indio	0,75	1,73	231	200.000	
Hierro	1.200.000	7.584	1	110	
Plomo	4.400	781	18		1.790
Litio	85	415	488		28.200
Manganeso	18.000	694	4	510	350
Molibdeno	300	33		45.000	150
Neodimio	23	8,4	37	133.000	
Níquel	2.300	2.2	99	30.000	68.0
Plata	27	15	56	710.000	10
Titanio	6.100	3,44	0	9.500	30
Vanadio	,3	138	189	19.000	2.600
Valor total					**174.390**

Previsiones de consumo de metales del Banco Mundial para la transición energética, al año 2050

Escenario 2 del World Bank para la transición energética

- Valor acumulado de la producción 2050 de minerales de la transición energética, en 174,4 mil mill. $

A.

Espí)

INDIC

33% d

9,3% c

El W.B. y otros, elaboran modelos según tipos de evolución climática (C⁰ de cambio), contemplando una evolución racional del reciclaje de metales y el afinamiento tecnológico respecto a los consumos. Por ello, en la tabla parecen tan conservadores

Existen grandes discrepancias en las previsiones de necesidades de metales y minerales a corto y medio plazo. En las transiciones energética y digital, son enormes.

¿Conclusiones?

GERRM

Conocemos muy poco nuestro stock natural, hemos olvidado renovar el conocimiento y adecuarlo a los cambios tecnológicos actuales y a nuestras necesidades

Entre las economías de libre mercado y aquellas dirigidas, existen diferencias notables en la velocidad de respuesta para adecuar las cadenas de suministros de la materias primas minerales (actualmente existen casos muy representativos)

También existen diferentes tipos de respuesta ante las fuertes presiones de demanda. La iniciativa privada posee sus propios mecanismos y ello lleva tiempo, produciendo los desajustes que llaman la atención

Sin embargo, el stock está ahí, y cuando nos acercamos a él con algo de seriedad, abruman sus dimensiones

Algunos artículos mencionados en la presentación

Una mirada inteligente al suministro de materias primas minerales en la transición energética

Luis de la Torre y J. Antonio [illegible]
IMETG, Instituto de Colegios de Ingenieros de Minas

En los últimos años y en varios documentos, el Banco Mundial y la organización KPMG han abordado el aspecto crucial del abastecimiento de materias primas a las nuevas industrias implicadas en la transición energética y, en general, en la actual revolución tecnológica. La línea argumental de los documentos por ellos emitidos se refiere a que, frecuentemente, se ha prestado poca atención a la cadena de suministro que hace que esas tecnologías sean posibles, mientras que el interés se ha dirigido hacia otros aspectos como los costes de las tecnologías y el aseguramiento de la existencia de los recursos. Sin embargo, se descuida la atención del correcto funcionamiento de la cadena, que se encuentra plagada de desafíos geológicos, geopolíticos y de gobernanza.

In recent years, the World Bank and the KPGM organization have addressed the crucial aspect of supplying raw materials to the new industries involved in the energy transition and, in general, in the current technological revolution. The line of argument of the documents refers to the fact that, frequently, little attention has been paid to the supply chain that makes these technologies possible, while interest has been directed towards other aspects such as the costs of the technologies and ensuring the resources existence. However, attention is neglected to the proper functioning of the chain, which is plagued by geological, geopolitical and governance challenges.

Introducción

En el suministro seguro de materias primas minerales a la industria, el período que vivimos parece ciertamente escogido por su turbulencia y las inquietudes generadas. De esta manera, a la incertidumbre económica postpandémica, se une una vigorosa entrada de algunos de los principales actores de la economía mundial. A ello se superpone el deseo irrefrenable de la transición energética y la conciencia culpable del clima en aparente cambio.

Desde la primera mitad de 2020 y a pesar del auge de Ómicron durante el último trimestre del final de año, las economías mundiales continuaron recuperándose del impacto de la pandemia. Como resultado, recientemente, los precios de muchos productos básicos han alcanzado máximos históricos, o bien, han mantenido la fortaleza ganada durante los primeros tres trimestres de 2021.

Como ejemplo de lo que ocurre en un importante número de materias primas minerales, y como era de esperar, el aumento de las ventas de vehículos eléctricos benefició en gran medida el precio del litio, alcanzando los 20.000 dólares por tonelada a finales de año, justo por debajo del máximo de 21.500$/t a fines de 2017 (**S&P Global Market Intelligence**). El aumento del precio ha estimulado el desarrollo de proyectos a medida que los productores buscan sacar provecho y posicionarse para los aumentos previstos de la demanda. Esto no es un caso

ELSEVIER

Resources Policy

[journal homepage: www.elsevier.com/locate/resourpol]

Public policy and future mineral supplies

John E. Tilton[a,b,*], Phillip C.F. Crowson[c], John H. DeYoung Jr.[d], Roderick G. Eggert[e], Magnus Ericsson[f], Juan Ignacio Guzmán[b], David Humphreys[g], Gustavo Lagos[h], Philip Maxwell[i], Marian Radetzki[j], Donald A. Singer[k], Friedrich W. Wellmer[l,1]

[a] Colorado School of Mines, Division of Economics and Business, Golden, CO, USA
[b] Pontificia Universidad Católica de Chile, Department of Mining Engineering, Santiago, Chile
[c] Centre for Energy, Petroleum and Mineral Law & Policy, University of Dundee, Dundee, Scotland
[d] Retired, VA, USA
[e] Colorado School of Mining, Division of Economics and Business, Golden, CO, USA
[f] Stockholm School of Economics, Economic Research Unit, Stockholm, Sweden
[g] Balfour Advisory, London, UK
[h] Pontificia Universidad Católica de Chile, Department of Mining Engineering, Santiago, Chile
[i] Curtin University of Technology, Perth, Western Australia, Australia
[j] Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden
[k] Consulting Geologist, Menlo Park, CA, USA
[l] Leibniz Institute for Applied Geophysics, Hannover, Germany

ELSEVIER

Resources Policy

Volume 35, Issue 2, June 2010, Pages 98-115

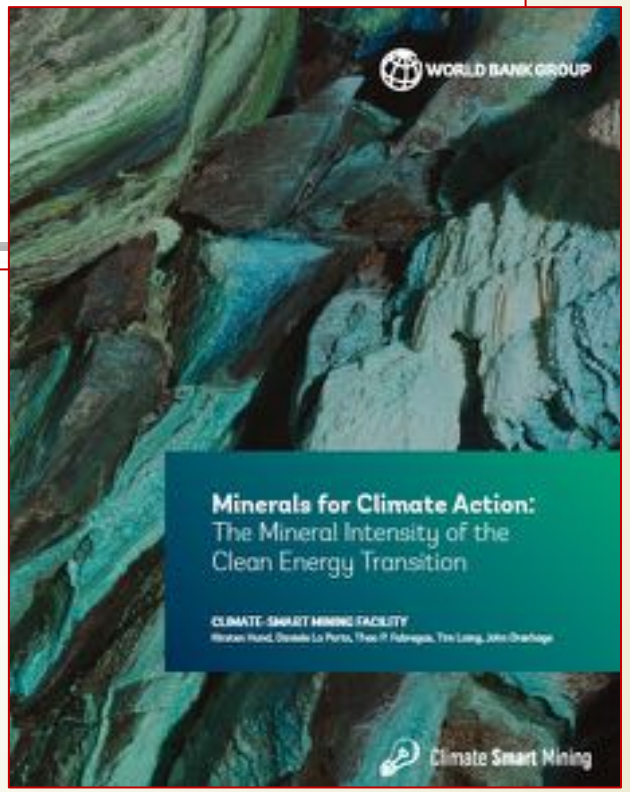
The Environmental sustainability of mining in Australia: key mega-trends and looming constraints

Gavin M. Mudd [a, b]

Show more

+ Add to Mendeley Share Cite

https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2009.12.001 Get rights and content



WORLD BANK GROUP

Minerals for Climate Action:
The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition

CLIMATE-SMART MINING FACILITY

Climate Smart Mining

GERRM

Final