



La Geometalurgia en Chile

Dr. Oscar Jerez Riveros
Instituto de Geología Económica Aplicada
Universidad de Concepción



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores





Geometalurgia

Integración de información geológica, minera, metalúrgica, medioambiental y económica

Uso de geología, geoestadística, metalurgia extractiva, planeamiento minero y evaluación económica

Herramienta que involucra a especialistas en el campo de la geología, la microscopía, la minería y la metalurgia extractiva

Relaciona atributos geológicos con respuestas metalúrgicas

Enfoque cuantificado e integral de la caracterización del mineral en términos de atributos críticos de procesamiento

Para optimizar los procesos de explotación y beneficio de los minerales

Minimiza el riesgo operativo y técnico

Escalamiento metalúrgico y en el desarrollo de proyectos

Mejor previsión, menor riesgo técnico, mayor optimización económica de la producción de minerales y mejor sostenibilidad



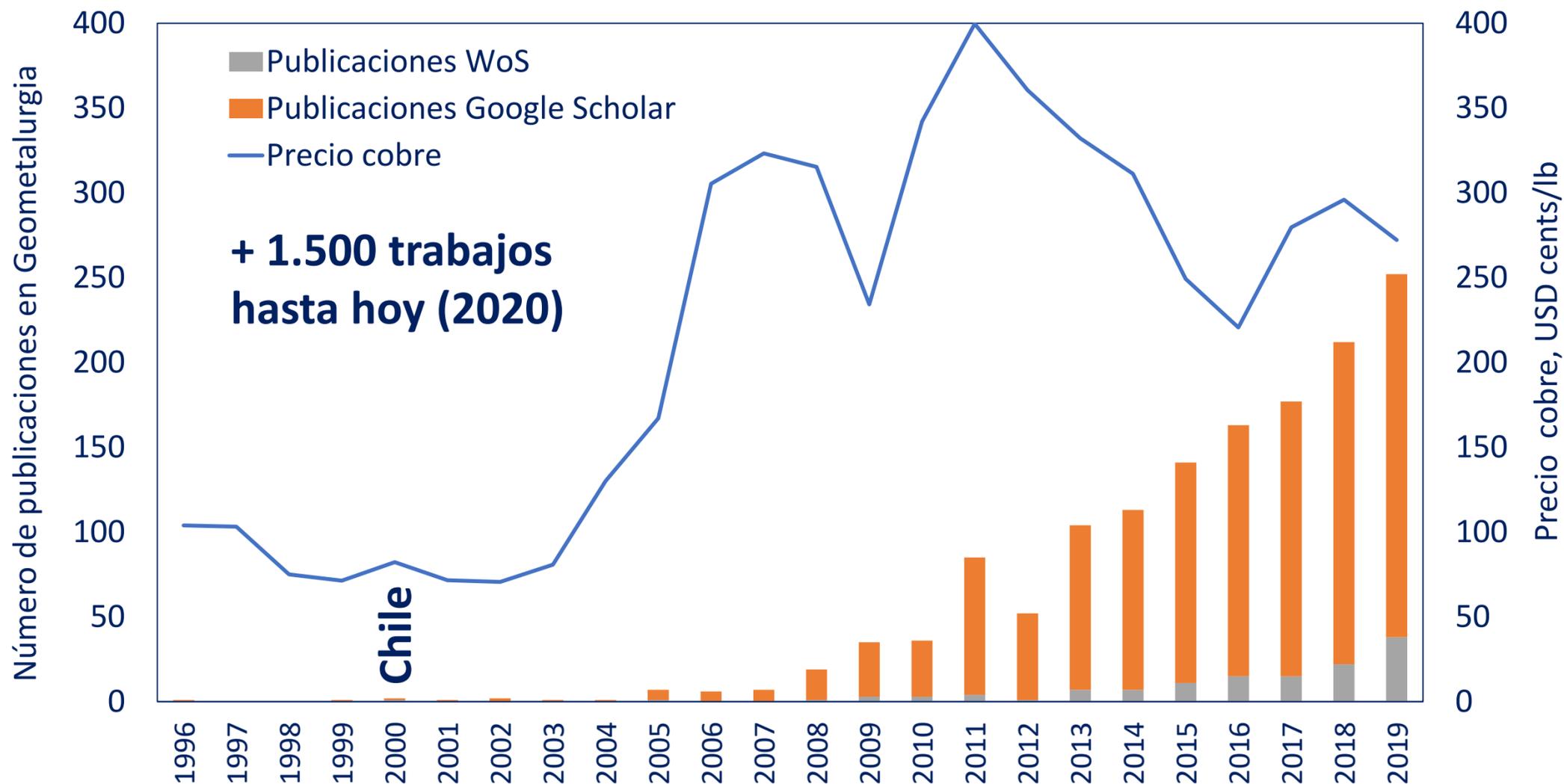
SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores





Inicio y alcance global



~ 1906-1990

- Mineralurgia
- Mineralogía aplicada
- Mineralogía de procesos

~ 1990-2010

- Geometalurgia
- Geo-minero-metalurgia

~ 2010-hoy

- Geometalurgia (incluyendo a la minería)



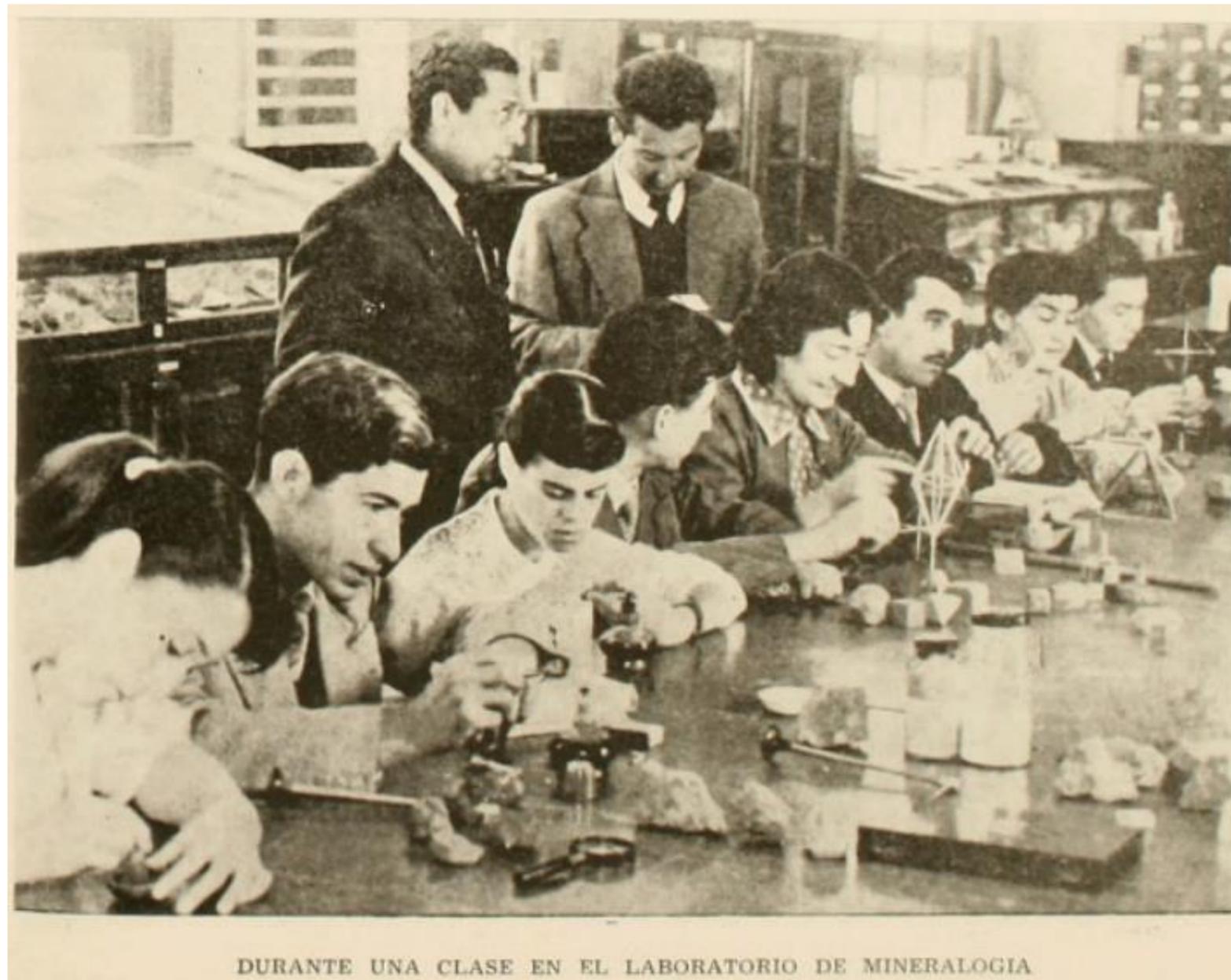
SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores

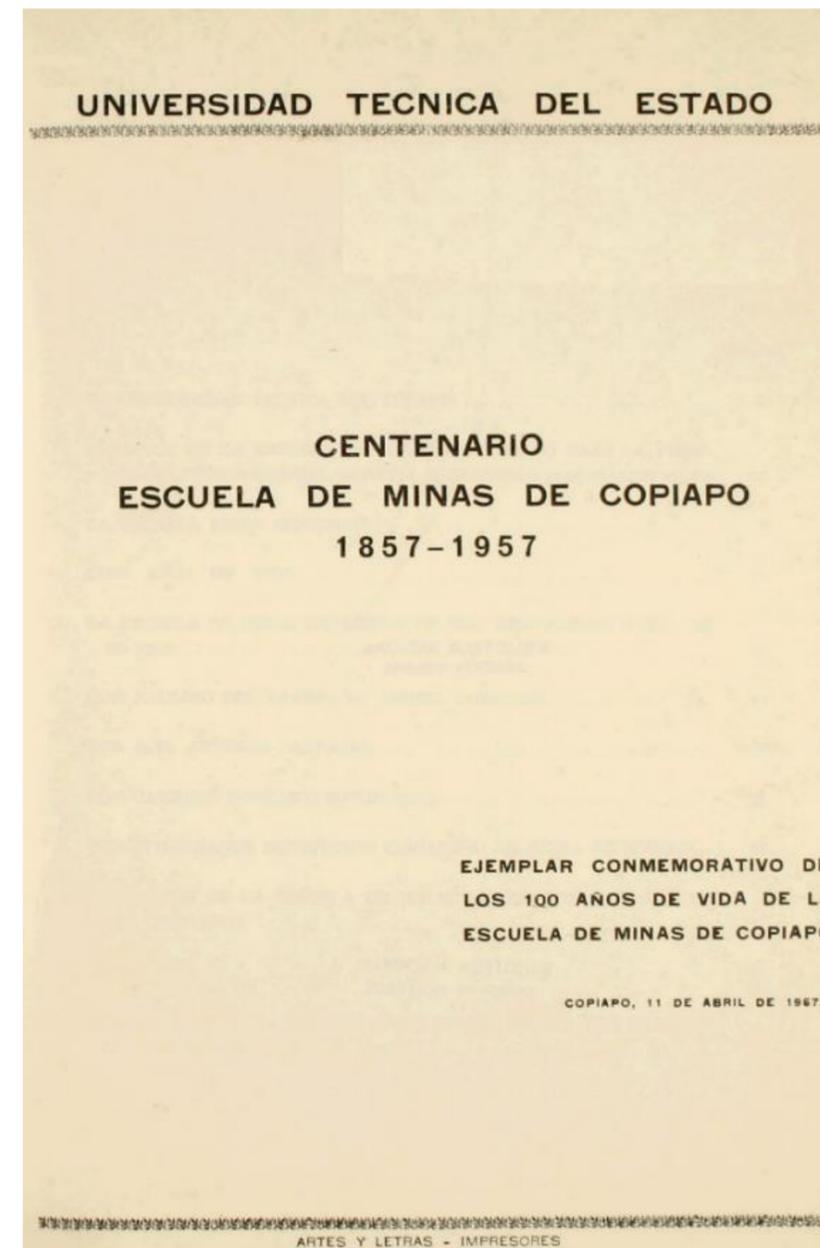




Siglo XIX en Chile



DURANTE UNA CLASE EN EL LABORATORIO DE MINERALOGIA



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores





Siglo XX en Chile

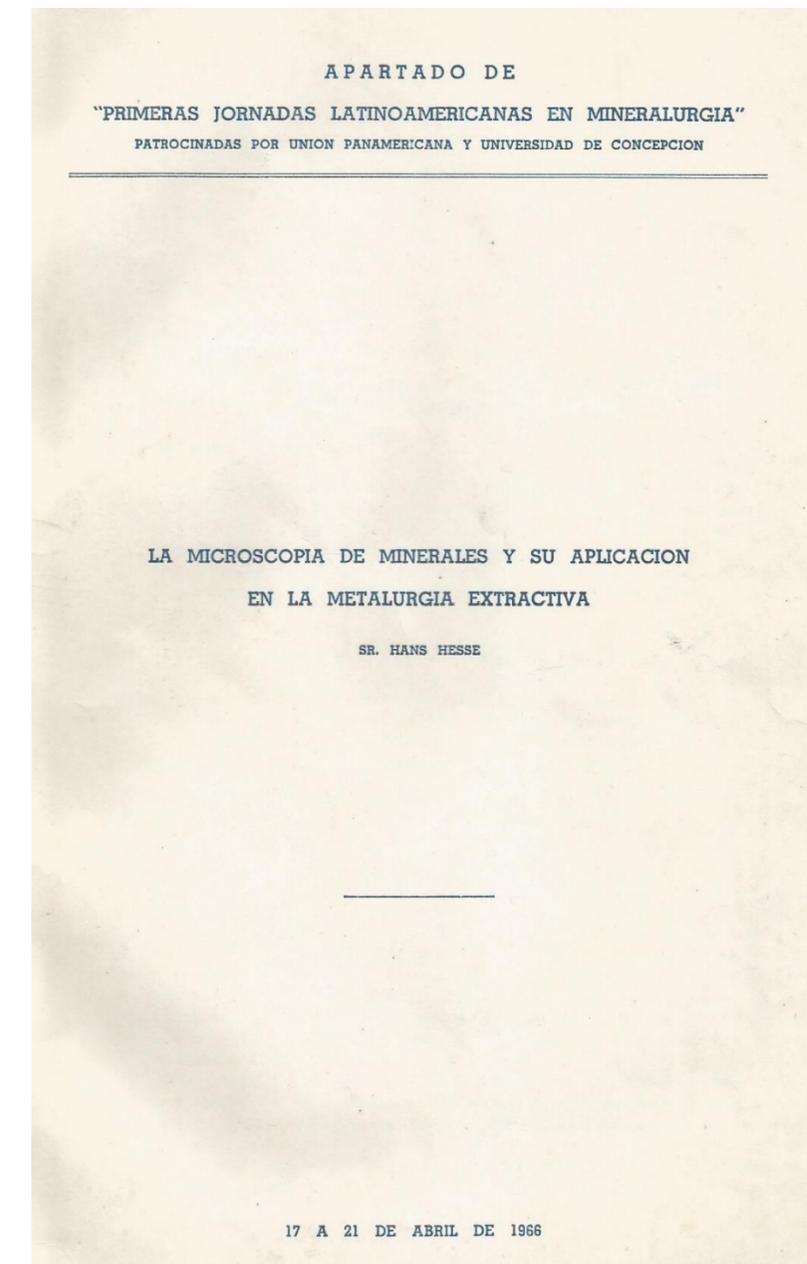
Los avances y perfeccionamiento que el beneficio de minerales experimentó en los últimos 50 años (1910-1960), se deben en gran parte a la **microscopía de minerales**.

El mejoramiento de los métodos de concentración no solo dependen del perfeccionamiento de los equipos, sino por sobre todo, del **conocimiento de las características mineralógicas de las menas**.

La posibilidad de concentrar un mineral dependen de las condiciones económicas y de sus propiedades físico-químicas.

- **Tamaño de grano**
- **Textura de los agregados**
- **Paragénesis**
- **Geología de yacimiento**
- **Grado de oxidación**

Hans Hesse, 1966



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

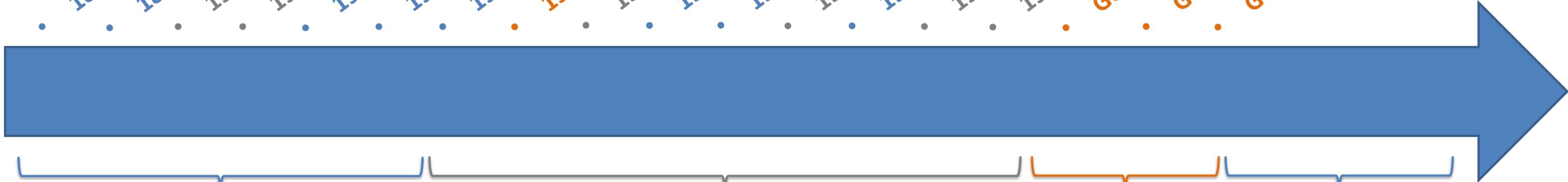
IMetChile agradece a sus auspiciadores





Cronología

- 1853. Ingeniería en Minas - UCh
- 1857. Escuela de Minas de Copiapó
- 1904. El Teniente
- 1910. Chuquicamata
- 1940. Ingeniero Industrial Metalúrgico - USACH
- 1952. Geología - UCh
- 1961. Ingeniería Civil Metalúrgica - Udec
- **1968. Geometallurgy**
- 1970. Andina
- 1971. Nacionalización
- 1976. Codelco
- 1980. Los Bronces
- 1990. Lixiviación en pilas
- 1997. Radomiro Tomic
- 1999. Collahuasi y Pelambres
- **Geometalurgia V.Alpha**
- **Geometalurgia. V.Beta**
- **Geometalurgia. V.1.0**

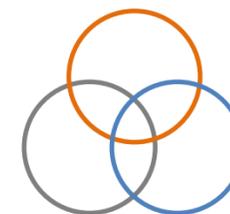


Disciplina - Interdisciplina

Multidisciplina

Interdisciplina

Transdisciplina



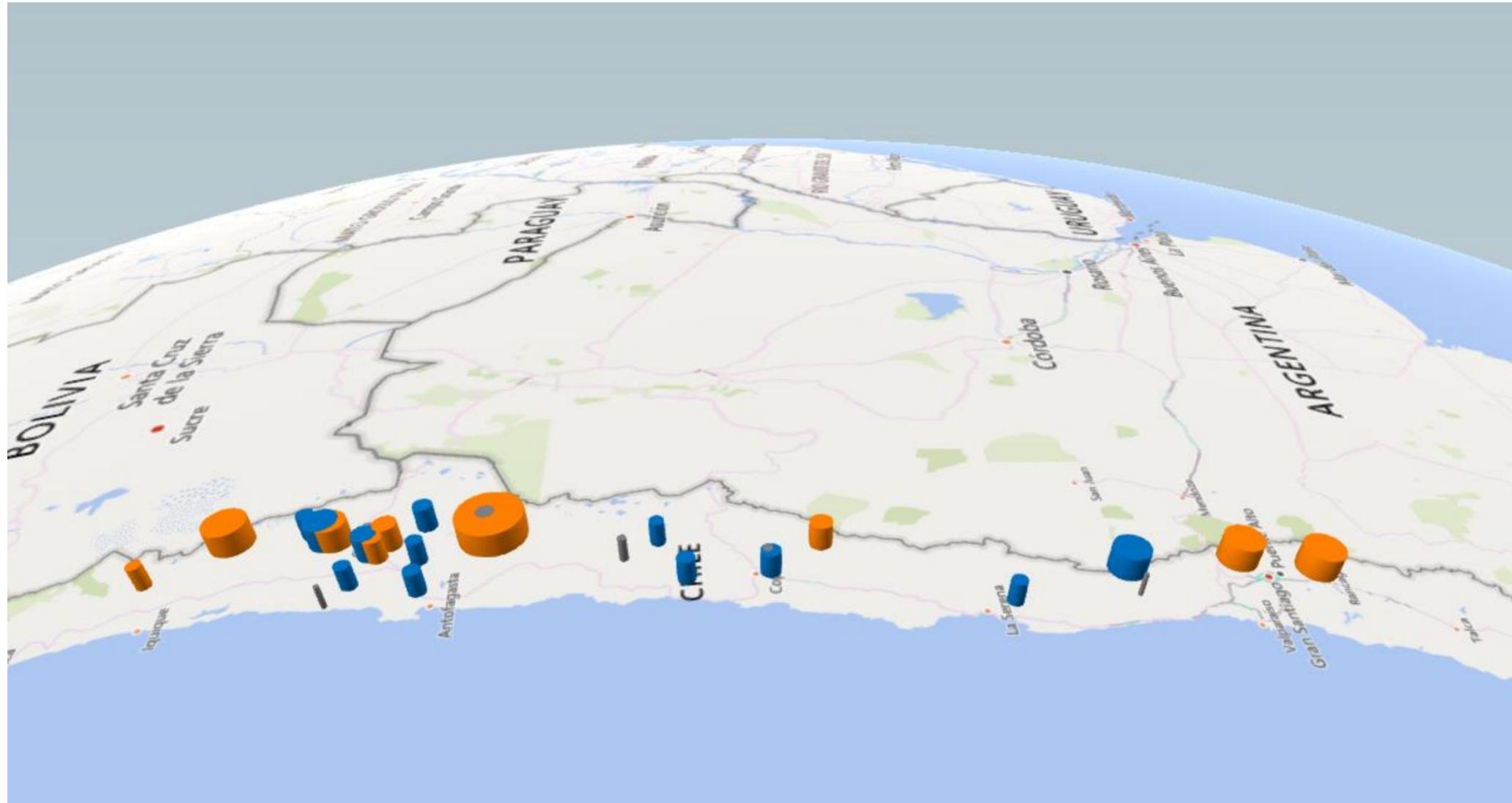
SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020



IMetChile agradece a sus auspiciadores



Geometalurgistas



~ 65% producción de Cu

- Unidades GEOMET
- Superintendencia GEOMET

~ 32% producción de Cu

- Geometalurgistas

~ 3% producción de Cu

- Sin información



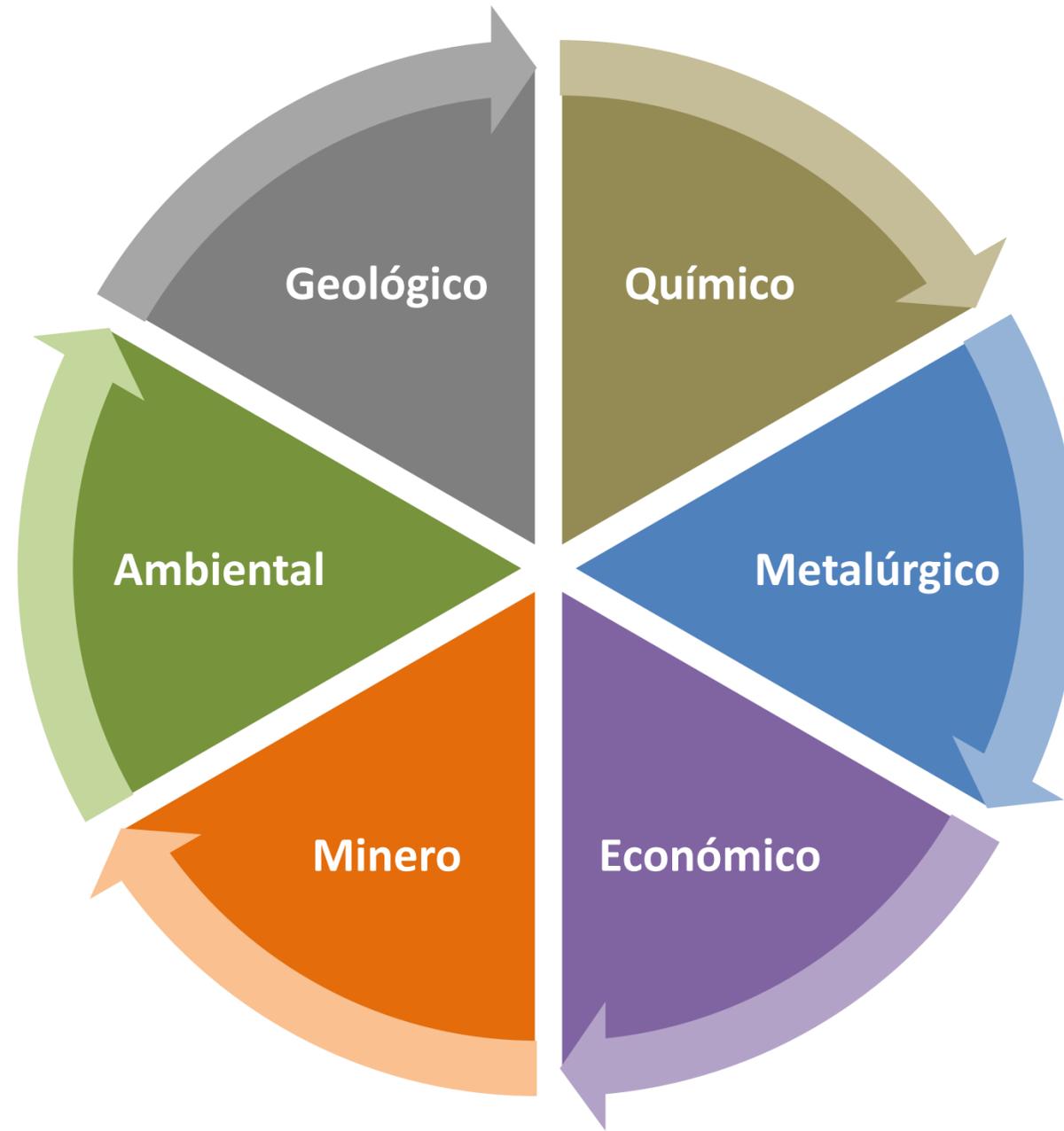
SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores





Problemáticas



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores





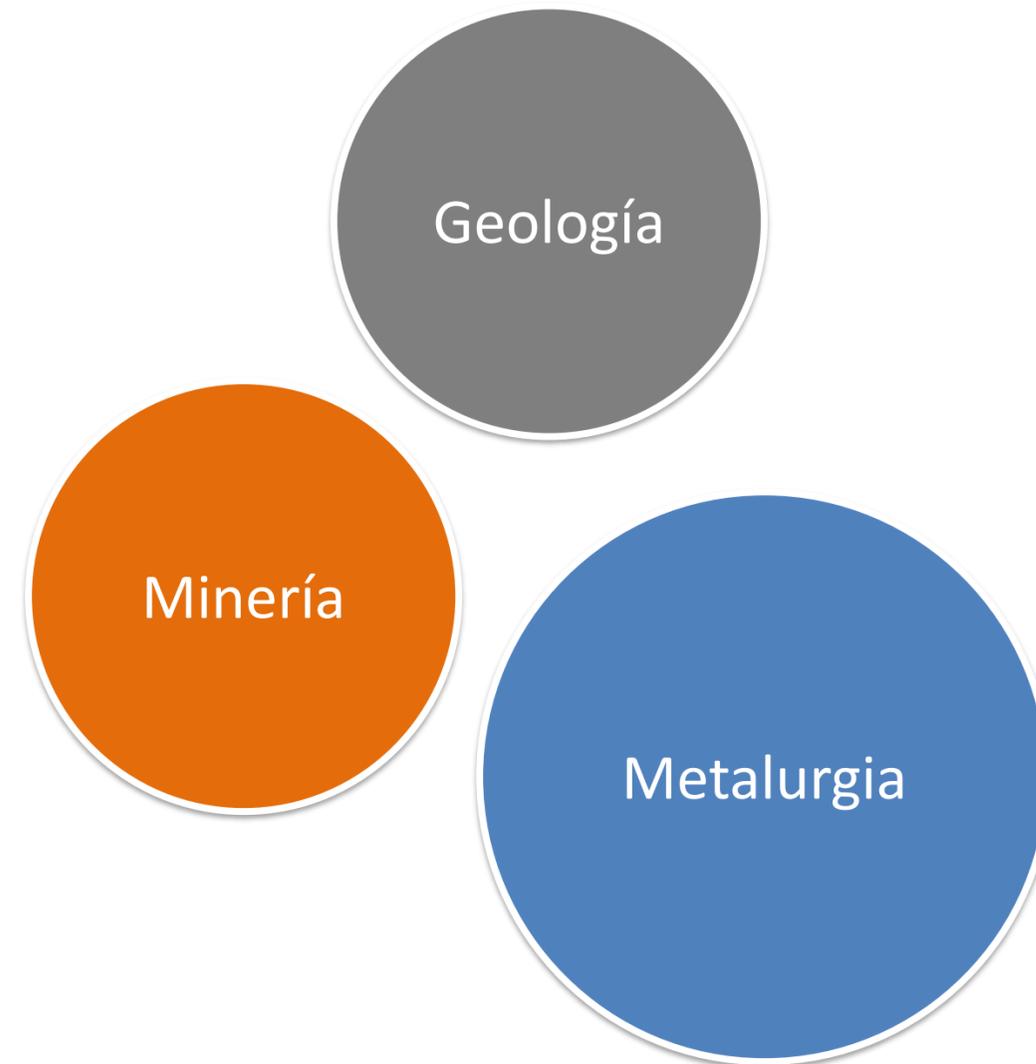
Geometalurgia V.Alpha



Multidisciplina

Mineros, geólogos y metalúrgicos plantean las **variables críticas** en cada una de sus disciplinas.

Surge la necesidad de homologar el lenguaje, la información y buscar **proxys** entre la información **química, mineralógica y metalúrgica.**



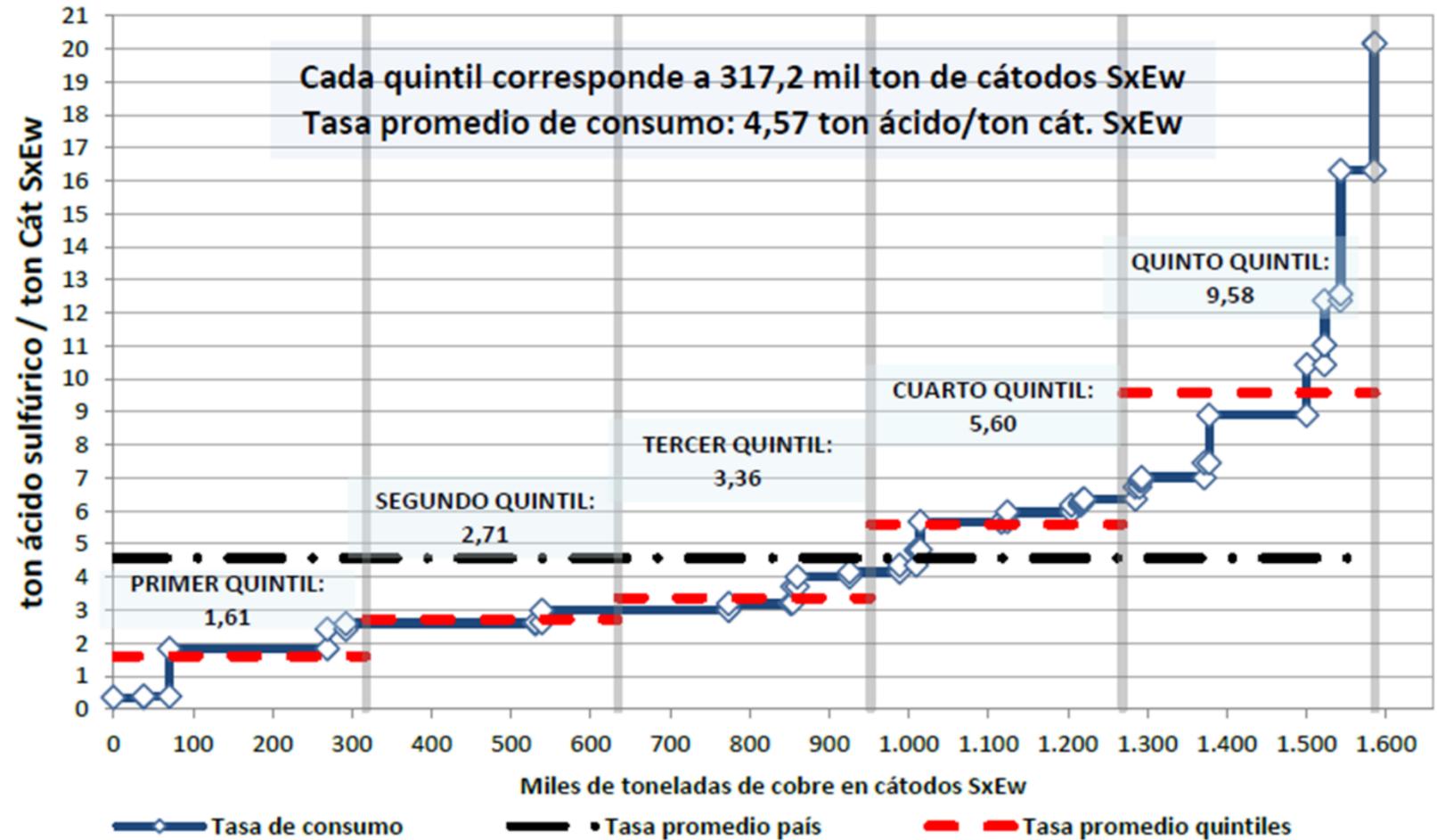
SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores



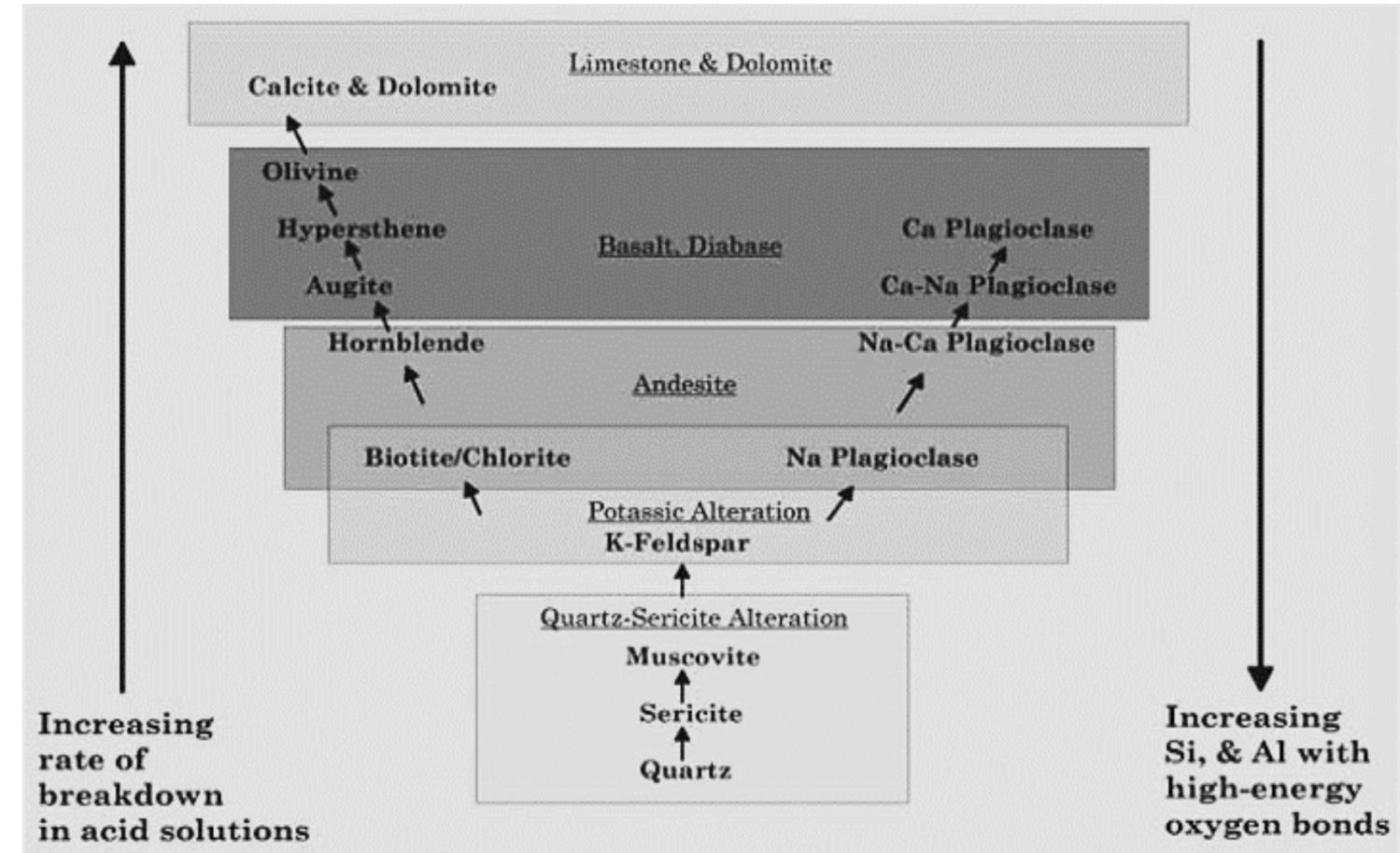


Geometalurgia V.Alpha



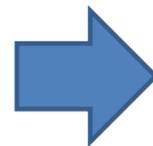
Gran (10) y mediana (3) Mediana (11) y pequeña (9)

Cochilco, 2017

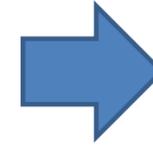


Scheffel et al., 2016

Química (QLT), mineral (alteración)



Generación de información



UGM



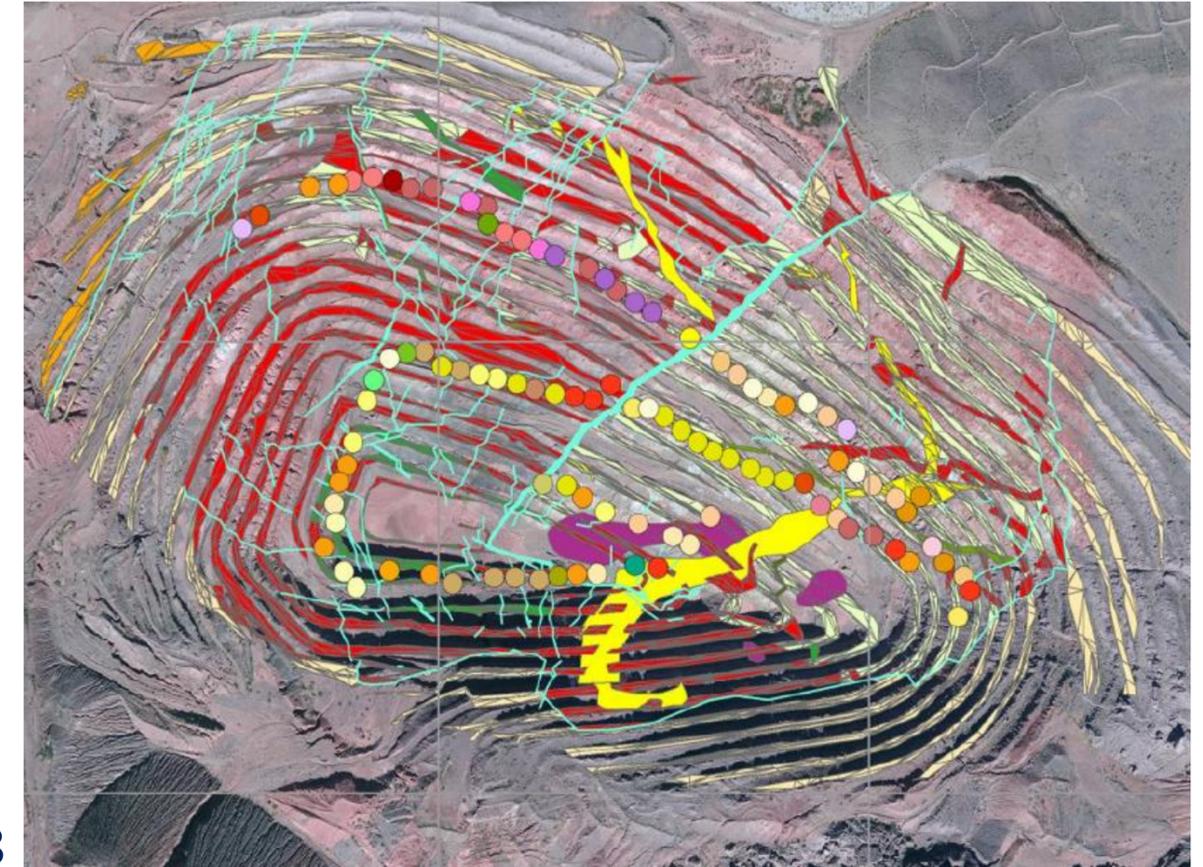
SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores

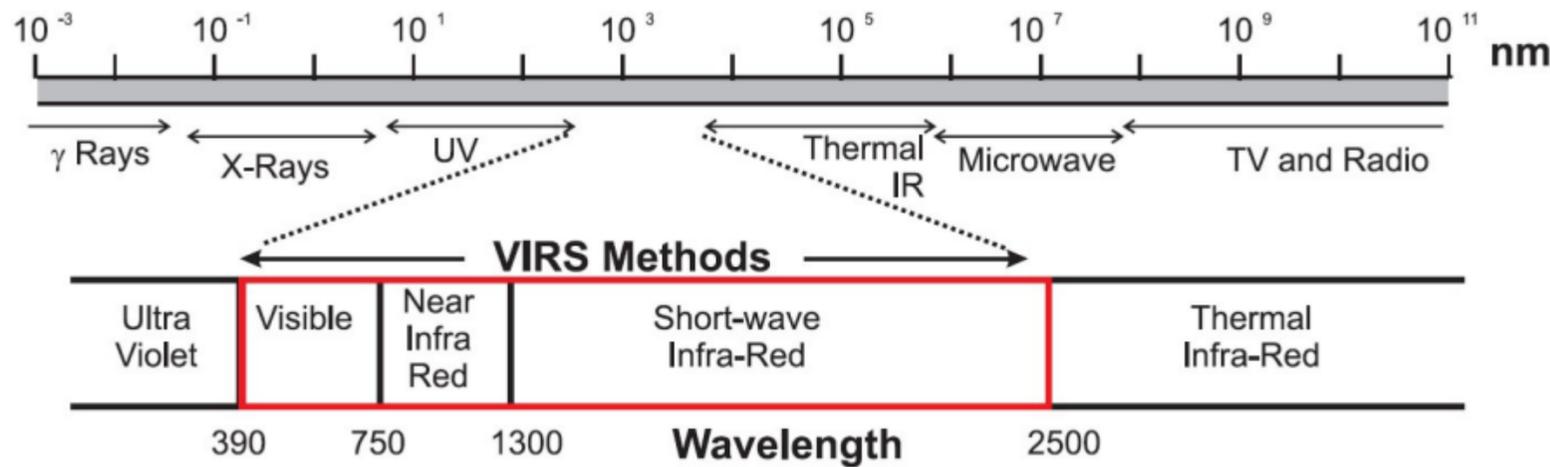




Geometalurgia V.Alpha



Stange, 2018



Espectroscopía de reflectancia VNIR-SWIR

- Bajo costo
- Rapidez
- Cualitativo
- Arcillas
- Portátil
- Preciso



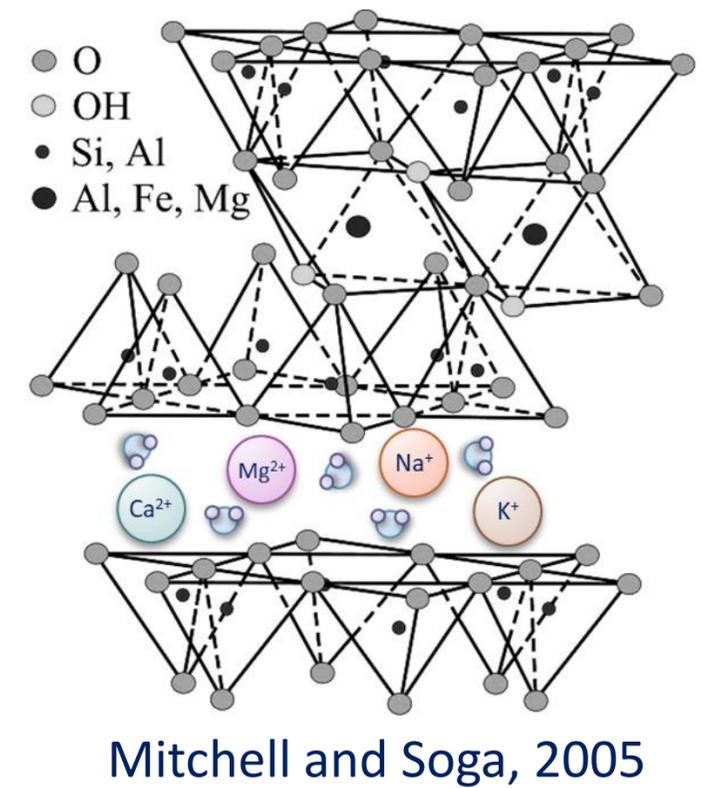
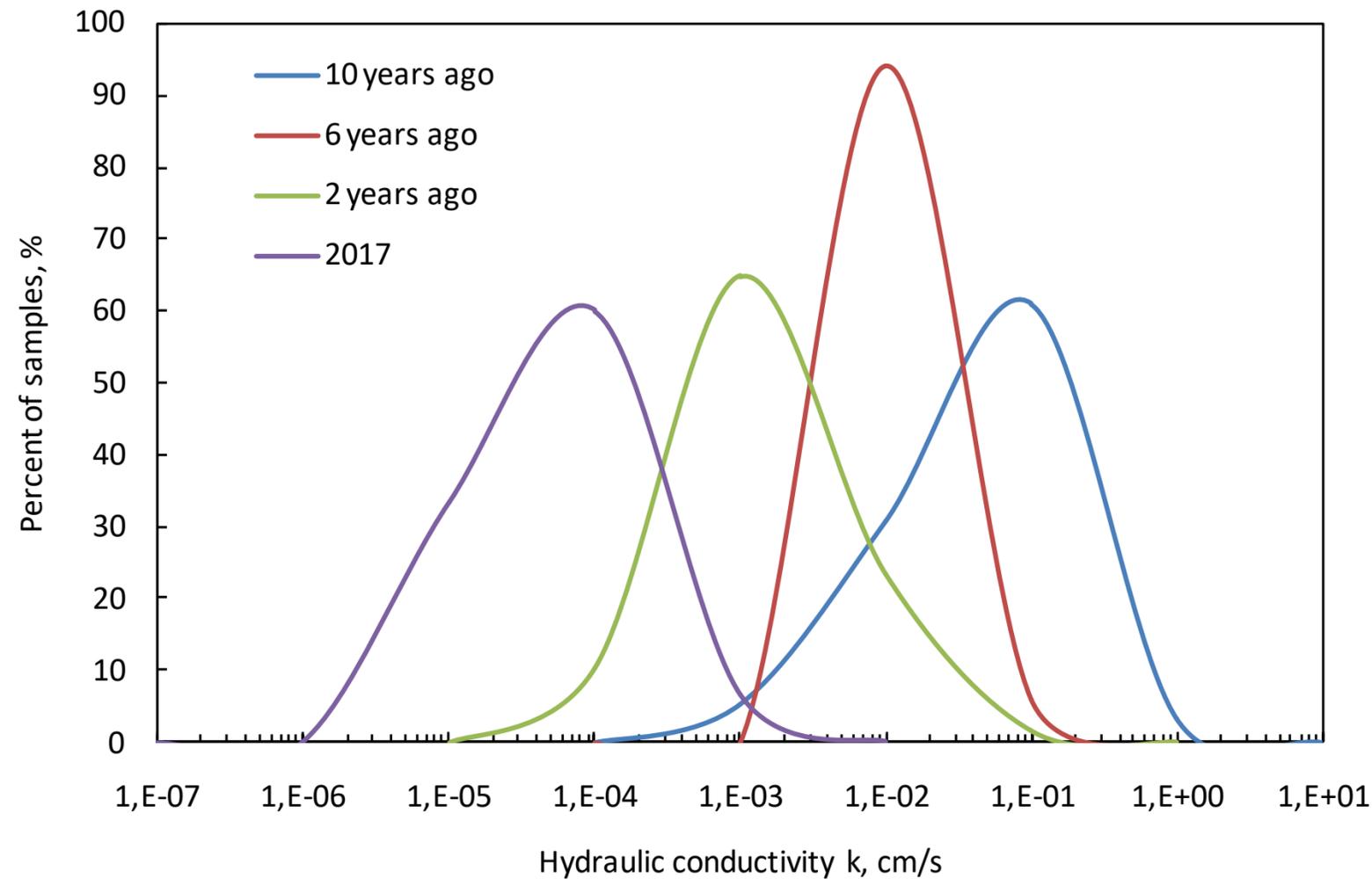
SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores





Geometalurgia V.Alpha



Proxy (k), química (CIC), mineral (arcillas)



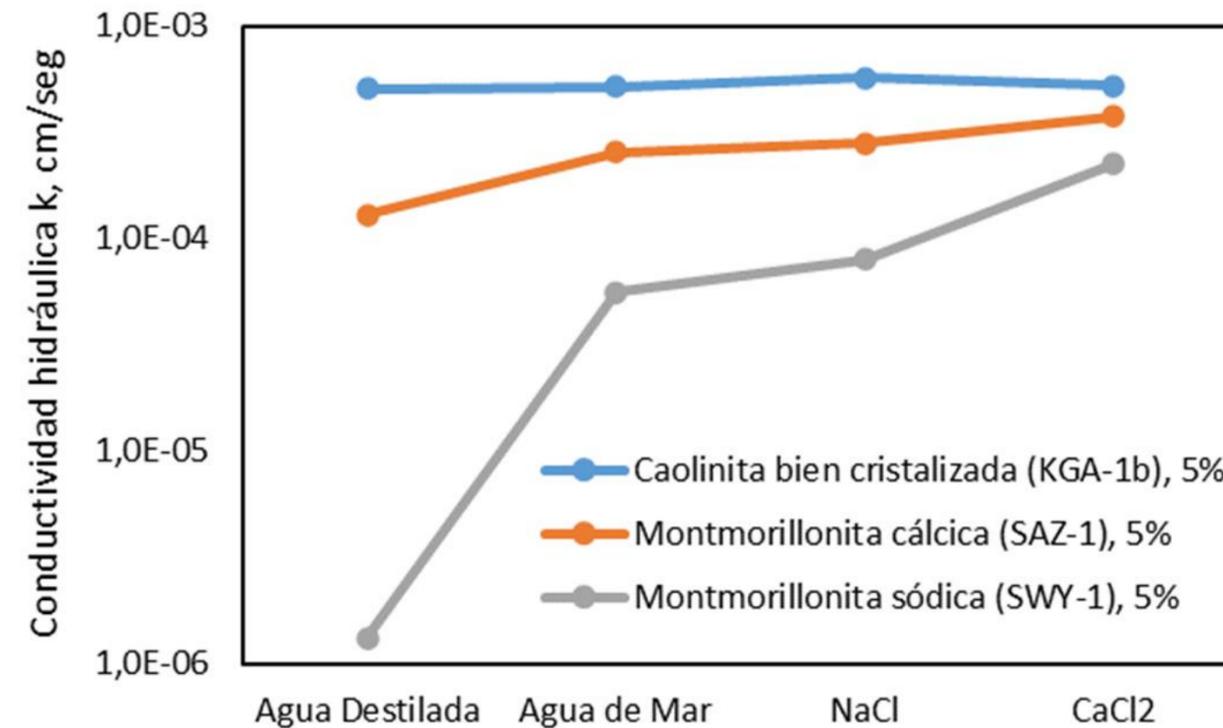
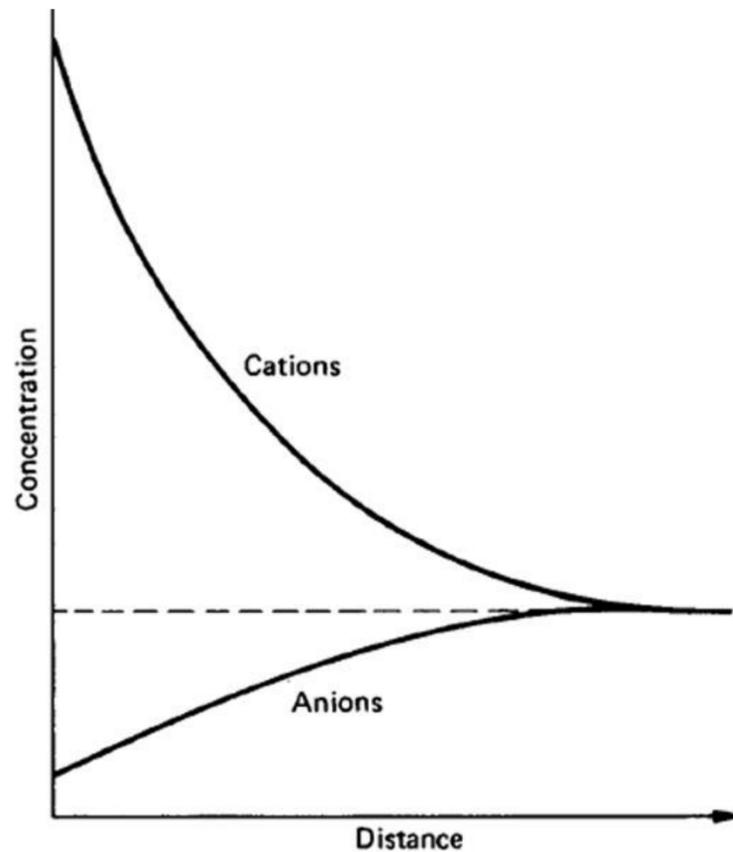
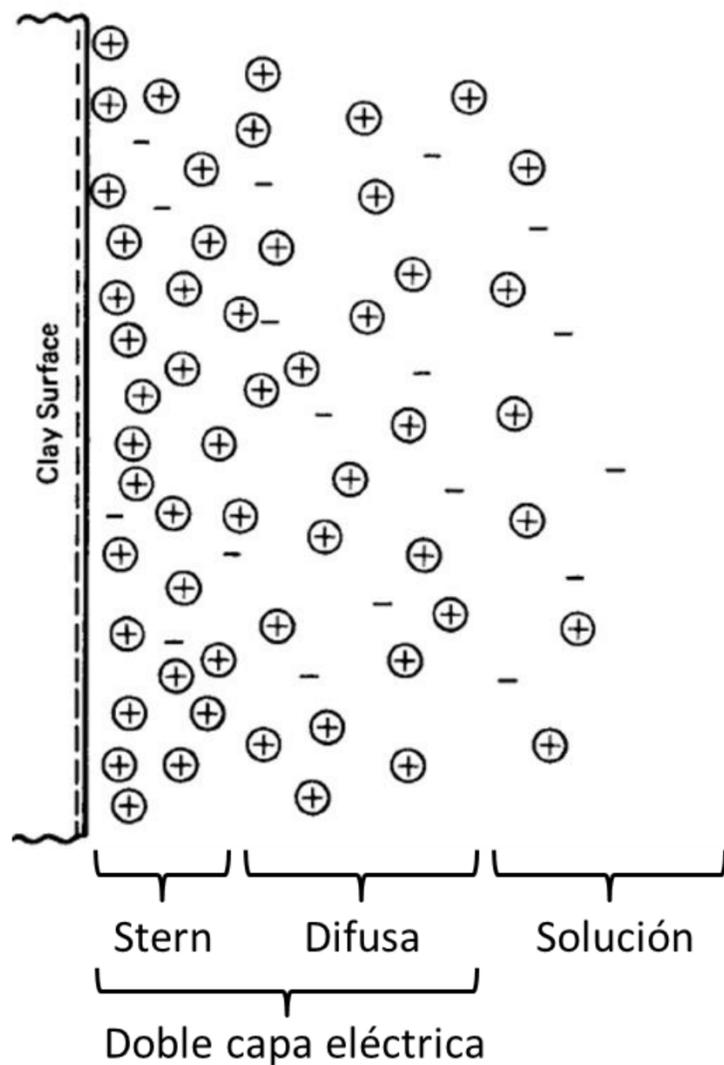
SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores





Geometalurgia V.Alpha



Clasificación de la permeabilidad

$k > 1E-4$, cm/s: bueno

$1E-6$, cm/s $< k < 1E-4$, cm/s: pobre

$k < 1E-6$, cm/s: impermeable

Mitchell and Soga, 2005



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores

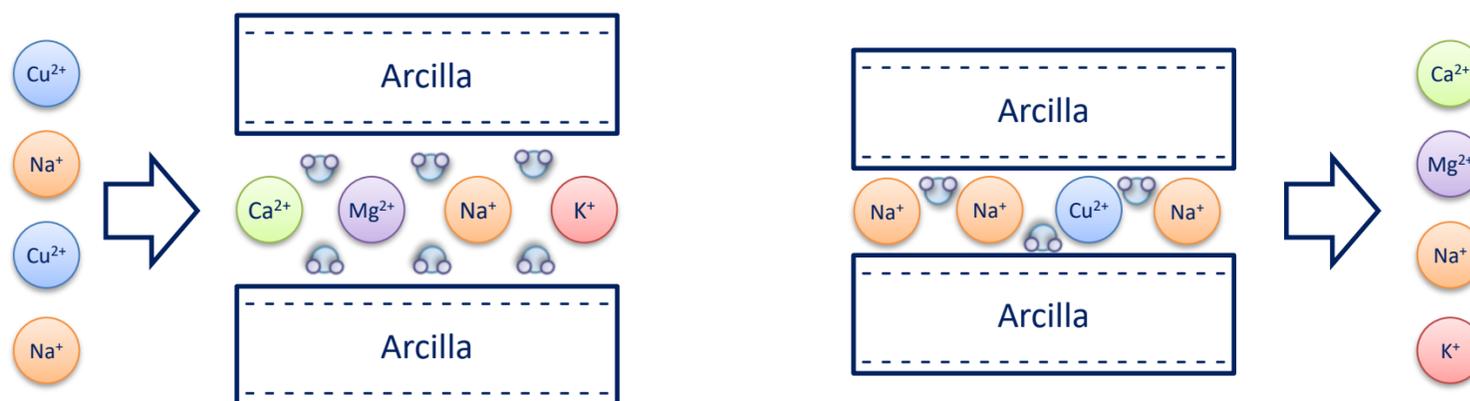
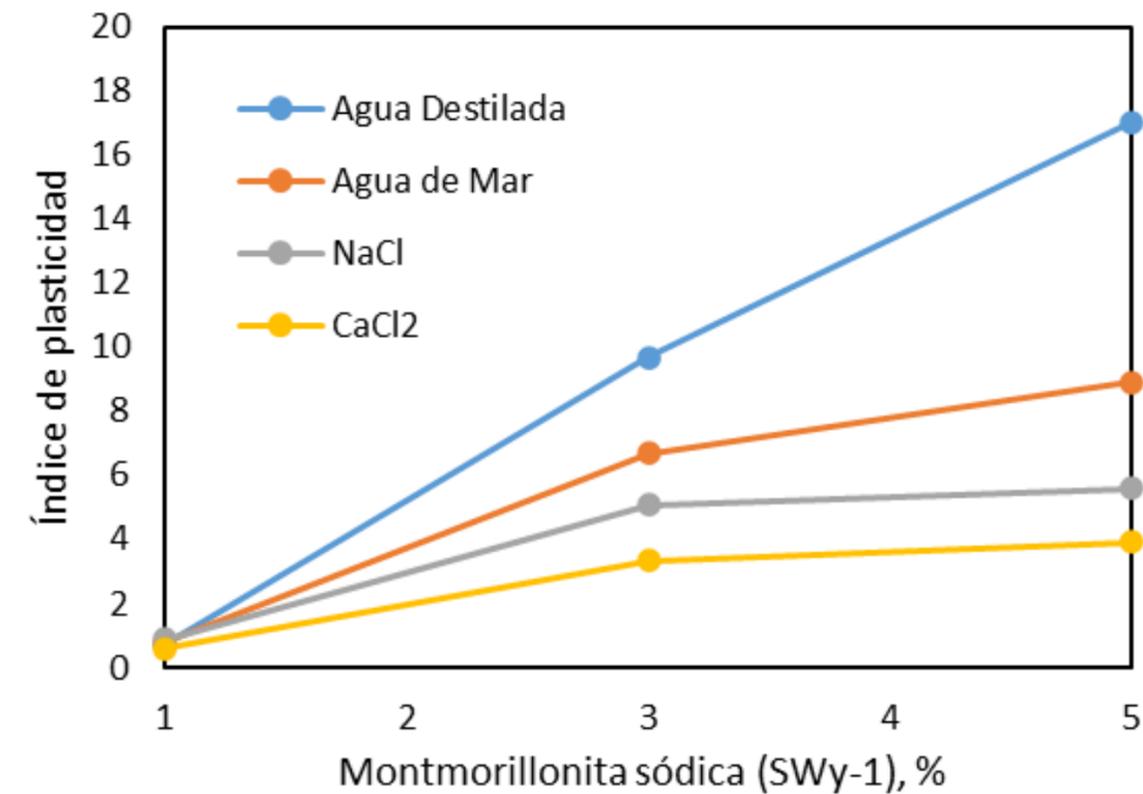
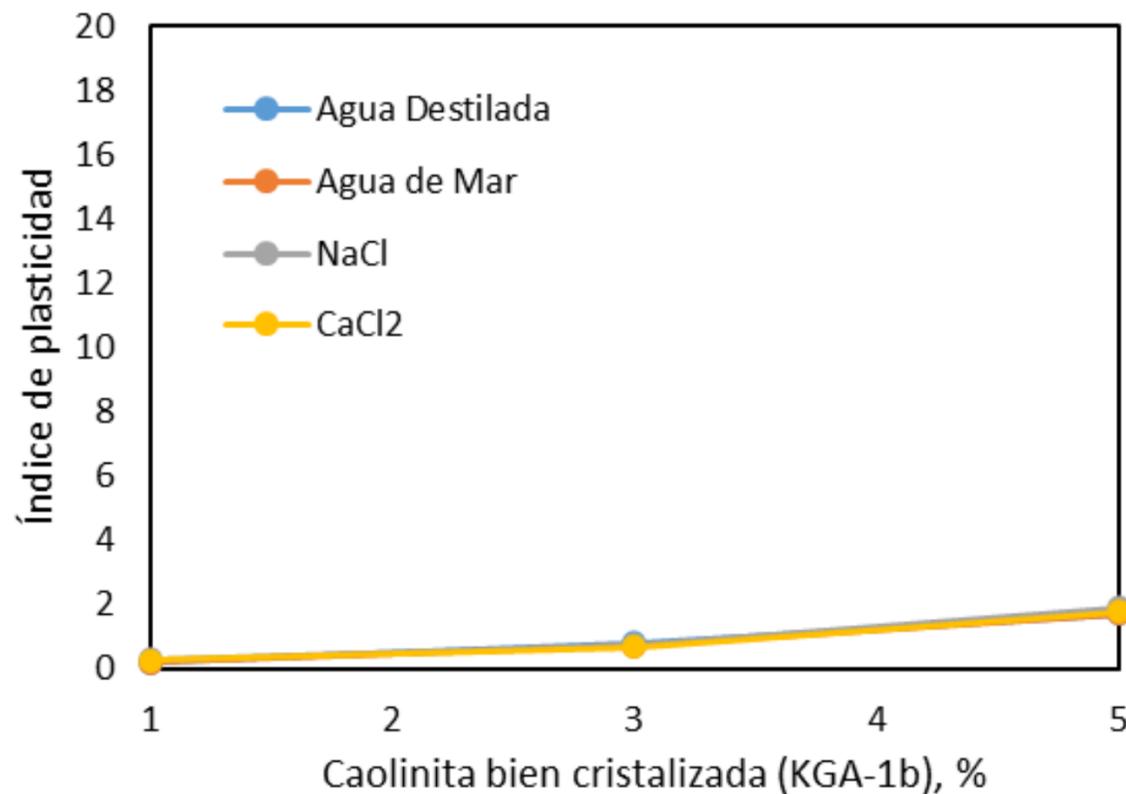




Geometalurgia V.Alpha



Proxy (IP)



Clasificación de la plasticidad

IP = 0: no plástico

IP < 7: baja plasticidad

7 < IP < 17: medianamente plástico

IP > 17: altamente plástico



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores





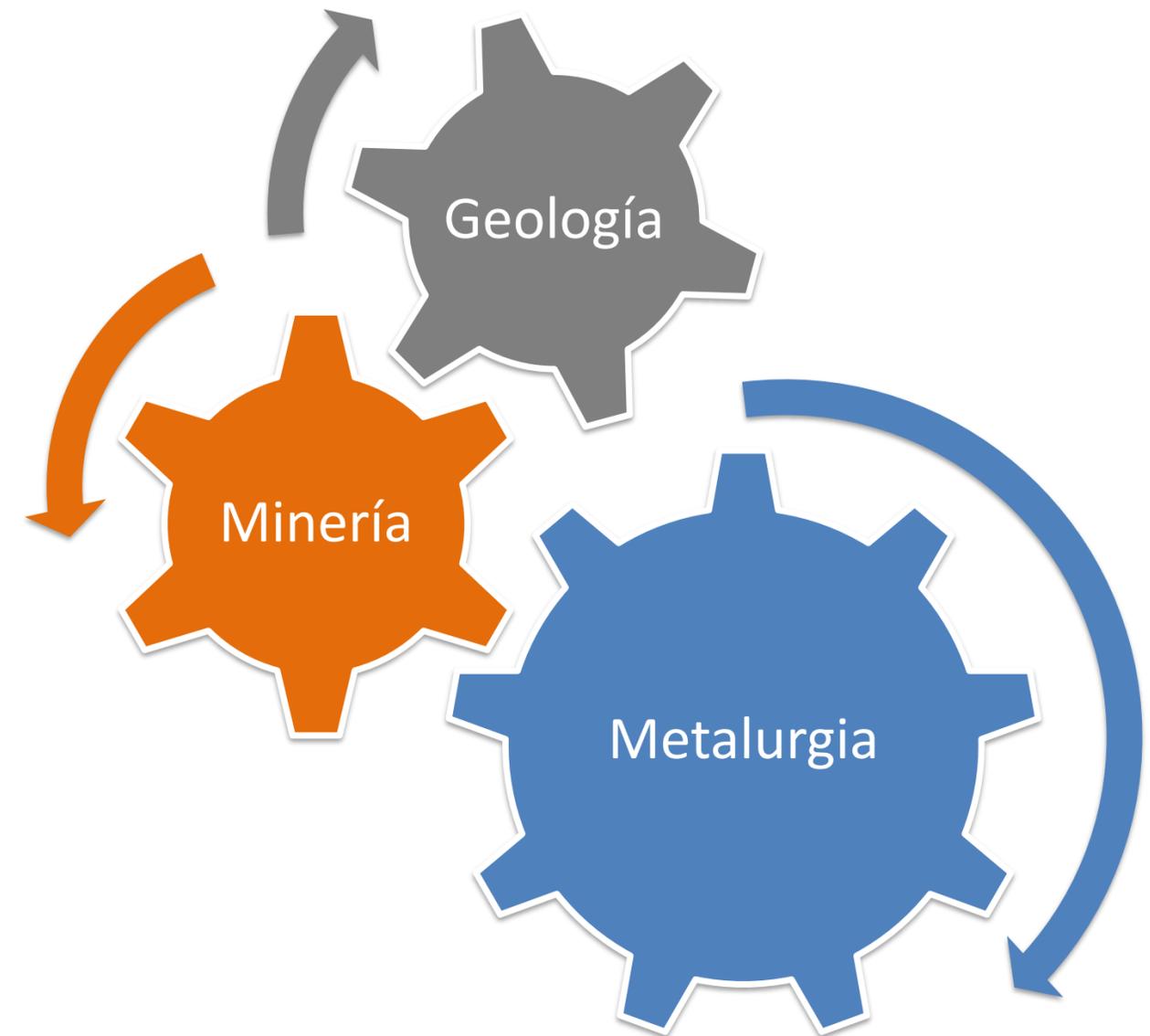
Geometalurgia V.Beta



Interdisciplina

Especialistas revisan la **variabilidad** de los datos **cuantitativos**.

Planifican **el muestreo** y los **test geometalúrgicos** necesarios para realizar ajustes en los procesos y predecir el comportamiento metalúrgico (**modelos**).



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores



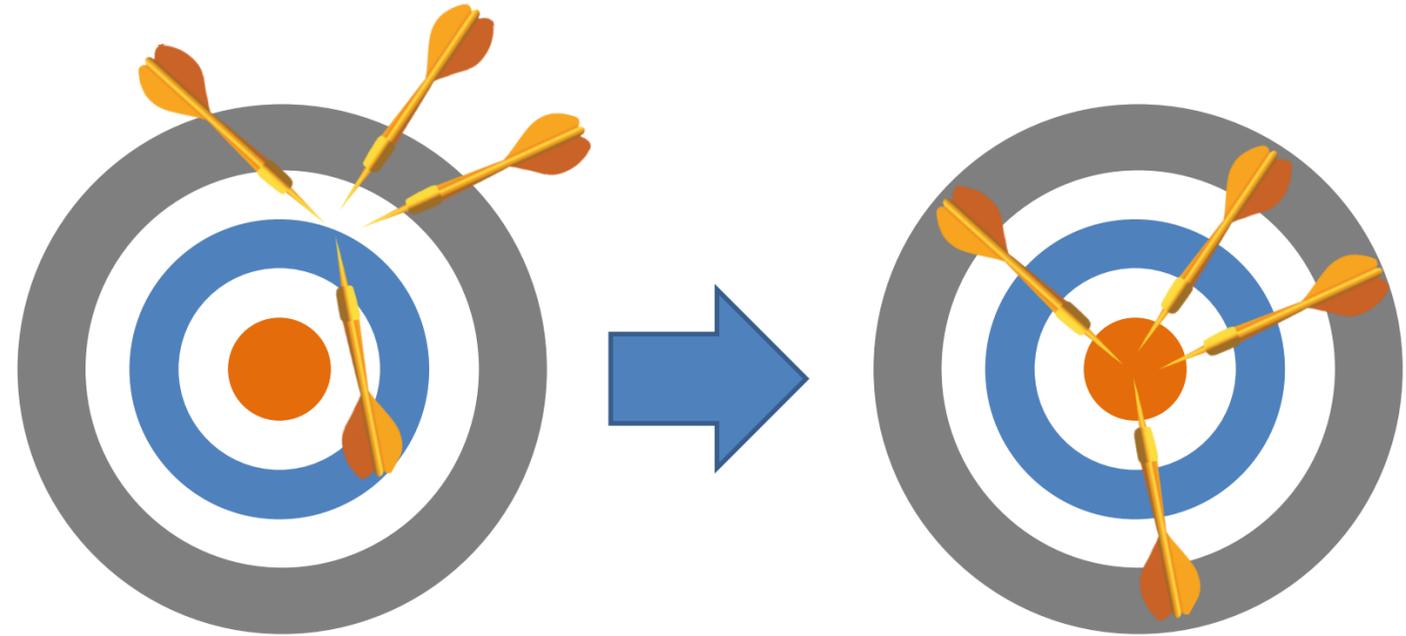


Geometalurgia V.Beta



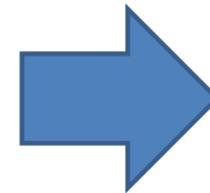
Cualitativo a cuantitativo

- VNIR-SWIR calibrado con DRX RT y <math><2\mu\text{m}</math>
- FRX (portátil) calibrado con EAA o ICP
- Proxys ayudan al desarrollo del muestreo



Muestreo de UGM

- No compositar UGM
- Composición estándar de testigos
- Representatividad, f(variabilidad, masa)



Molienda Consumo de ácido
Sedimentación Iso-pH
Columnas Reología Cianuración
Cal Permeabilidad
Cinética **flotación** **Roughner**



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores



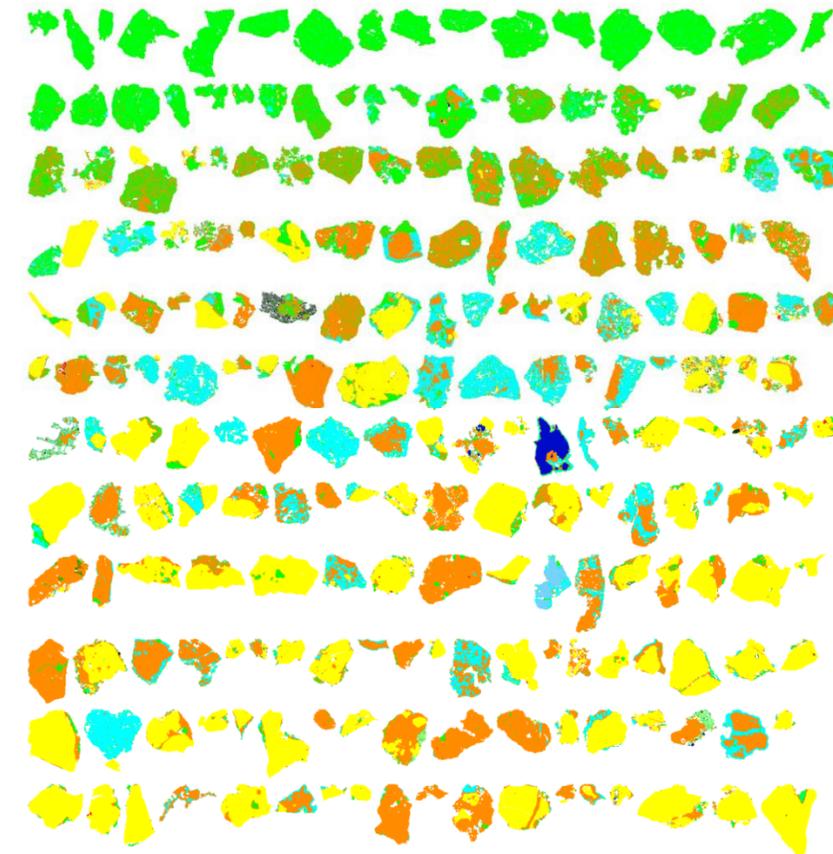
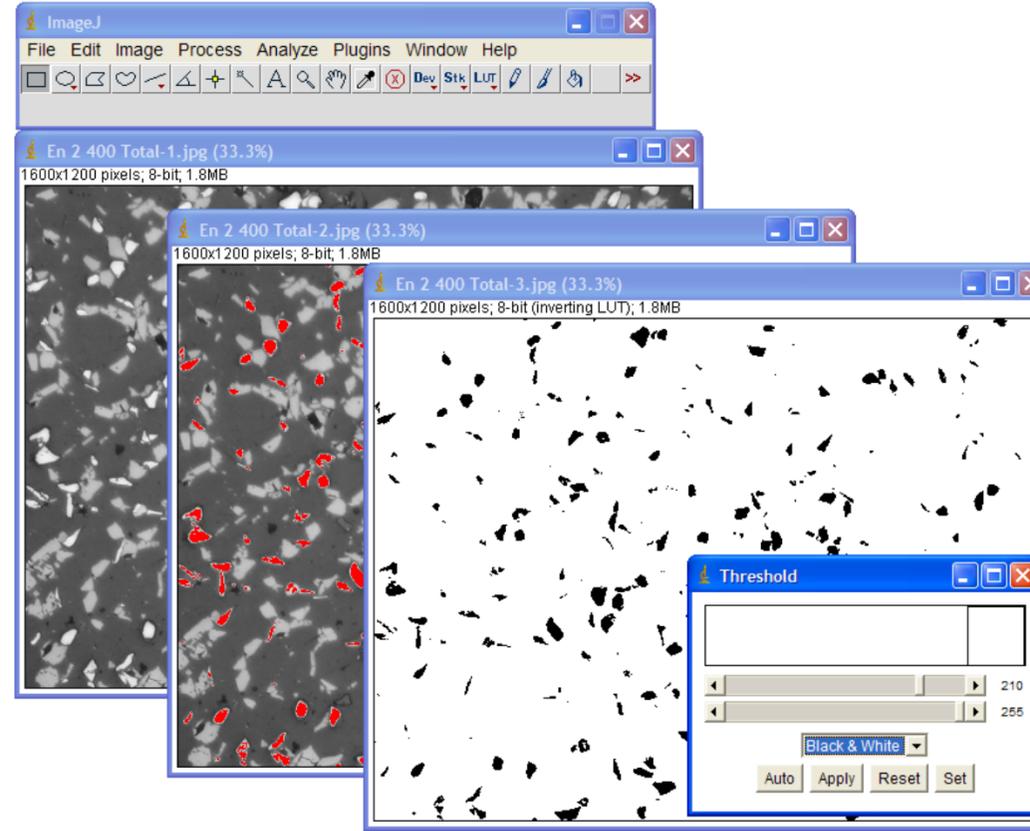
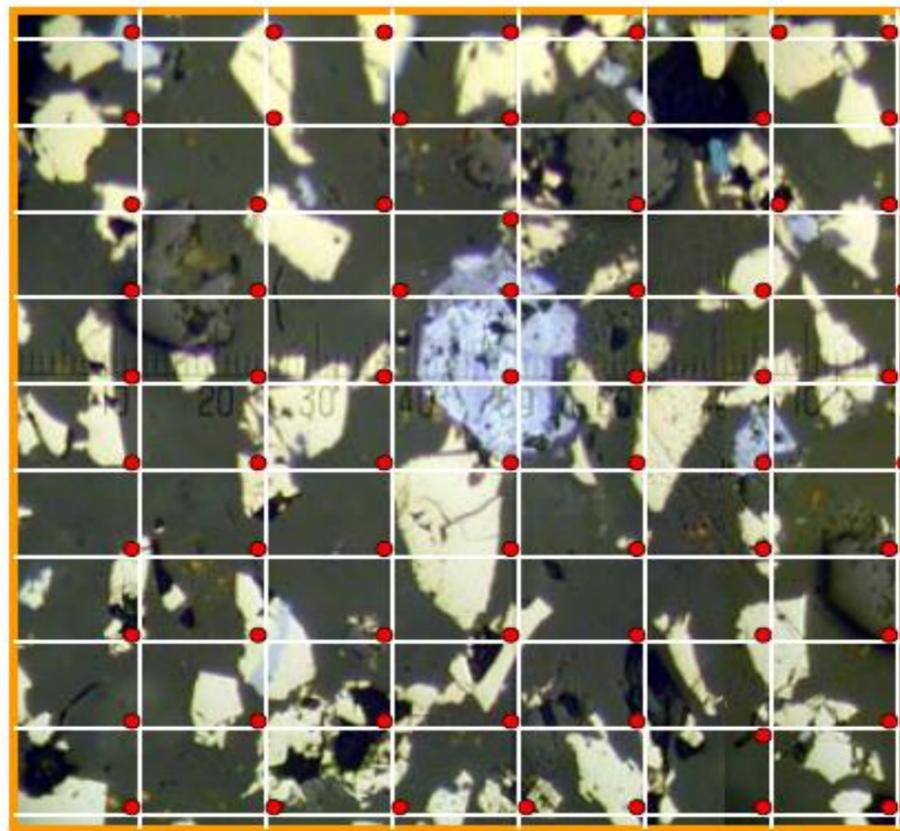


Geometalurgia V.Beta



Análisis mineralógico cuantitativo

- 50% \$\$\$

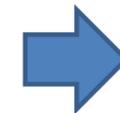


- Chalcopyrite
- Chalcocite/Digenite
- Covellite
- Exotic complex Cu-sulphides
- Fe-sulphides
- Sphalerite
- Galena
- Molybdenite
- Quartz
- Plagioclase Feldspar
- Micas
- Rutile/Anatase
- Zircon
- Apatite
- Ca-sulphate
- Limonite
- Al-phosphate (unknown)
- Alunite
- Other

Conteo de puntos



Análisis de imagen



MLA-Qemscan ⇒ TIMA



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores

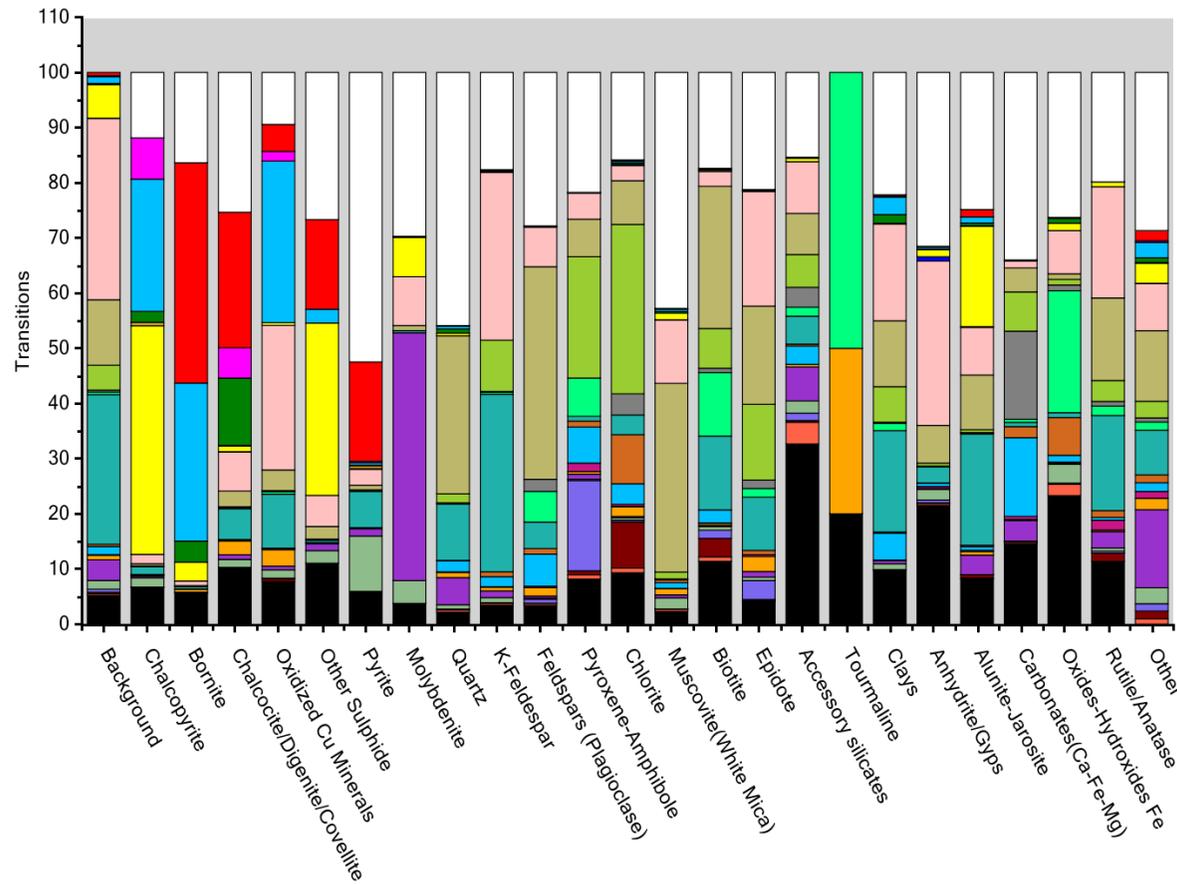




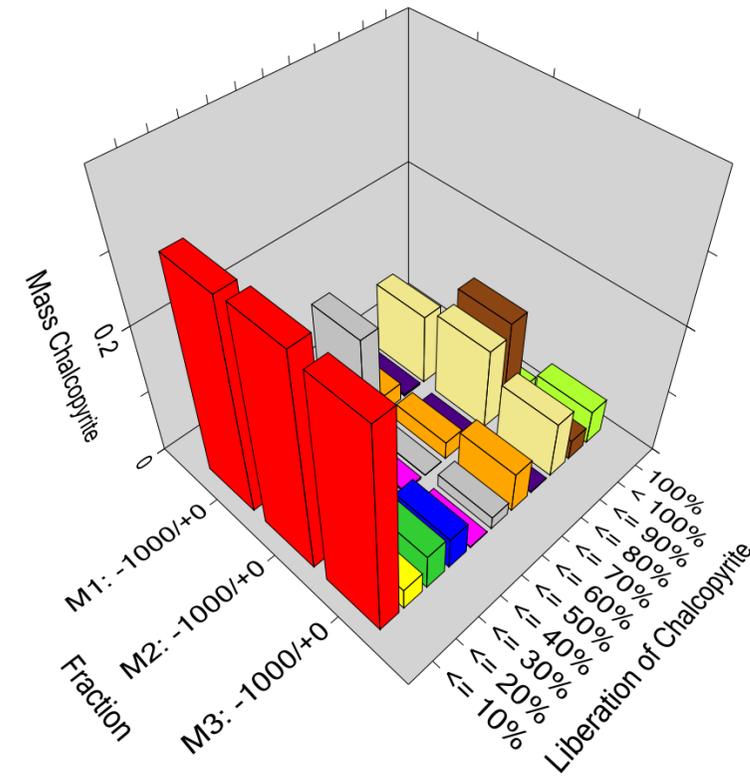
Geometalurgia V.Beta



Análisis mineralógico cuantitativo



Asociación mineral

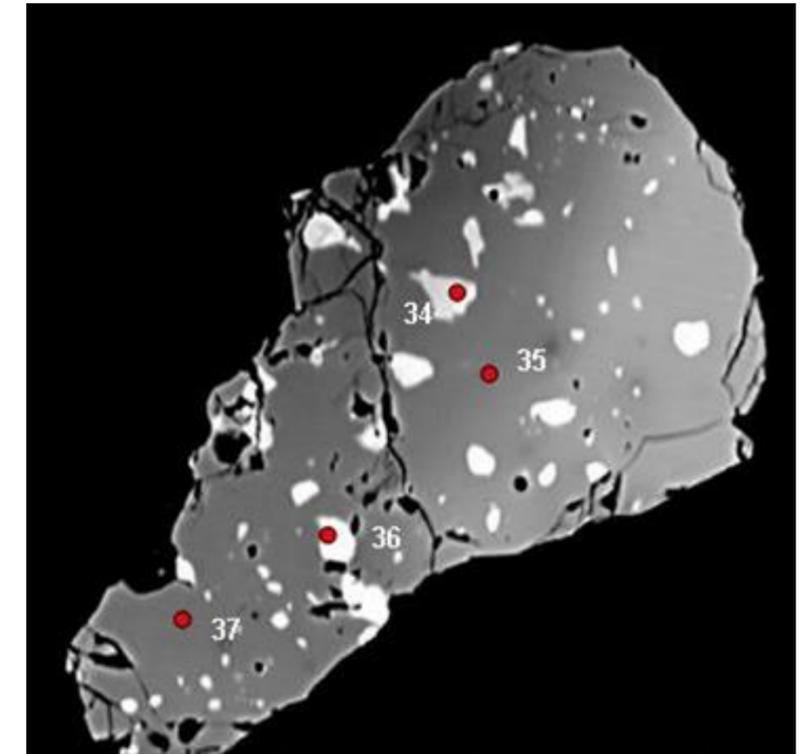


Liberación

SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores

Tennantita en calcopirita



Textura

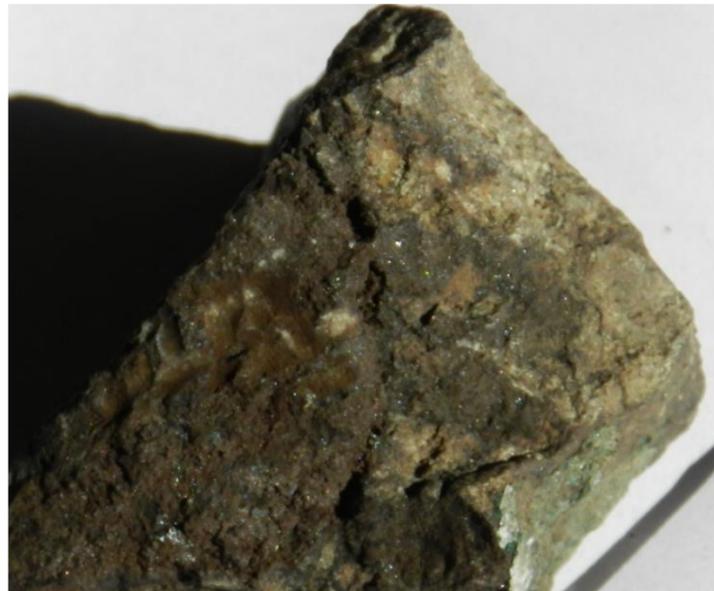




Geometalurgia V.Beta



Análisis mineralógico cuantitativo complejo (SCN)



Copper wad



Copper pitch

Definiciones de copper wad

MnOx con Cu

CuMnO_2Fe

$\text{CuOMnO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

$(\text{Mn}, \text{Cu})\text{O}_2$

Óxidos e hidróxidos de Mn con Cu

$2\text{CuO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

$\text{CuO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Definiciones de copper pitch

FeOx con Cu

$\text{CuMn}_8\text{FeSiO}_2$

$\text{CuOFe}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Silicato hidratado con Cu, Mn y Fe

$\text{MnO}(\text{OH})\text{CuSiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores

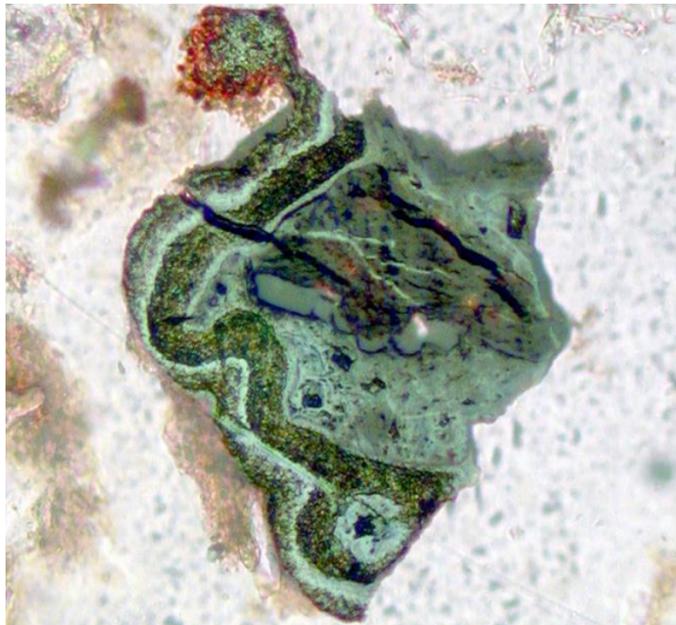




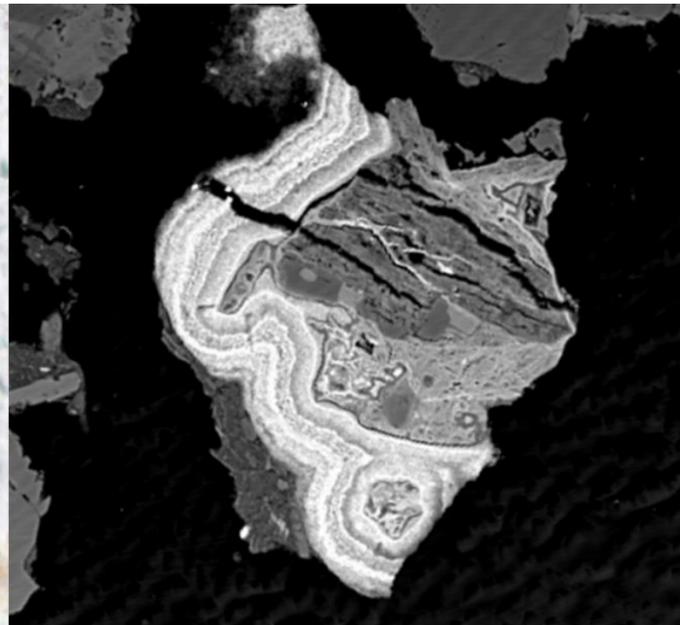
Geometalurgia V.Beta



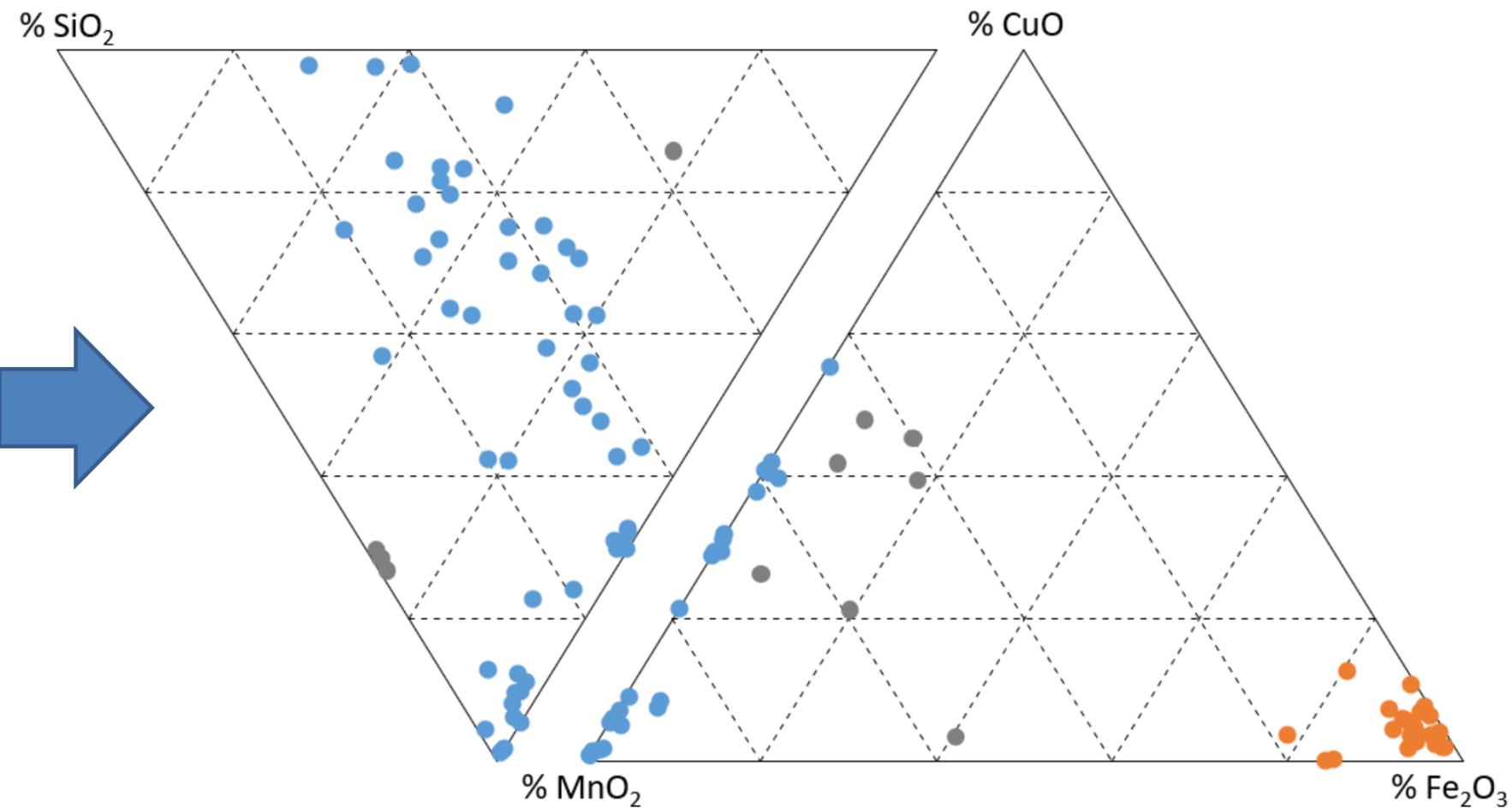
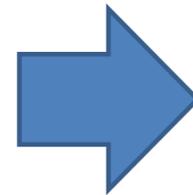
Análisis mineralógico cuantitativo complejo (SCN)



Microscopía



EPMA



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores

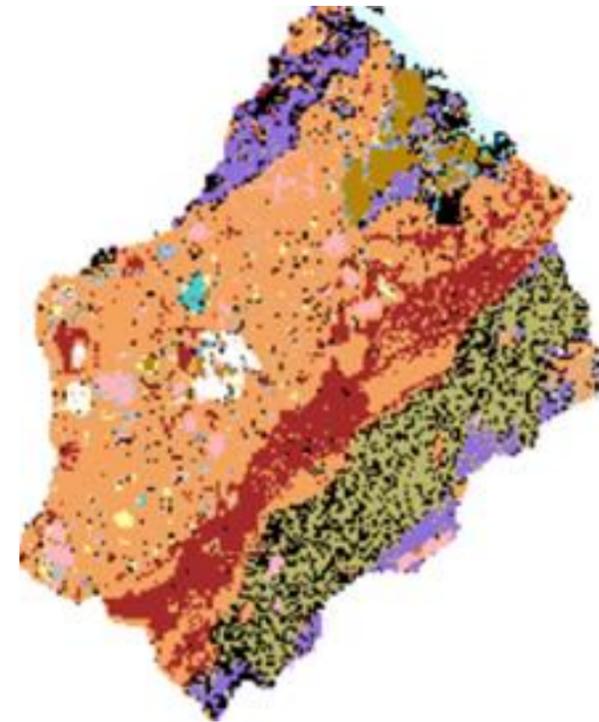
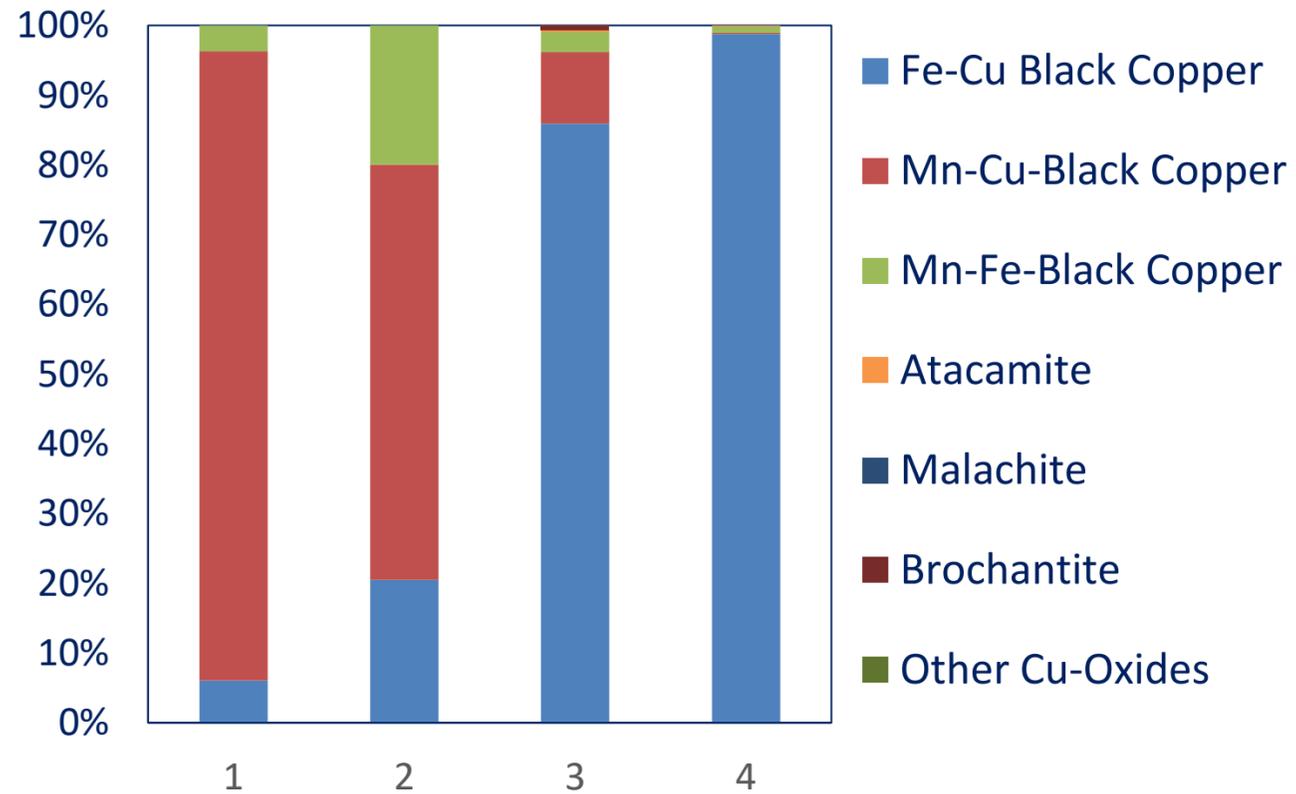




Geometalurgia V.Beta



Análisis mineralógico cuantitativo complejo (SCN)



- QLT
- Extracción secuencial
- Reducción/oxidación
- Cu
- Mn
- Fe



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores

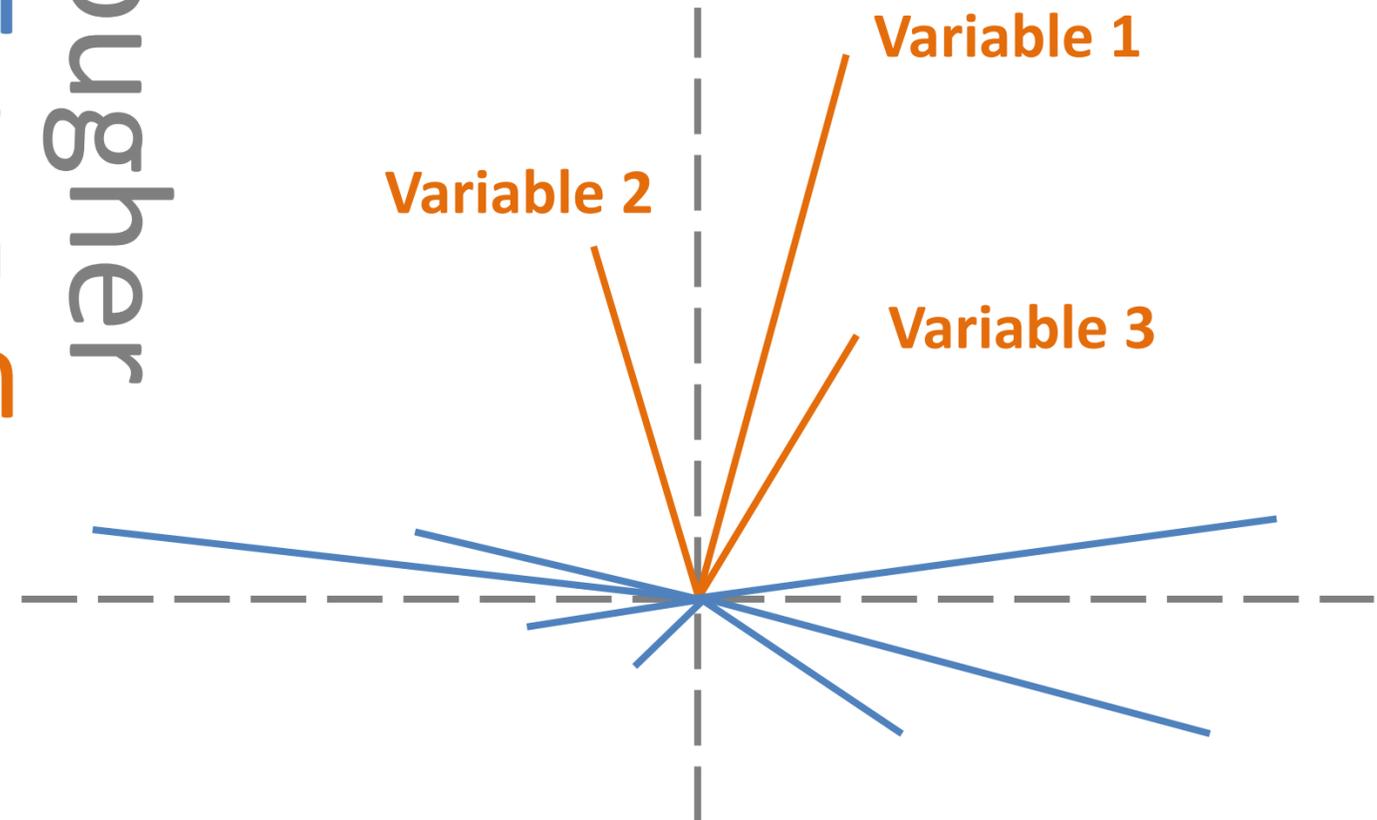
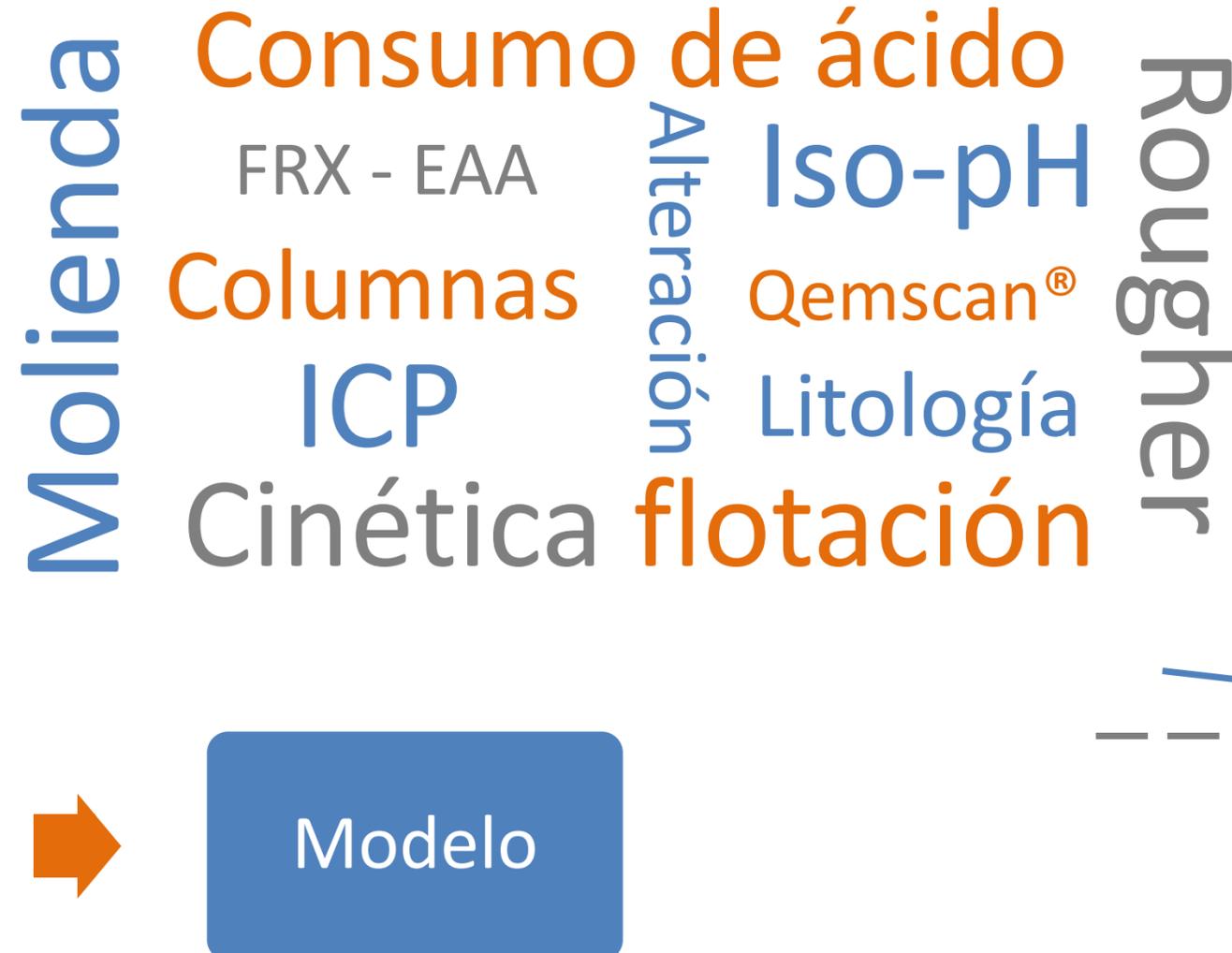




Geometalurgia V.Beta



Análisis estadísticos de los datos



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores



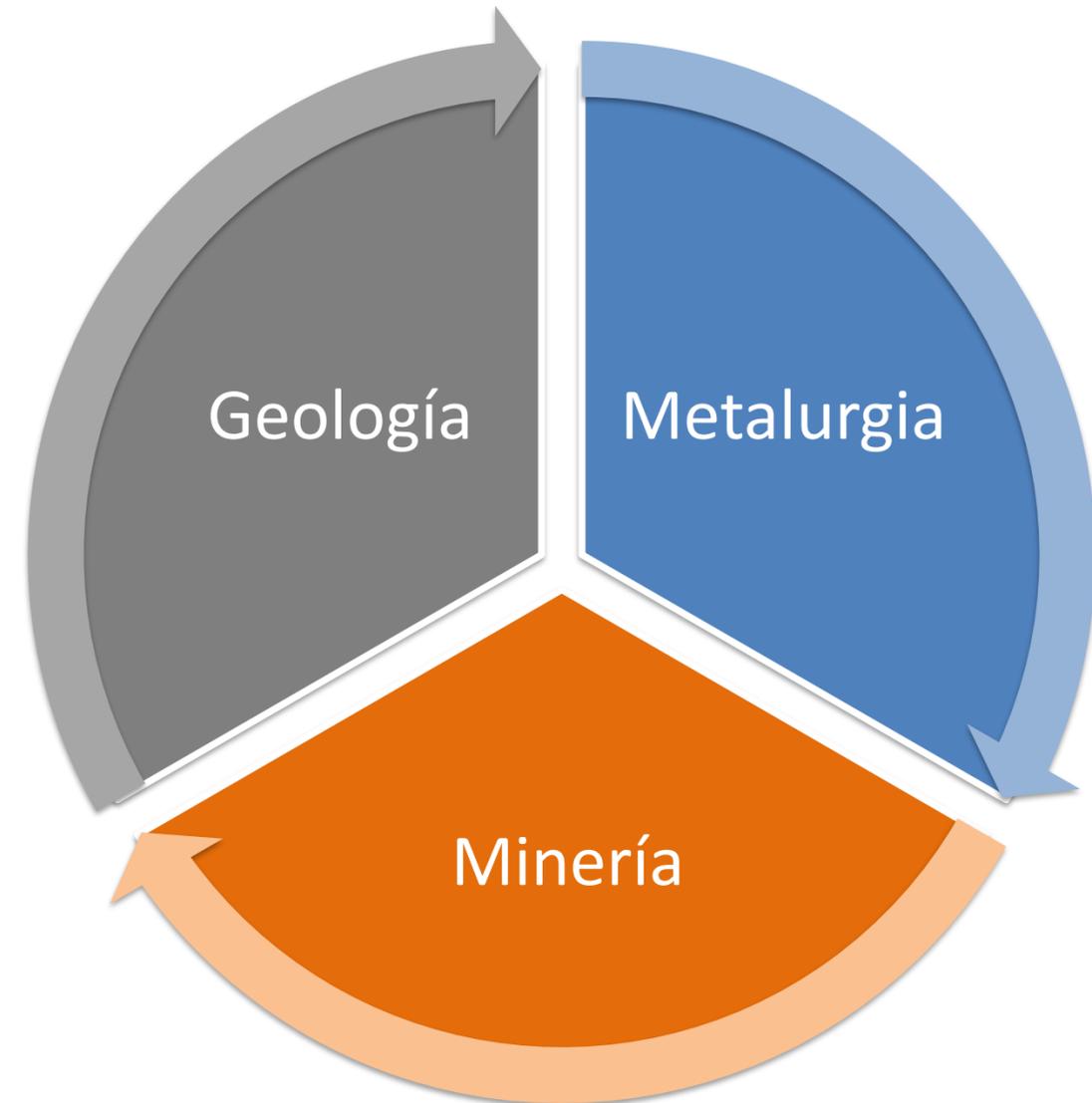


Geometalurgia V.1.0



Transdisciplina

Establecen la necesidad de obtener **información temprana** para realizar **programas geometalúrgicos** que permitan el **modelamiento** de la respuesta metalúrgica con fines de **planificación minera y/o evaluación de proyectos.**



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores



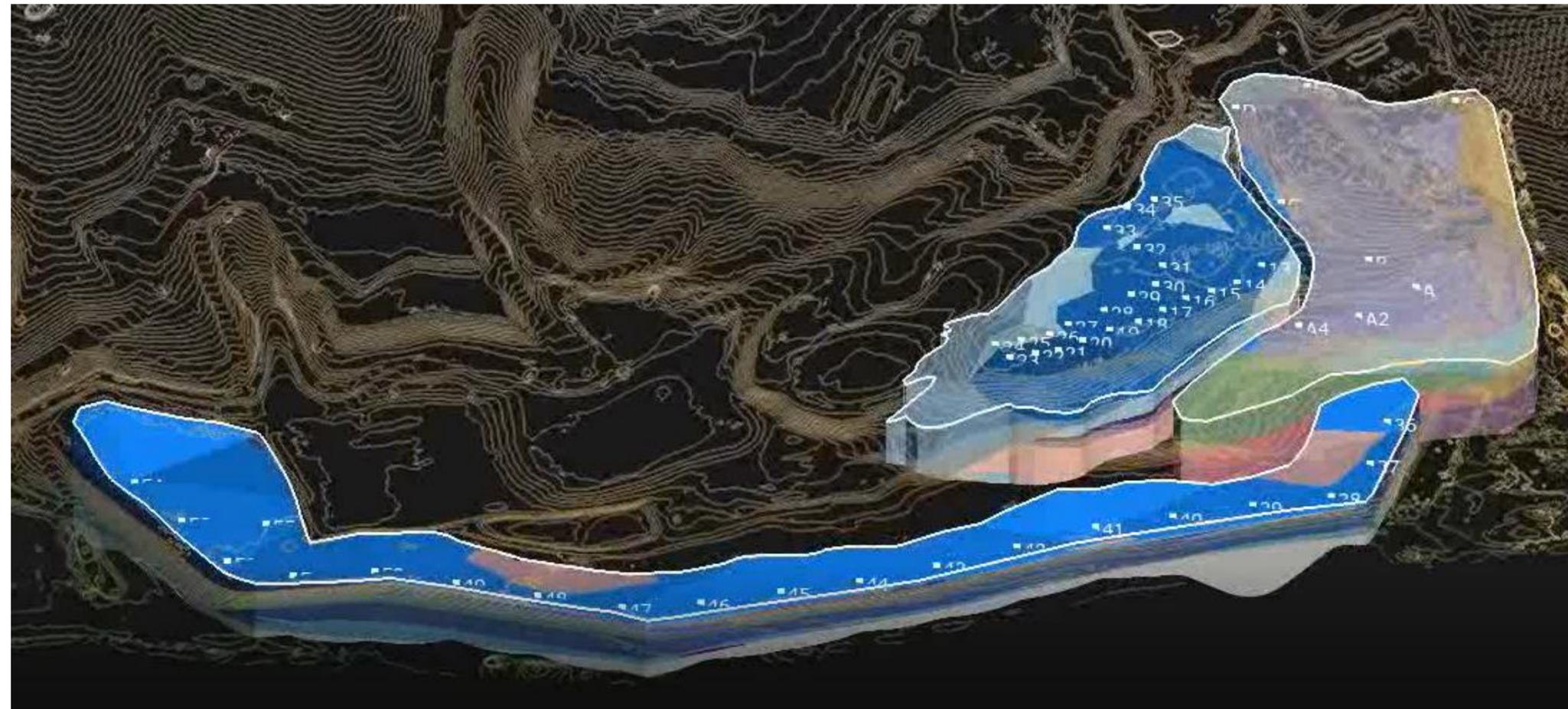


Geometalurgia V.1.0



¿Cómo aplicamos Geometalurgia a un tranque centenario con valor económico?

- Perforación
- Unidades
- Muestreo
- Elementos
- Procesos
- Ambiente
- Negocio
- Modelo



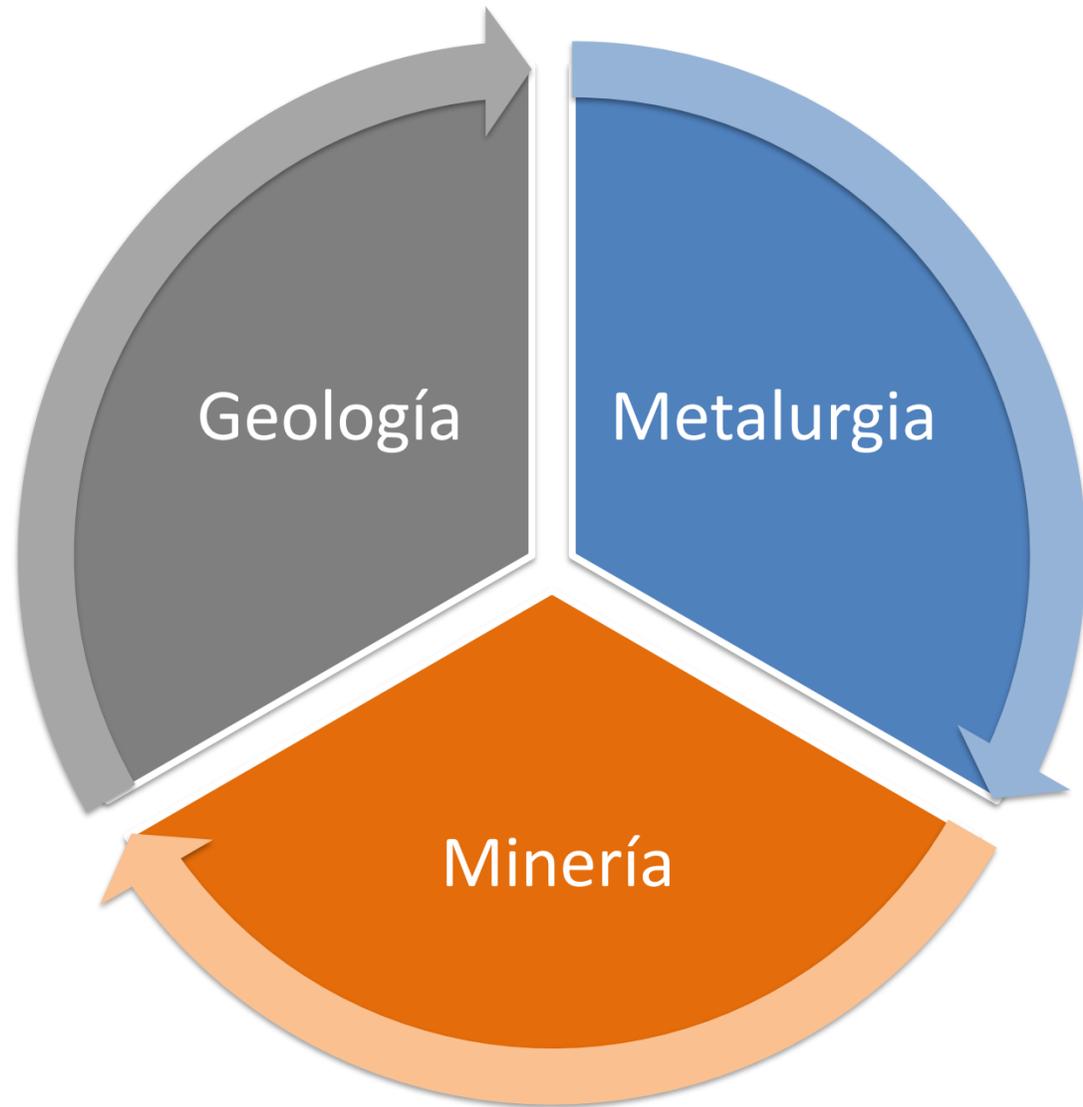
SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores





Geometalurgia en postgrado



Magíster en Mineralogía Aplicada a la Geometalurgia
 Universidad de Concepción - 2007



Diploma en Geo-Minero-Metalurgia
 Universidad de Chile - 2008



Diplomatura en Geometalurgia
 Pontificia Universidad Católica del Perú - 2008



Magíster en Geometalurgia
 Universidad Católica del Norte - 2009



Maestría en Geometalurgia
 Universidad Nacional Mayor de San Marcos - 2011



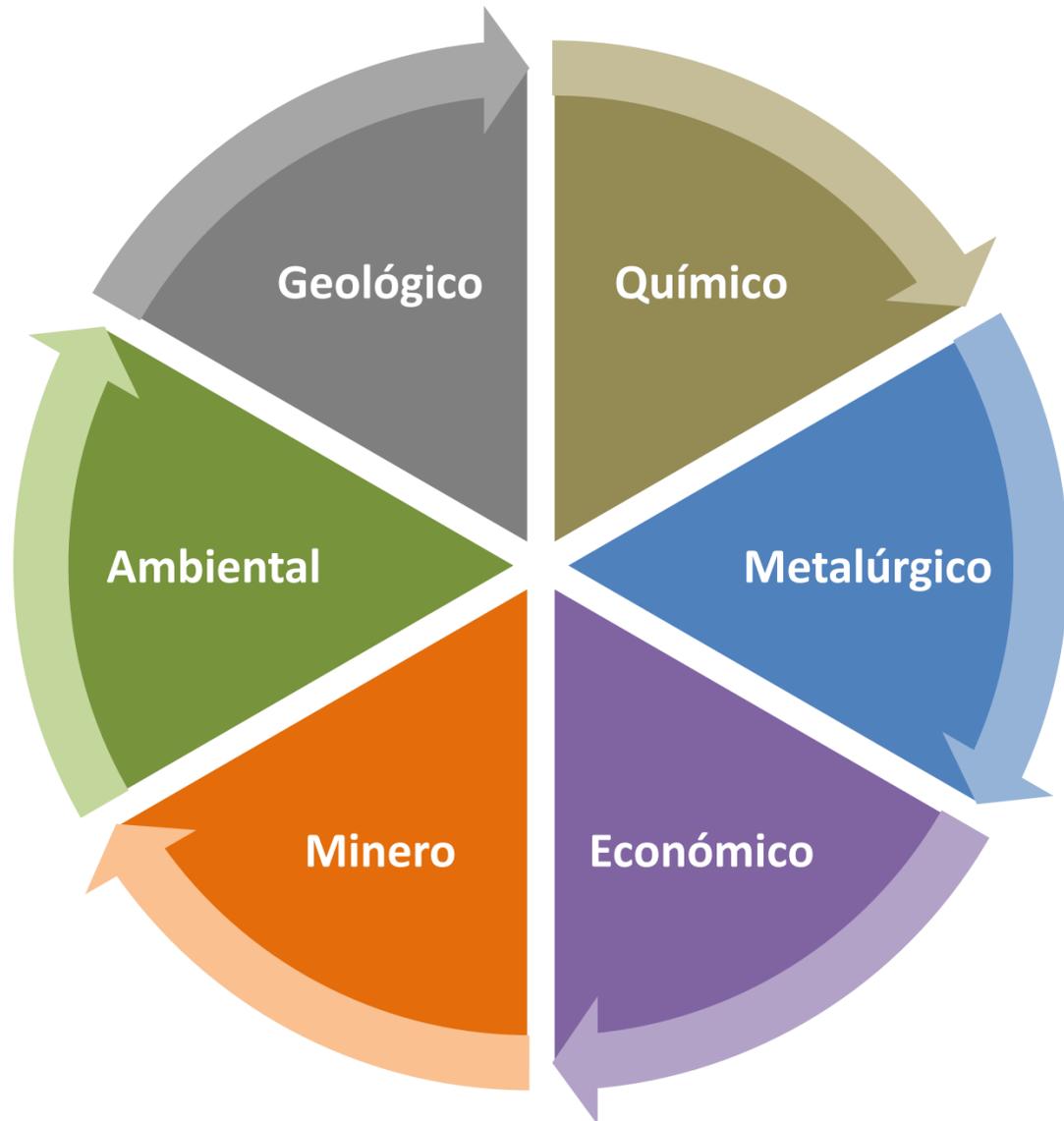
SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
 26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores





Geometalurgia en pregrado



Fundamentos de Geometalurgia

Ingeniería Civil en Minería

Universidad del Desarrollo - 2012



Geometalurgia

Ingeniería Civil en Minas

Universidad de Concepción - 2013



Geometalurgia y métodos de explotación

Geología

Universidad Mayor - 2013



Mineralurgia - Geometalurgia

Ingeniería Civil en Minas

Universidad Central - 2014



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA

26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores





La Geometalurgia en Chile



SEMINARIO VIRTUAL GEOMETALURGIA
26 junio 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores

