

PRIMER SEMINARIO DE MINERALOGÍA

DESDE LA ROCA A LOS PRODUCTOS FINALES



LITHOCAPS
CAPACITACIONES

**El uso de mineralogía de procesos para la evaluación
del potencial de cobalto en minerales IOCG**
(una pequeña historia)

Expositora: Romke Kuyvenhoven
MDE Minerals Consulting | Chile

Sobre MDE Minerals Consulting

<https://mdemineralsconsulting.com/>



Romke Kuyvenhoven, Senior Consultant, M.Sc., MBA

Romke Kuyvenhoven has 25+ years of experience in geometallurgy and process development for applied research projects and for engineering studies at scoping, PEA and PFS level. Her focus has been primarily on porphyry copper and IOCG deposits, with a more recent focus on cobalt as well. She is permanently based in Chile and fully bilingual English-Spanish. More than two decades of professional activity in the region has given her a profound understanding of the Chilean culture and business climate, including extensive experience with NI43-101 reporting regulations.



Sustainable Mining Development in the Andean Region

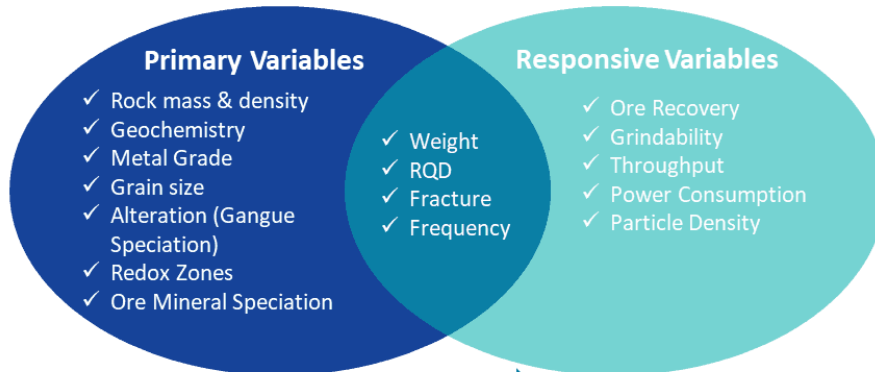
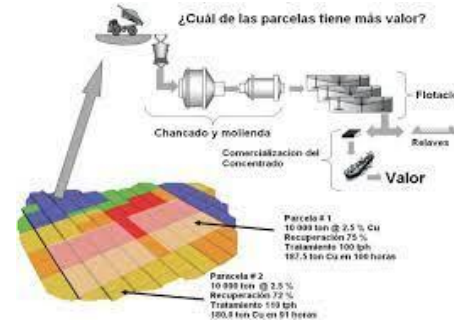
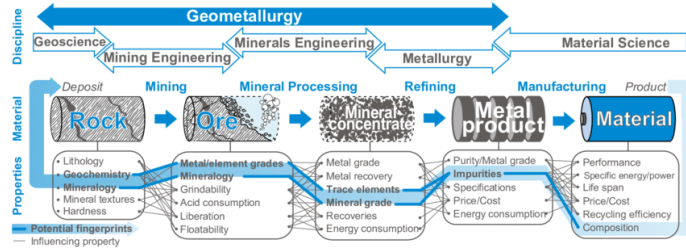
Adequate management of Environmental, Sustainability and Governance (ESG) aspects is of critical importance. The identification of best processing routes and inclusion of innovative processing technology is a challenging and necessary task, to assure the successful development of a greenfield project. Compliance with local environmental regulations, accomplishment of the financial expectations of the owner's team, and a constructive and long term relationship with neighbouring communities and other stakeholders, are all key in the definition of that success.



Geometalúrgia vs Mineralogía de Procesos?

“El uso de mineralogía de procesos para la evaluación del potencial de cobalto en minerales IOCG”

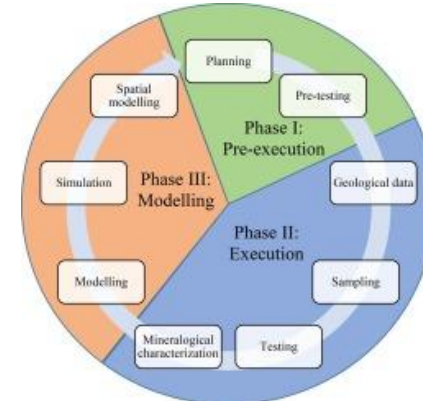
Geometalúrgia: Maximiza valor y reduce riesgo financiero



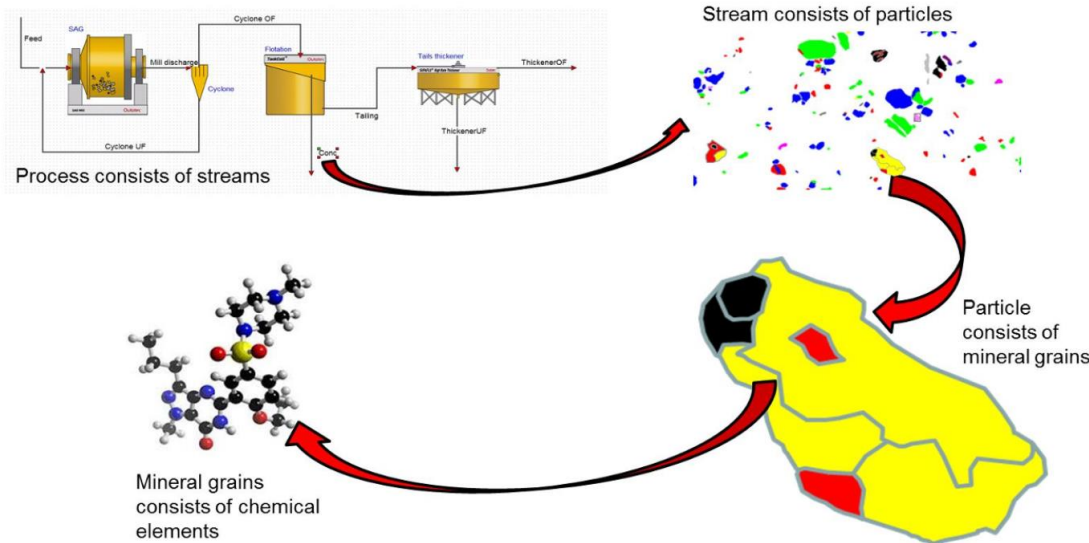
Intrinsic Rock Properties

Energy/Process

Rock Response Properties



Mineralogía de Procesos: conecta la mineralogía con el proceso metalúrgico



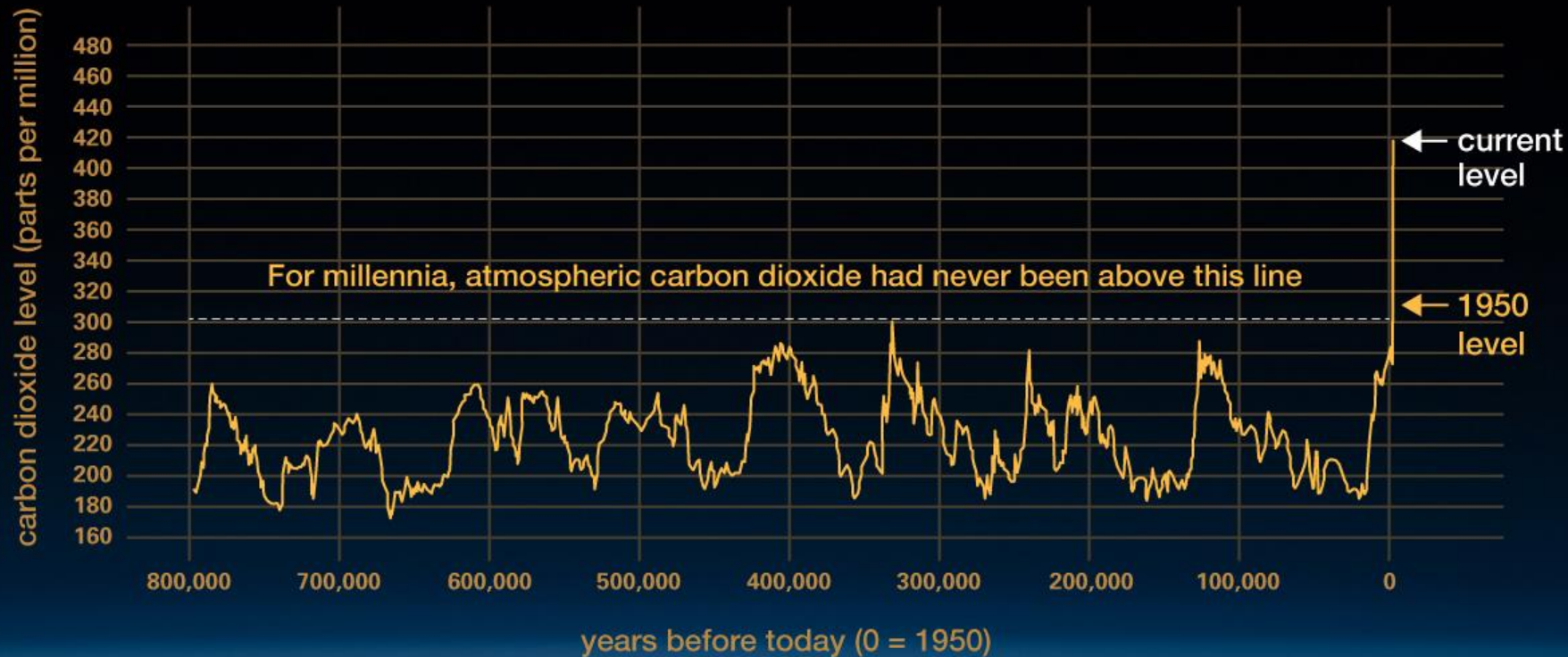
- Optimización operacional
- Diseño de procesos nuevos
- No considera el plan minero
- No se enfoca directamente en la generación de valor económico





¿Porqué Cobalto?

01

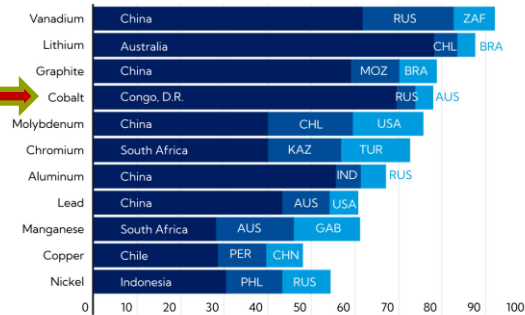




Demanda por metales para la transición energética

Biggest producers

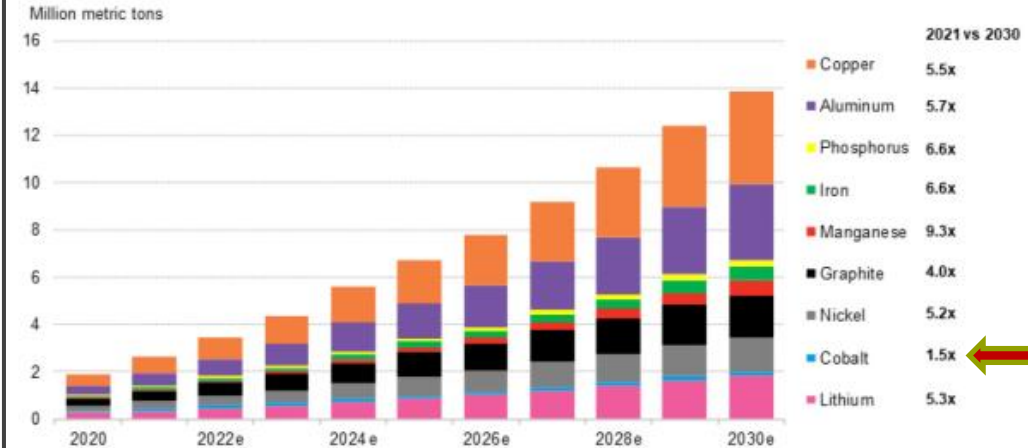
Supplies of several metals that are crucial to the green energy transition are heavily concentrated in just a handful of nations. (percent of market)



Sources: US Geological Survey - Mineral Commodity Summaries 2021; IMF staff calculations.
Note: AUS=Australia, BRA=Brazil, CHL=Chile, CHN=China, COD=Congo, D.R., GAB=Gabon, IDN=Indonesia, IND=India, KAZ=Kazakhstan, MOZ=Mozambique, PER=Peru, PHL=Philippines, RUS=Russia, TUR=Turkey, USA=United States, ZAF=South Africa

IMF

Figure 1: Metals demand from lithium-ion batteries



Source: BloombergNEF. Note: Metals demand occurs at mine mouth, one-year before battery demand. All metals expressed in metric tons of contained metal, except lithium, which is in lithium carbonate equivalent (LCE).



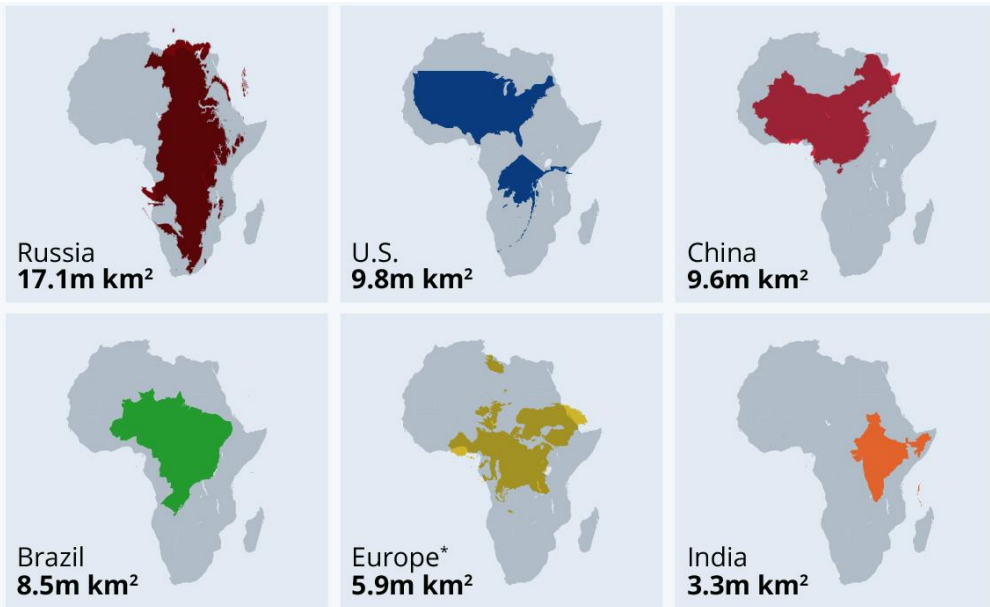
The Independent | Minería de Cobalto en el Congo



El tamaño real de África – y su potencial

MDE Minerals Consulting

Comparación de la superficie del continente africano con otros países



* excluding Russia.

Sources: CIA, World Population Review, Visual Capitalist



statista

Tamaño real de Chile vs África



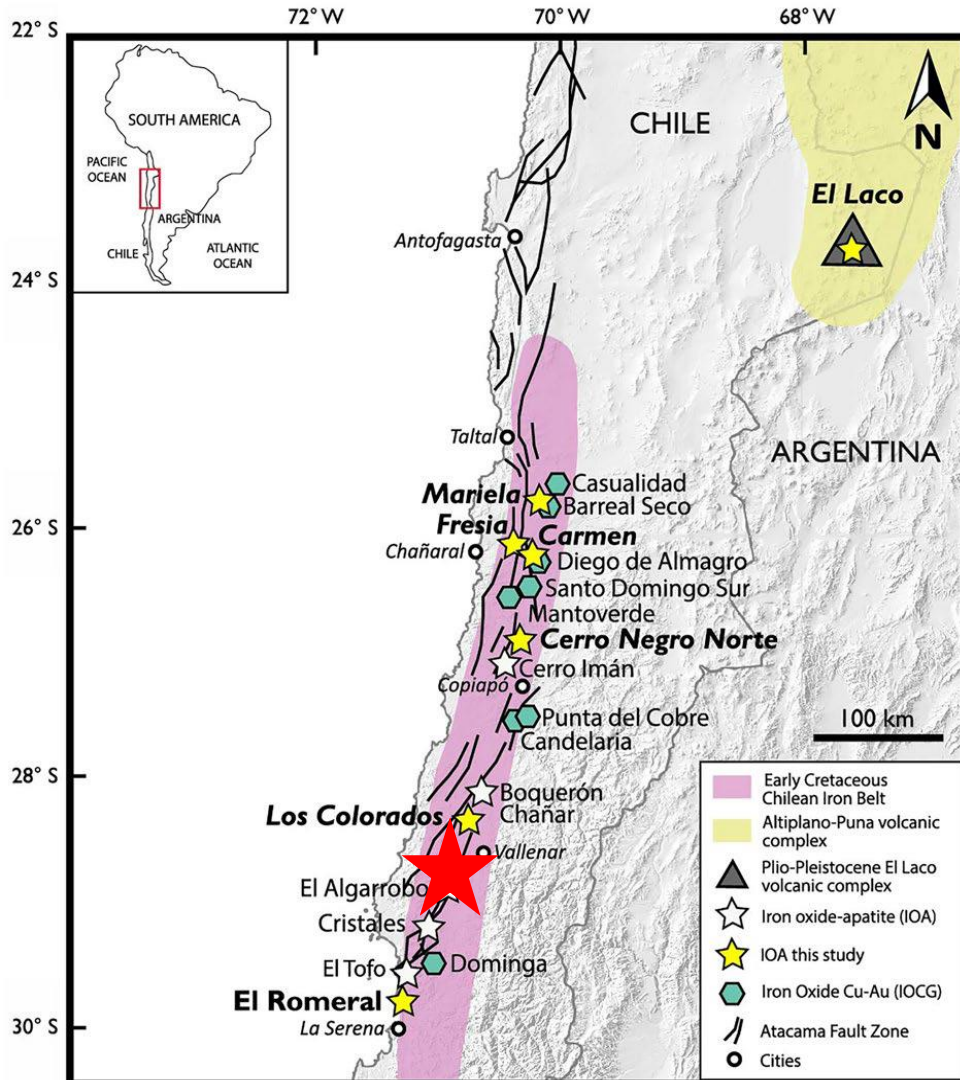
Cobalto “ético”





Minerales IOCG en Chile.

02





El caso de La Estrella IOCG

- Cu: 0.2-1.0%
- Co: 200-1500 ppm
- Ni: 250-3000 ppm
- Fe >> 40%
- Va: 500-3000 ppm

Challenges and opportunities for cobalt recovery at copper plants

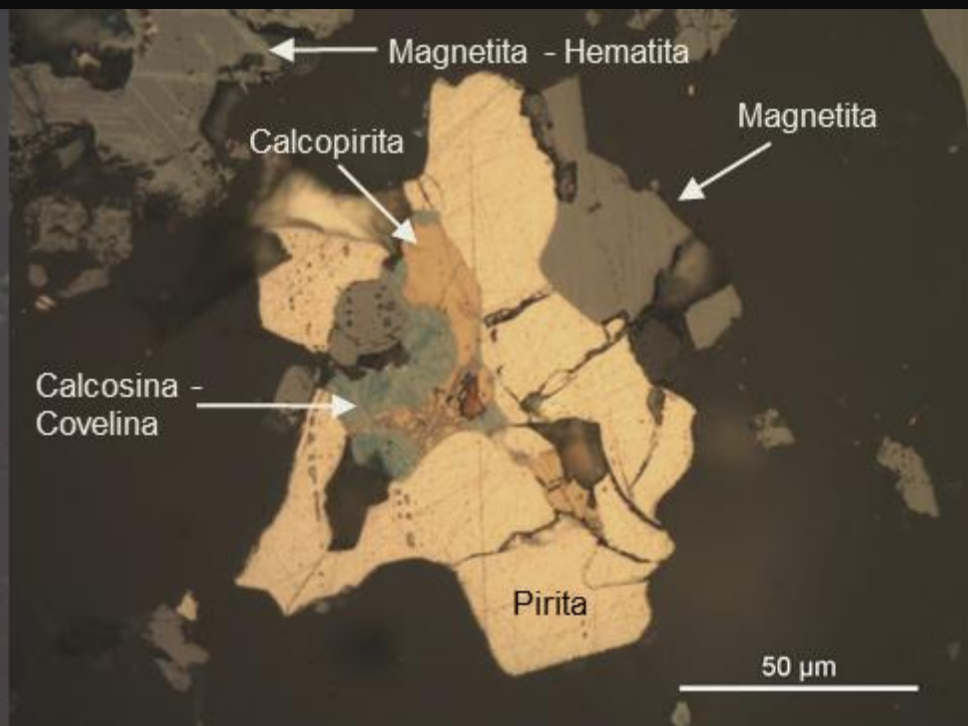
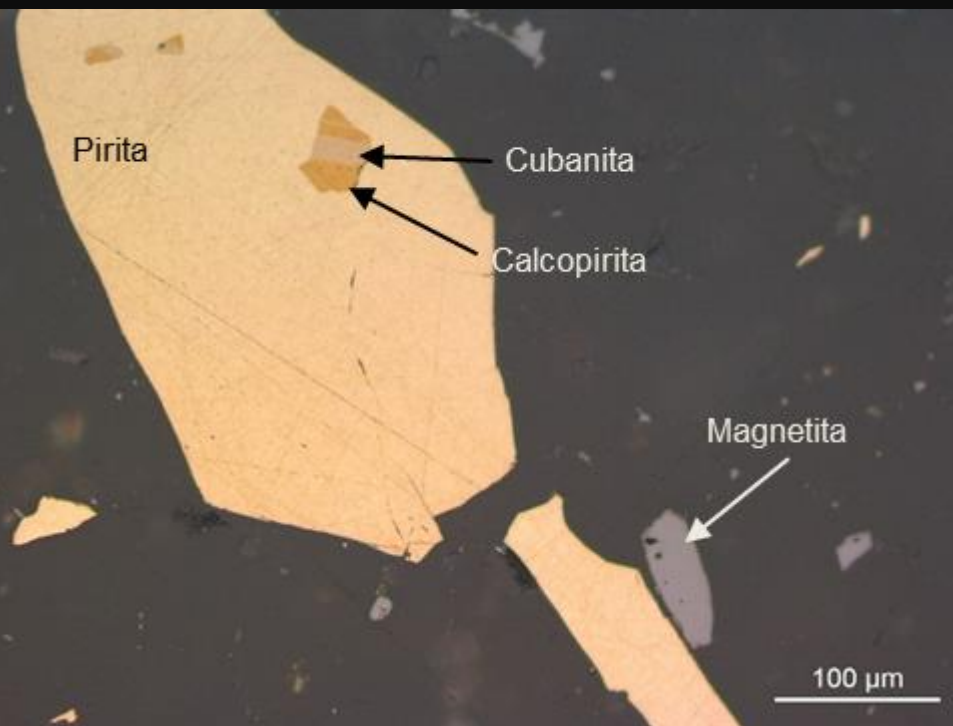
Romke Kuyvenhoven¹, Brian Townley²

1. Corresponding author. Sustainable Minerals Institute – International Centre of Excellence, Chile. Avenida Apoquindo 2929, Las Condes, Santiago, Chile. Email: r.kuyvenhoven@smiicechile.cl
2. Advanced Mining Technology Center, Universidad de Chile. Email: btownley@ing.uchile.cl

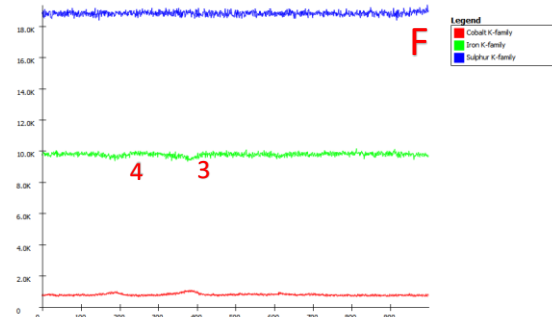
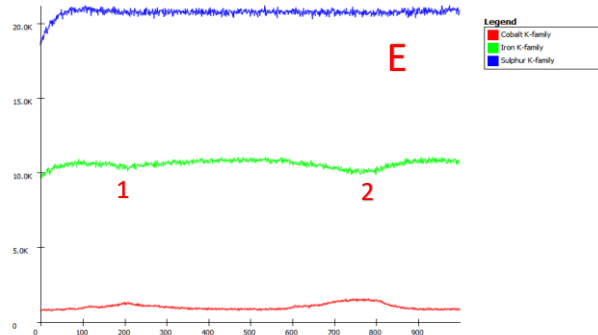
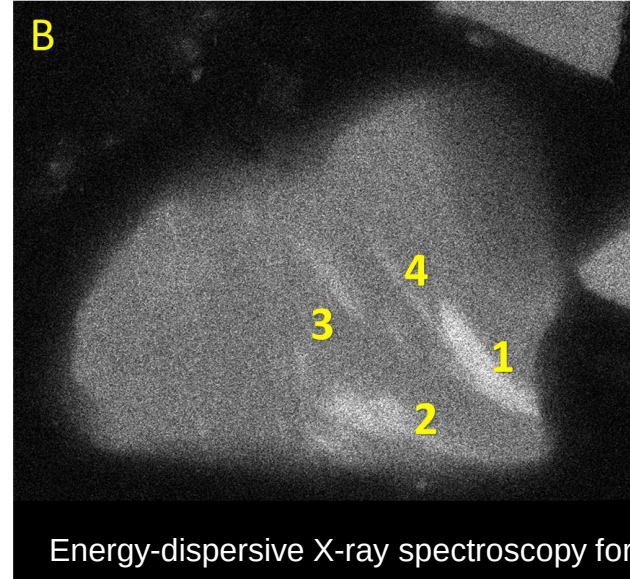
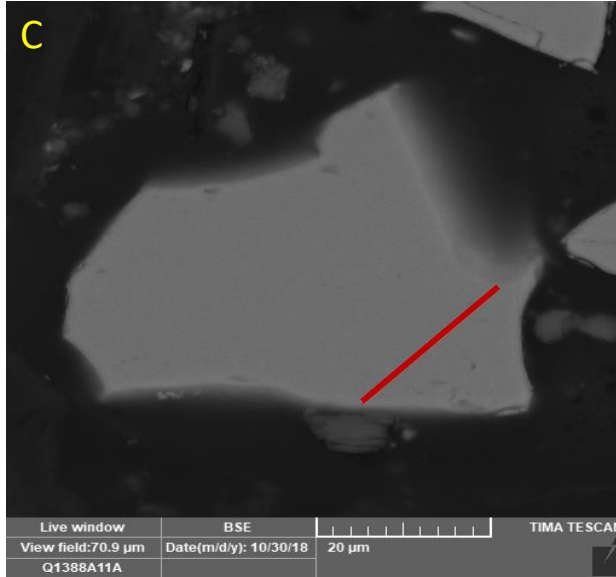
HIGHLIGHTS

- Decrease of copper head grades makes cobalt attractive as possible by-product
- IOCG ores in Chile present potential for economic cobalt grades
- Accurate determination of economic value of cobalt in copper ore is challenging
- Cobalt distribution within pyrite grains should sustain processing options
- Pre-concentration of pyrite required to perform adequate characterisation





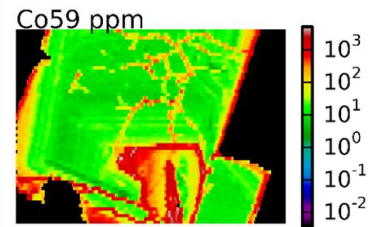
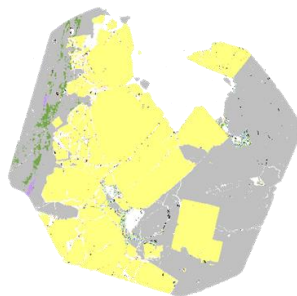
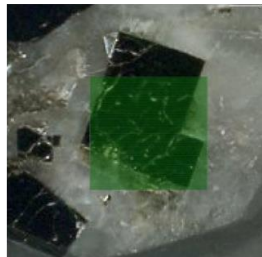
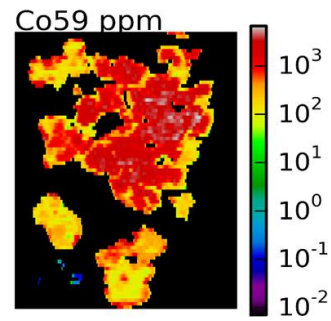
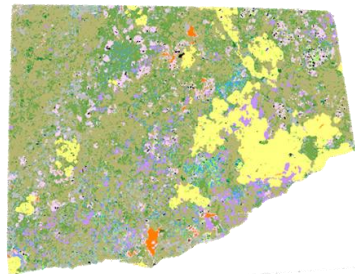
Line scan to confirm cobalt presence as replacement of iron

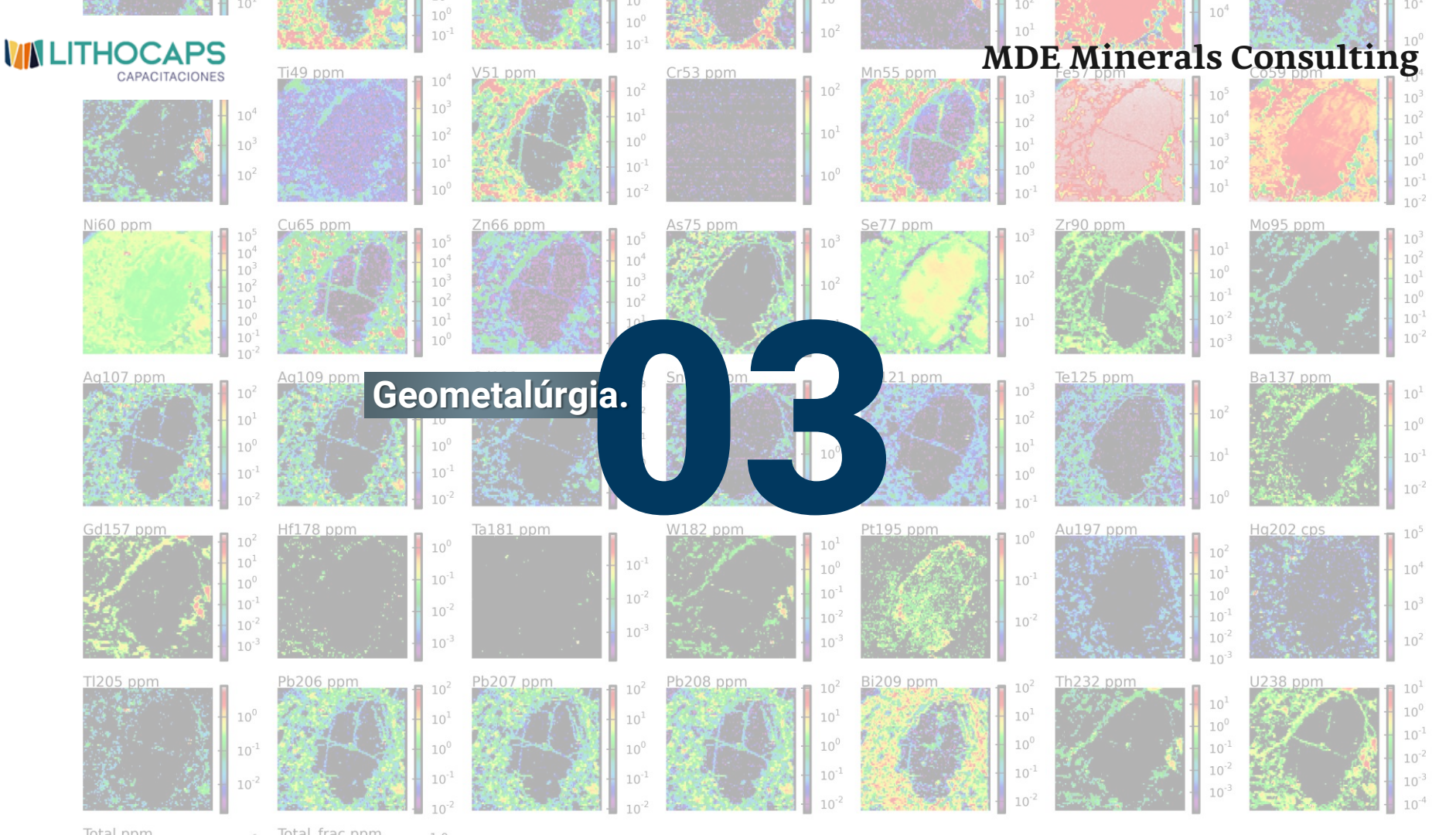


Fuente: Mineral IOCG
La Estrella, SGS
Minerals Chilce



El uso de ICP-MS-LA para visualizar el cobalto





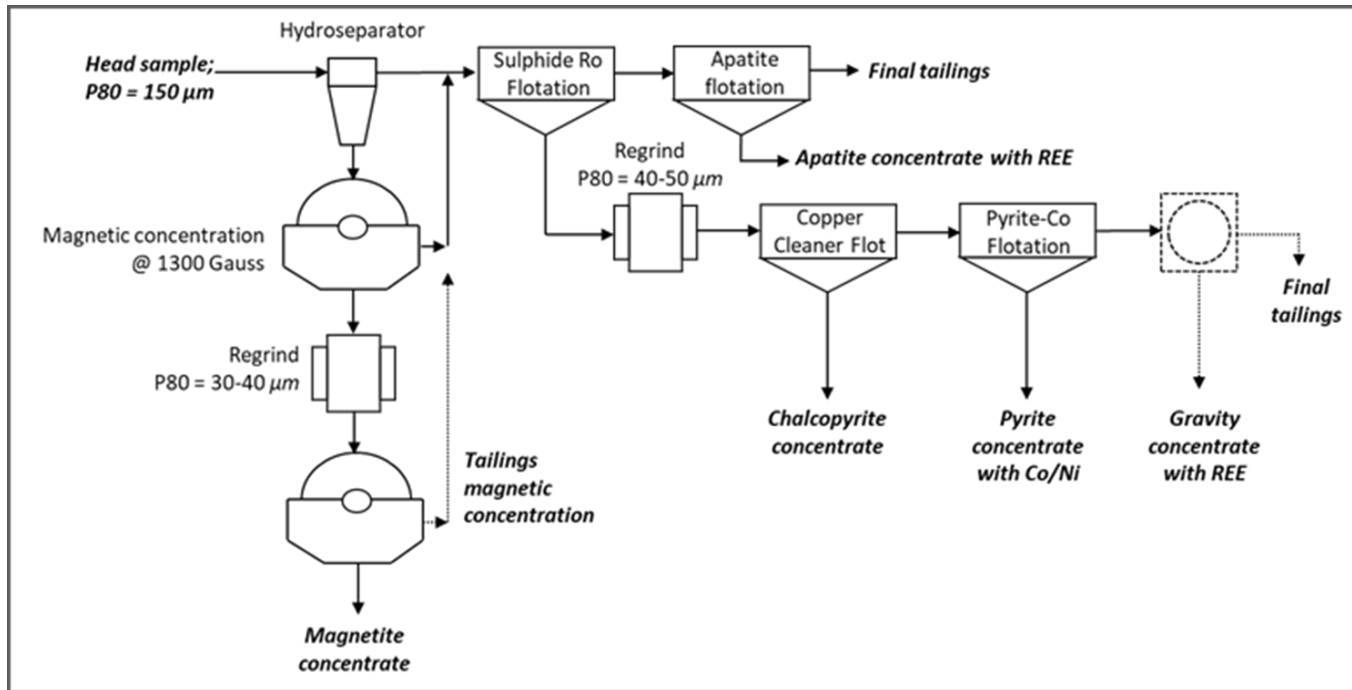
Caso La Estrella: el punto de partida

	Cu (%)	Fe (%)	S (%)	As (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)
Composite 1	0.79	41.8	19.5	210	1090	1830
Composite 2	0.42	46.4	11.1	11	580	1150
Composite 3	0.22	55.2	4.7	< 3	320	560
	Apatite	Magnetite	Chalcopyrite	Pyrite	Fe-magn (%)	kWh/mt
Composite 1	10.3	28.6	1.49	29.1	87.0	8.5
Composite 2	9.8	43.9	0.81	17.3	92.5	7.9
Composite 3	7.0	65.6	0.33	6.5	91.2	8.3

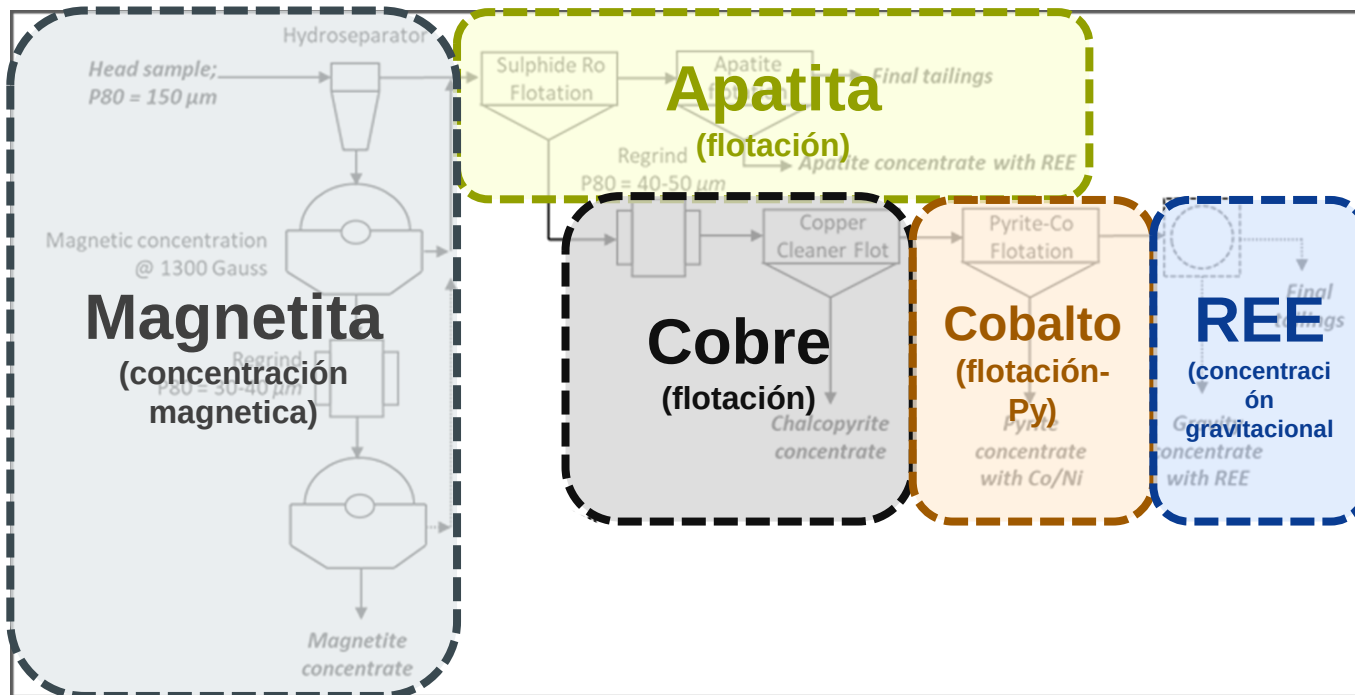
Fuente: Townley, Kuyvenhoven (2018)



Posible flowsheet para La Estrella



Posible flowsheet para La Estrella



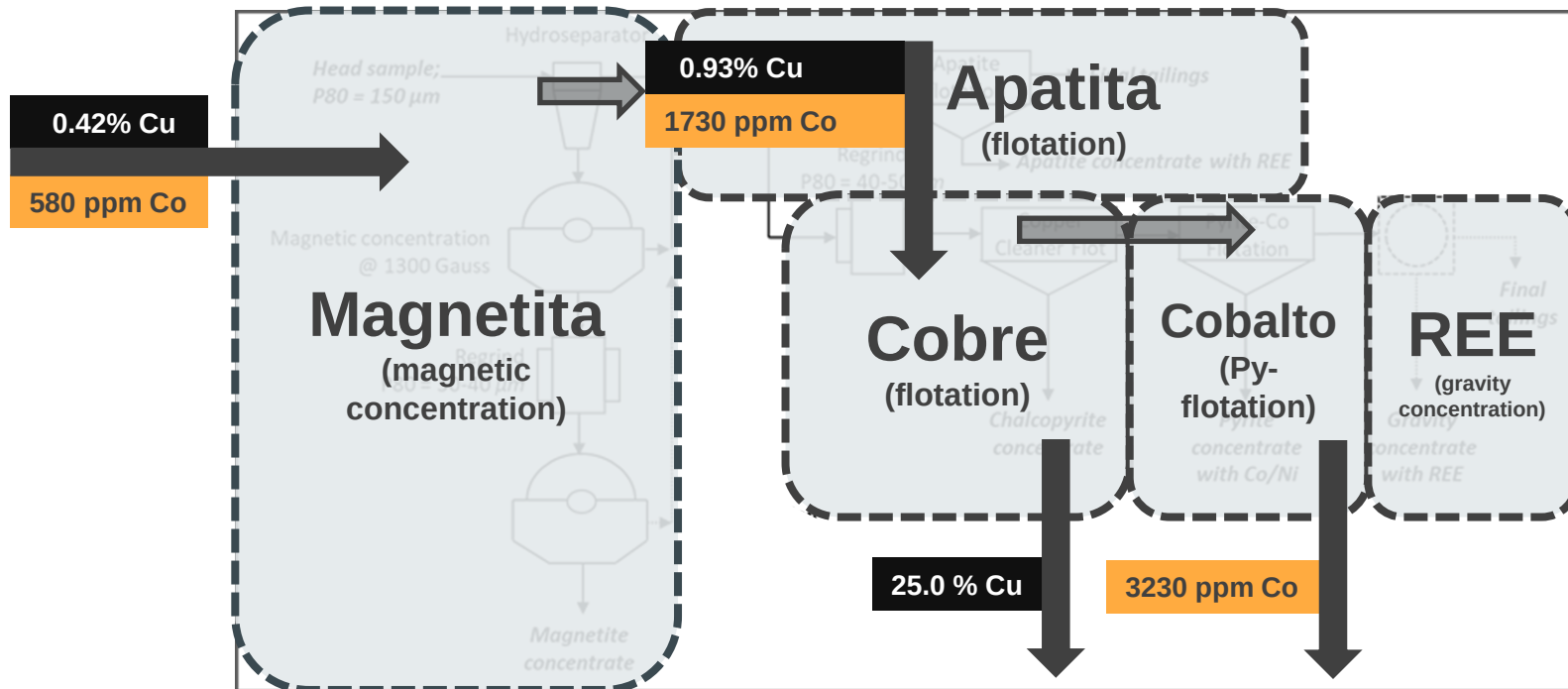
Resultados metalúrgicos de pruebas a nivel laboratorio

Product	Element of interest	High grade Cu comp.		Medium grade Cu comp.		Low grade Cu comp.	
		Grade	Rec. %	Grade	Rec. %	Grade	Rec. %
Copper concentrate	Cu as CuFeS_2	24.9%	84	25.0%	83	15.5%	77
Magnetic concentrate	Fe as Fe_3O_4	69.8%	57	70.7%	78	69.8%	90
Co-pyrite concentrate	Co as $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}\text{S}_2$	3900 ppm	86	3230 ppm	77	3860 ppm	44
Co concentration ratio		3900 / 1090 = 3.6		3230 / 580 = 5.6		3860 / 320 = 12.1	
Calc. FeS ₂ grade in Co-pyrite concentrate		99.3%		91%		95.1%	

Sample ID	Cu (%)	Fe (%)	As (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	S (%)
High grade Cu	0.79	41.8	210	1090	1830	19.5
Medium grade Cu	0.42	46.4	110	580	1150	11.1
Low grade Cu	0.22	55.2	<30	320	560	4.7



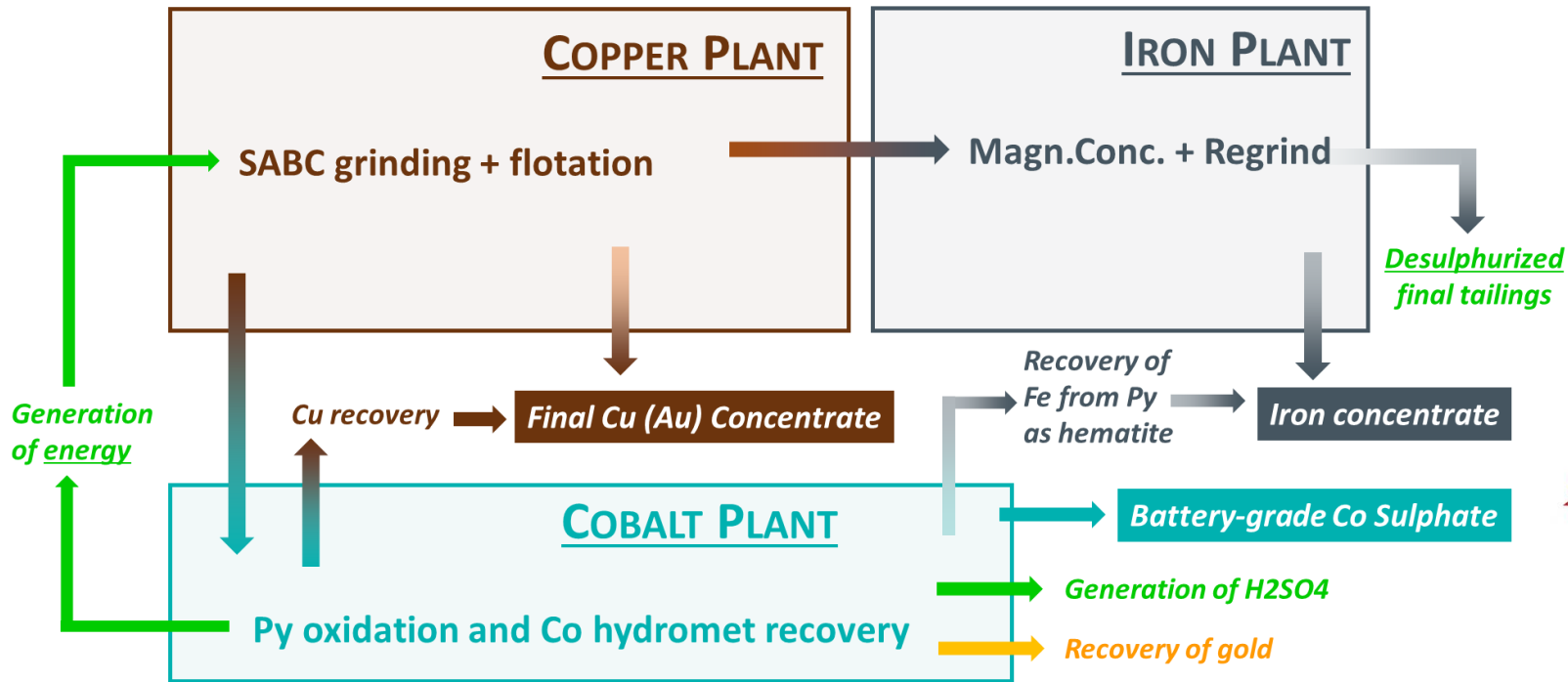
La Estrella: resumen del proceso propuesto



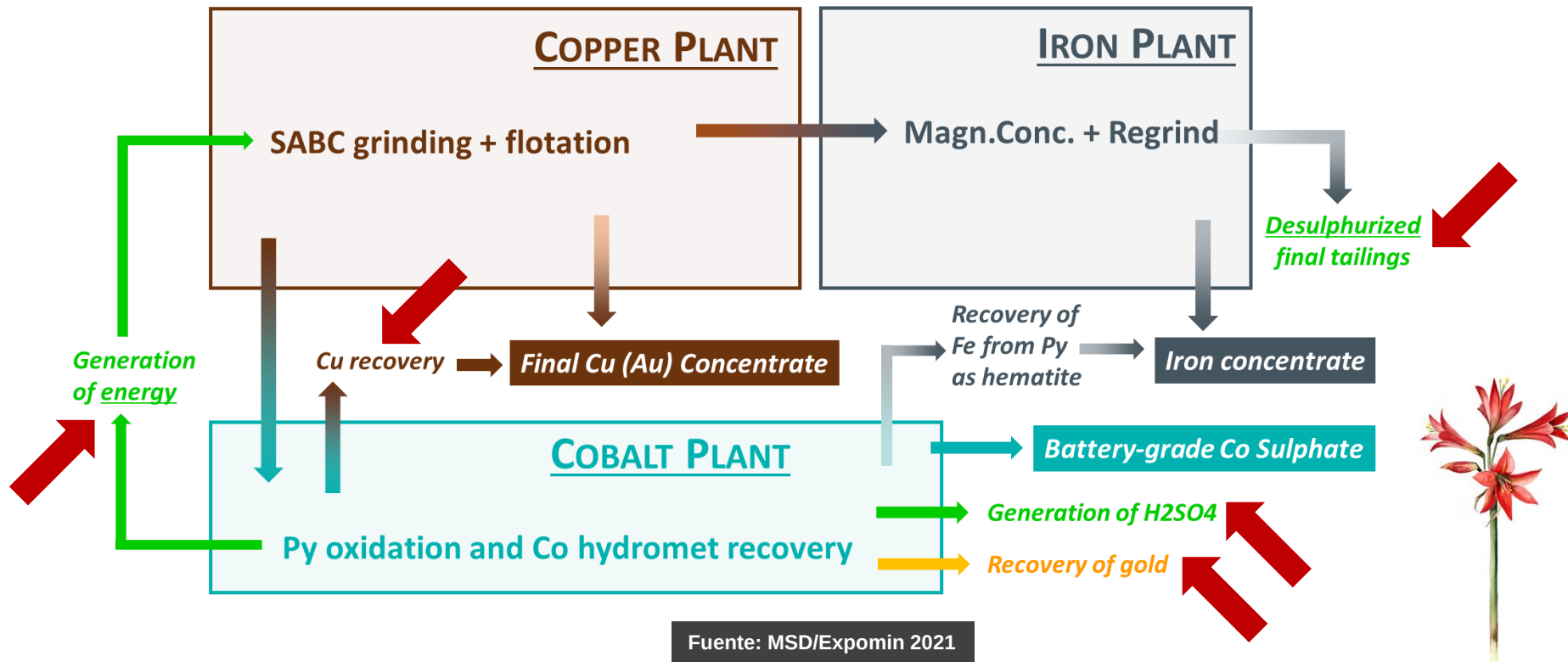
Fuente: Townley, Kuyvenhoven (2018)



Flowsheet de Santo Domingo para recuperación de Co (planta concentradora de 65 ktpd, etapa DFS 2020)



Flowsheet de Santo Domingo para recuperación de Co (planta concentradora de 65 ktpd, etapa DFS 2020)



Opciones para el tratamiento del concentrado piritoso (Co)

1.A Tostación

- Tostación a muerte para oxidar pirita
- Tecnología existente
- Produce una calcina que debe tratarse en autoclave (LX)

1.B Autoclave

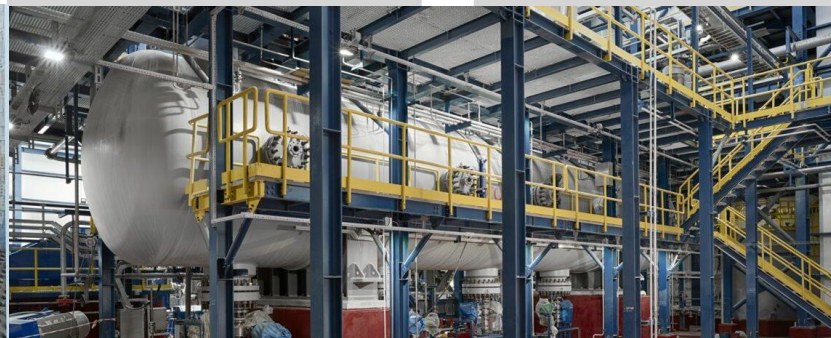
- Solubiliza todos los elementos
- Tecnología existente
- Requiere purificación extensa
- Excelente recuperación de Co

2. Bio-Lixiviación

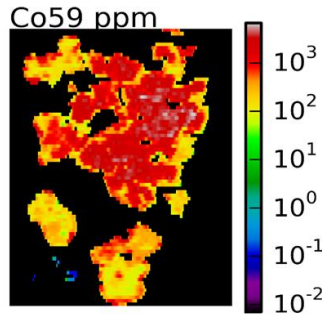
- Oxida la pirita para solubilizar cobalto
- Proceso probado como Biocobre® por Pucobre
- Buena recuperación
- TRL 4-2 para Co

3. Lixiviación Ácida

- No ha sido demostrado para Co
- Manejo y neutralización de la solución es compleja
- Relativamente baja intensidad de capital



¿De qué depende la selección del proceso LX?



- Cobalto concentrado de forma más “intergranular”
 - Requiere la destrucción total del grano para liberar el cobalto
 - Tostación – Lixiviación en Autoclave



- Pirita más cristalina con cobalto concentrado hacia los bordes
 - Candidato para biolixiviación – desde el punto de vista metalúrgico
 - ¿Lixiviación ácida?



Cobalto como producto (hidróxido, carbonato o sulfato)

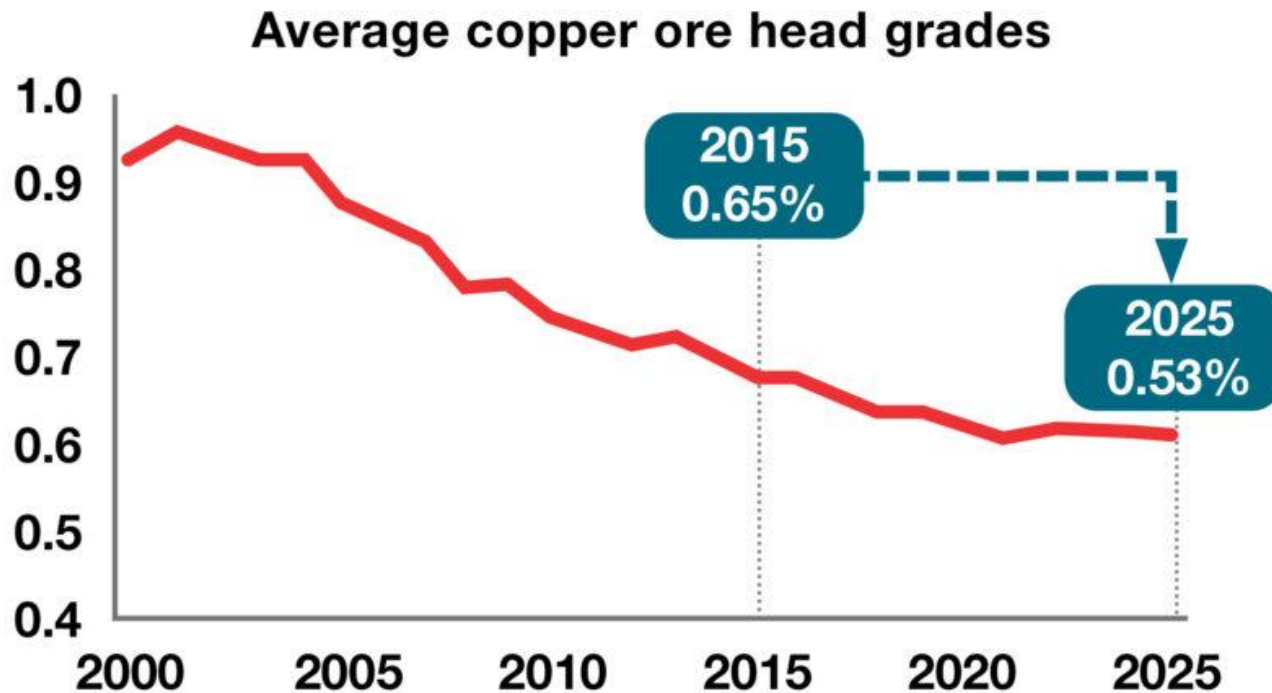


- Cobalto se precipita como sal y (normalmente) se transporta a China
- China se conoce por su know-how y expertise de cómo producir cátodos de cobalto
- Extracción por solventes y electro-obtención de cobalto desde sales de cobalto, es un proceso tecnológicamente desafiante, e inversionistas eviten exponerse a este riesgo



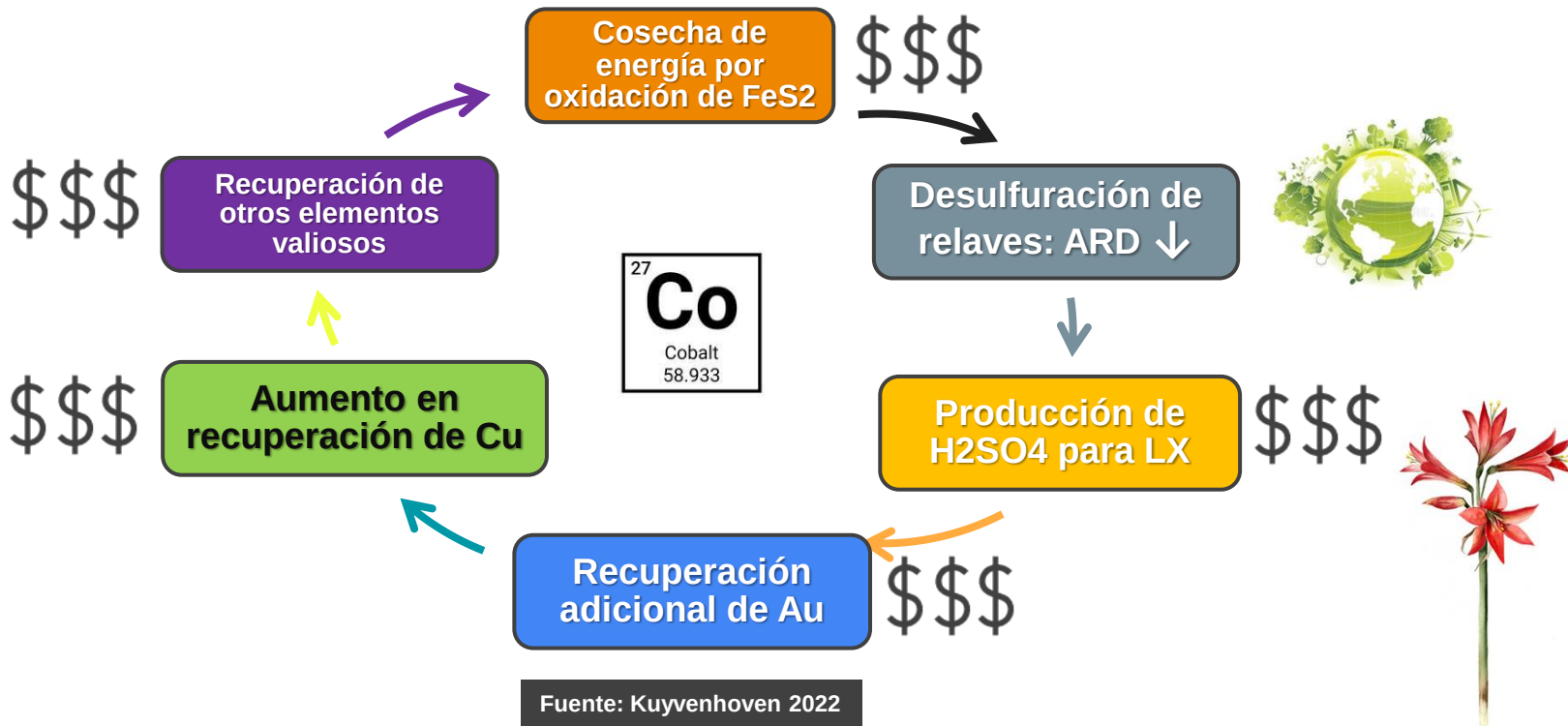
Chile país cuprífera.

04



Fuente: <https://im-mining.com/2022/05/25/futureproofing-the-worlds-copper-supply-through-technology-use/>

Beneficios secundarios de recuperar cobalto



Recuperación de Co como producto secundario

Santo Domingo, Chile

Cu-Fe concentrator

Manto Verde, Chile

Cu concentrator

Biocobre, Chile

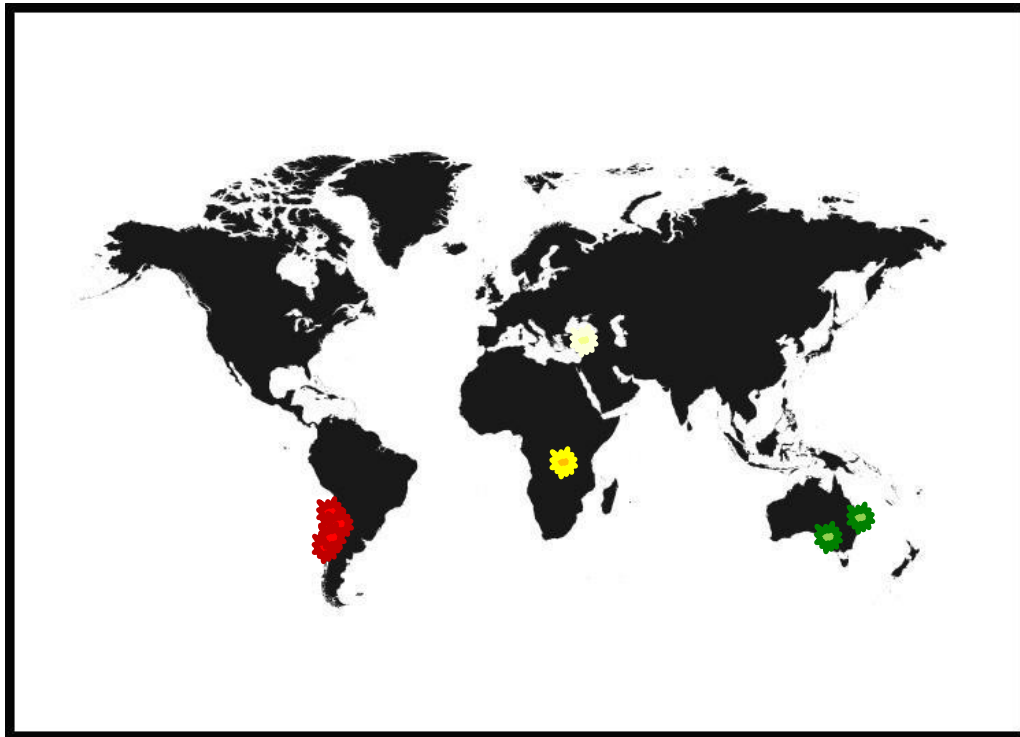
Biocobre® conc. LX

Dominga, Chile

Fe-Cu concentrator

El Espino, Chile

Cu concentrator



Eti Bakir, Mazidagi, Turkey

Pyrite concentrate roast
(OPERATION)

Walford Creek, Australia

Pyrite concentrate heap leach

Thackaringa, Australia

Py thermal decomposition,
then pyrrhotite LX



Comentarios finales

1. Deje fuera de consideración el impacto del plan minero en esta presentación. Esto sí debe considerarse dentro de un estudio geometalúrgico mas completo, ya que el proceso metalúrgico debe ser consistente con el plan minero (y al revés).
2. Aparte de las razones geológicas como una disminución consistente en ley de cabeza de cobre, hay aspectos geopolíticos y ambientales que podrían impactar positivamente la recuperación de cobalto desde minerales IOCG
3. La mineralogía de procesos permite adoptar un enfoque “multi-commodity” para el caso de minerales con modestas cantidades de commodities individuales, que en su conjunto sí tienen potencial de crear valor económico y/o enrobustecer la economía del proceso principal del cobre
4. En el caso específico de cobalto, se observa que el conjunto de los beneficios secundarios – generación de energía, desulfuración de relaves y aumento de recuperación de cobre y oro – tiene potencial de crear mayor beneficio económico que la mera recuperación del cobalto)



PRIMER SEMINARIO DE MINERALOGÍA

DESDE LA ROCA A LOS PRODUCTOS FINALES



LITHOCAPS
CAPACITACIONES

El uso de mineralogía de procesos para la evaluación del potencial de cobalto en minerales IOCG

Romke Kuyvenhoven

Muchas gracias

