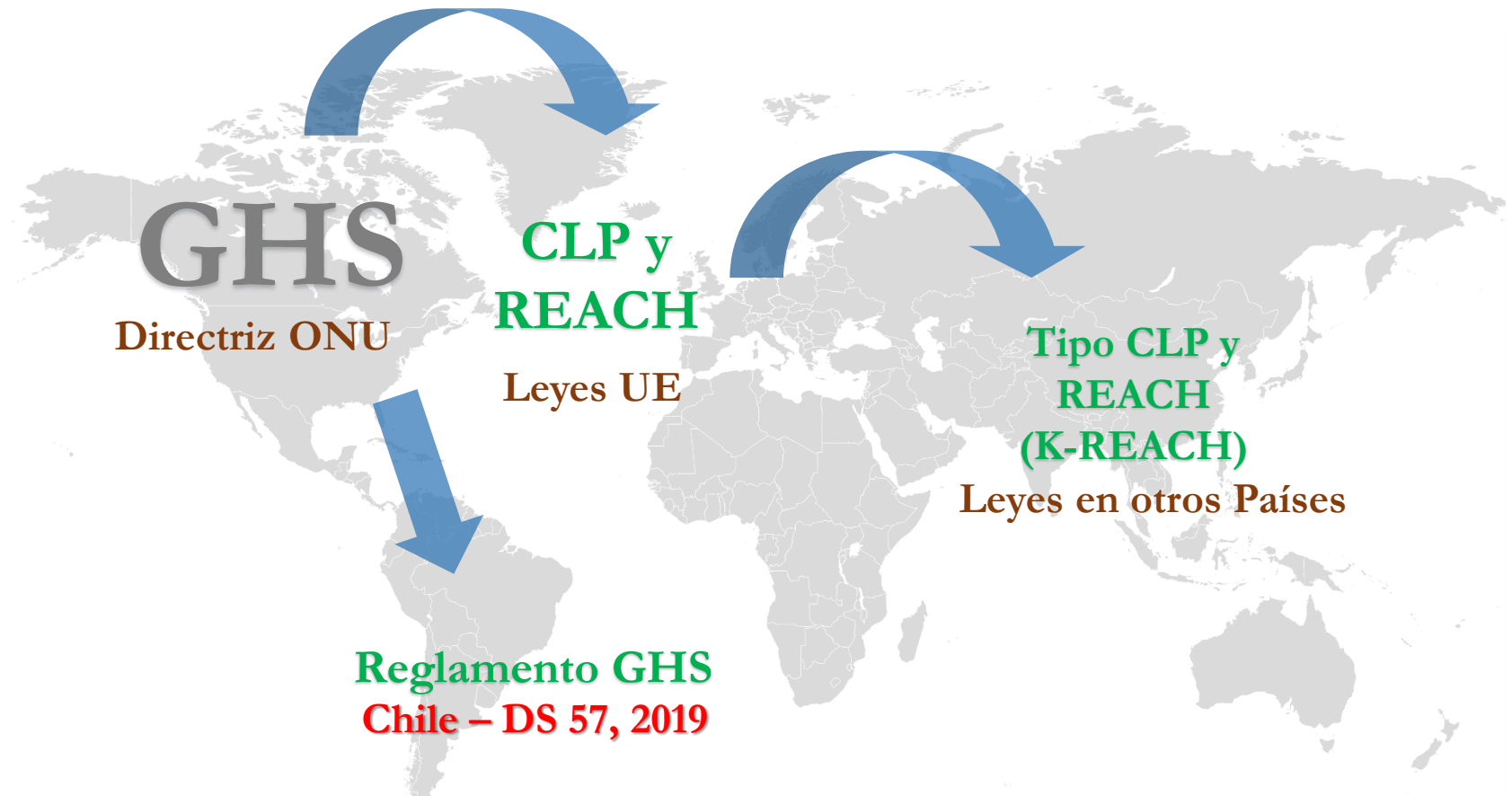


# **Clasificación de peligrosidad de concentrados de cobre: método, consideraciones y posibles efectos normativos**

**Patricio H. Rodríguez, Dr. En Ciencias**

# Trama Normativa Relevante a concentrados de cobre



Reglamento GHS  
Chile – DS 57, 2019

**MARPOL y SOLAS (Código IMSBC)**

Cumplimiento obligatorio para países  
firmantes (en leyes Locales)

# Definiciones

**Peligrosidad de sustancias Químicas:** Es una propiedad inherente o intrínseca que las puede hacer corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas o inflamables

**Riesgo:** A pesar de que una sustancia química posea propiedades que la hacen peligrosa, no necesariamente puede ocasionar efectos adversos en la salud humana, o el medioambiente, si no se dan las condiciones de exposición necesarias para que pueda ejercer dichos efectos; esta exposición depende de:

- *La cantidad de la sustancia que entra en contacto con los posibles receptores o de la dosis que alcanza dentro de ellos,*
- *Del tiempo que dure este contacto y de la frecuencia con la que se repita.*



# Principios de Clasificación de sustancias Inorgánicas

La peligrosidad (toxicidad), sea esta sobre la salud humana o sobre el medioambiente esta directamente relacionada con la cantidad de iones metálicos que la sustancia es capaz de liberar

- Medio Ambiente: **Biodisponibilidad**
- Salud Humana: **Boaccesibilidad**

## Ejemplo

- **Sulfato de Cobre ( $\text{CuSO}_4$ )** libera 100% del Cobre como Iones Libres, por lo tanto 100% biodisponible
- **Calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ )** libera solo el 0.9% del Cobre como iones libres, por lo tanto 0.9% biodisponible (en condiciones estándares de Ensayo)

Por lo que se concluye, se necesita una masa de Cobre aprox. 100 veces mas grande de Cobre en Calcopirita que de Cobre en el Sulfato para tener la misma cantidad de Cu soluble (que podría o no ser toxico)

**¿Cómo se determina si una sustancia es peligrosa o no?**

# **Sistema Global Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Sustancias Químicas (GHS)**

## **Breve descripción**



# El GHS

## Principio General

“La armonización consiste en establecer bases comunes y coherentes para la clasificación y comunicación de la peligrosidad química de las sustancias, que permita seleccionar elementos relevantes al transporte, consumidores, trabajadores y protección ambiental”

- Inicialmente armonizar normativas existentes
- Utilizar las mejores prácticas científicas
- Información existente debería ser aceptada
- No reducir el nivel actual de control de los países

# El GHS

## Dos principios importantes

- El GHS es un sistema modular, donde sus elementos pueden ser tomados y aplicados dependiendo de lo que se desea proteger

### Normativas específicas nacionales

- El GHS traslada la responsabilidad de la clasificación de los estados a la industria







### Promueve la Auto Clasificación

# Efectos cubiertos por el sistema de clasificación y etiquetado de peligrosidad de sustancias químicas de la UN.

- En el GHS existen 3 tipos de Peligrosidades cubiertas: Físicoquímicas, Salud Humana y Ambientales
  - las clases cubiertas son:
    - Ambiente acuático
    - Peligros Físico Químicos
    - Toxicidad Aguda Humana
    - Corrosión – Piel y Ojos
    - Irritación – Piel y Ojos
    - Sensibilización (reputa alérgica)
    - CMRs (Cáncer, Mutagenicidad, Reproducción)
    - Toxicidad Organo Especifica

# El GHS

## Ejemplos etiquetado GHS

Categoría	EU	Canada	U.S.	GHS
Inflamable			No hay	
Toxico/peligroso para la salud humana			No hay	
Toxicidad Ambiental		No hay	No hay	
Peligrosidad crónica para la salud (e.g. irritante tracto respiratorio, Carcinógeno)	Varios  	No hay	No hay	

# Nomenclatura GHS

- En cada Clase cubierta, hay variadas Categorías: Cat. 1, Cat. 2B., Cat. 3...etc.
- Mientras MENOR el N° de la Categoría, MAYOR es el peligro.

Por ejemplo: **Tóxico Cat. 1** es mucho más peligroso que **Tóxico Cat. 4**.

**El Decreto 57 de 2019 del Ministerio de Salud en lo relacionado a clasificación de peligrosidad es similar a implementación Europea del GHS, la regulación CLP**

# CLP = Clasificación, etiquetado y empaquetado de sustancias y mezclas (Regulación CE 1272/2008)

CLP = implementación del GHS en la UE

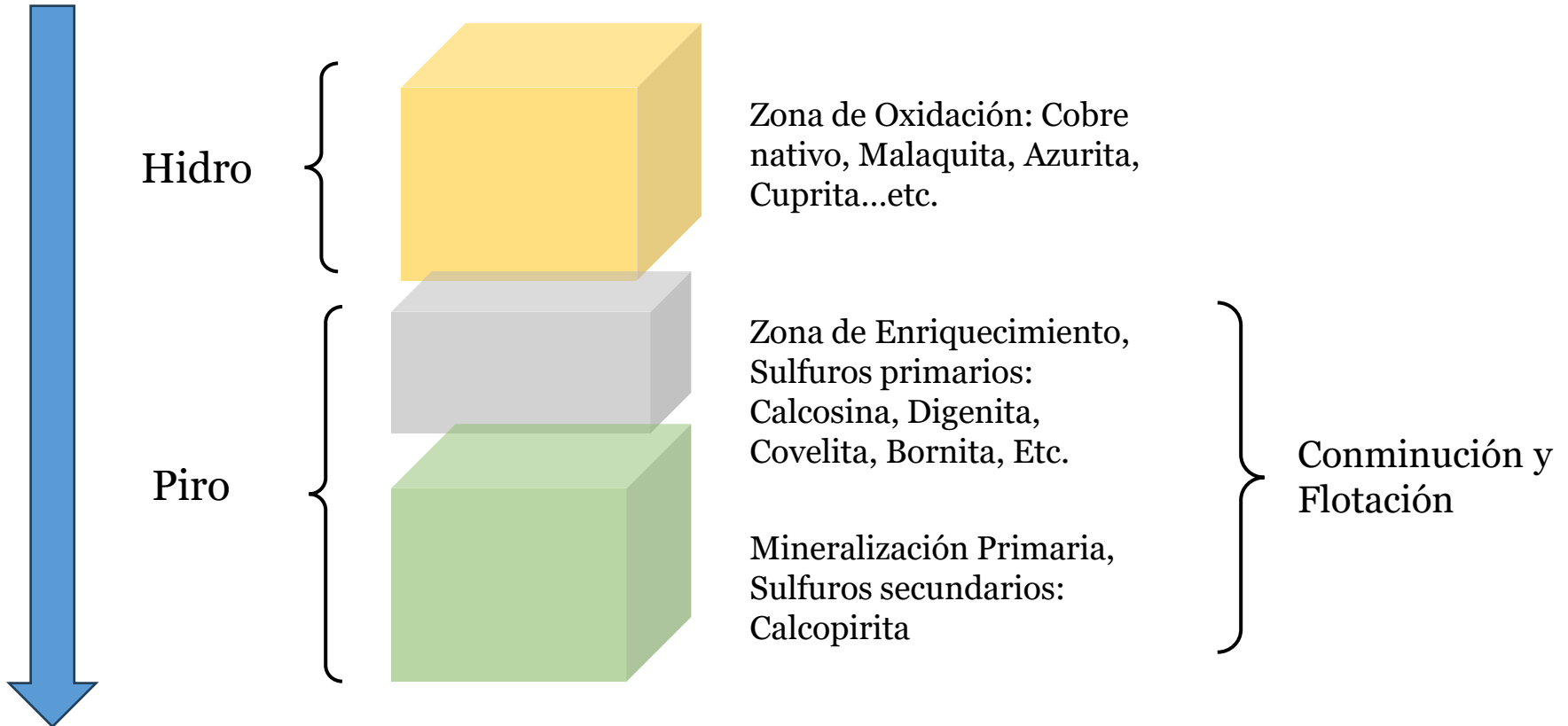
- Principales diferencias entre CLP, DS 57 Chile y GHS
  - El CLP y DS 57 usan en algunos casos valores límites específicos para salud humana diferentes a los genéricos del GHS (Listado oficial de sustancias, Anexo VI CLP)
  - El CLP y DS 57 tiene solo 1 categoría para toxicidad acuática aguda vs GHS que posee 3 Categorías

# Concentrados de Cobre

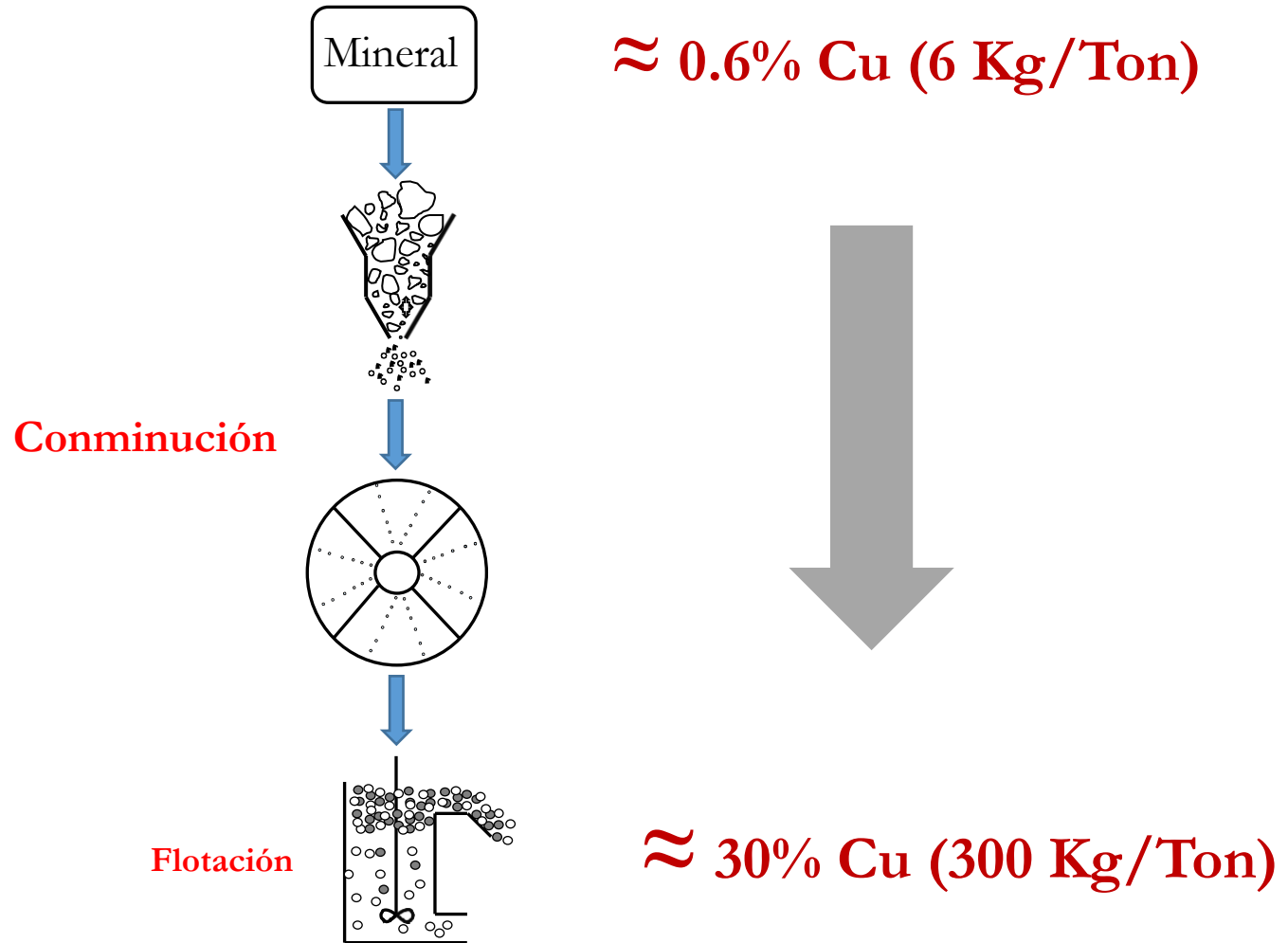


# Estratificación mineralógica de un típico yacimiento porfídico de cobre

Explotación



# Producción de Concentrados de Cobre



# Clasificación de Peligrosidad Concentrados de Cobre

**Peligros  
Físico-Químicos**

**La mayoría de los concentrados de  
cobre no poseen peligros Físico-  
químicos**

# Notables y raras excepciones

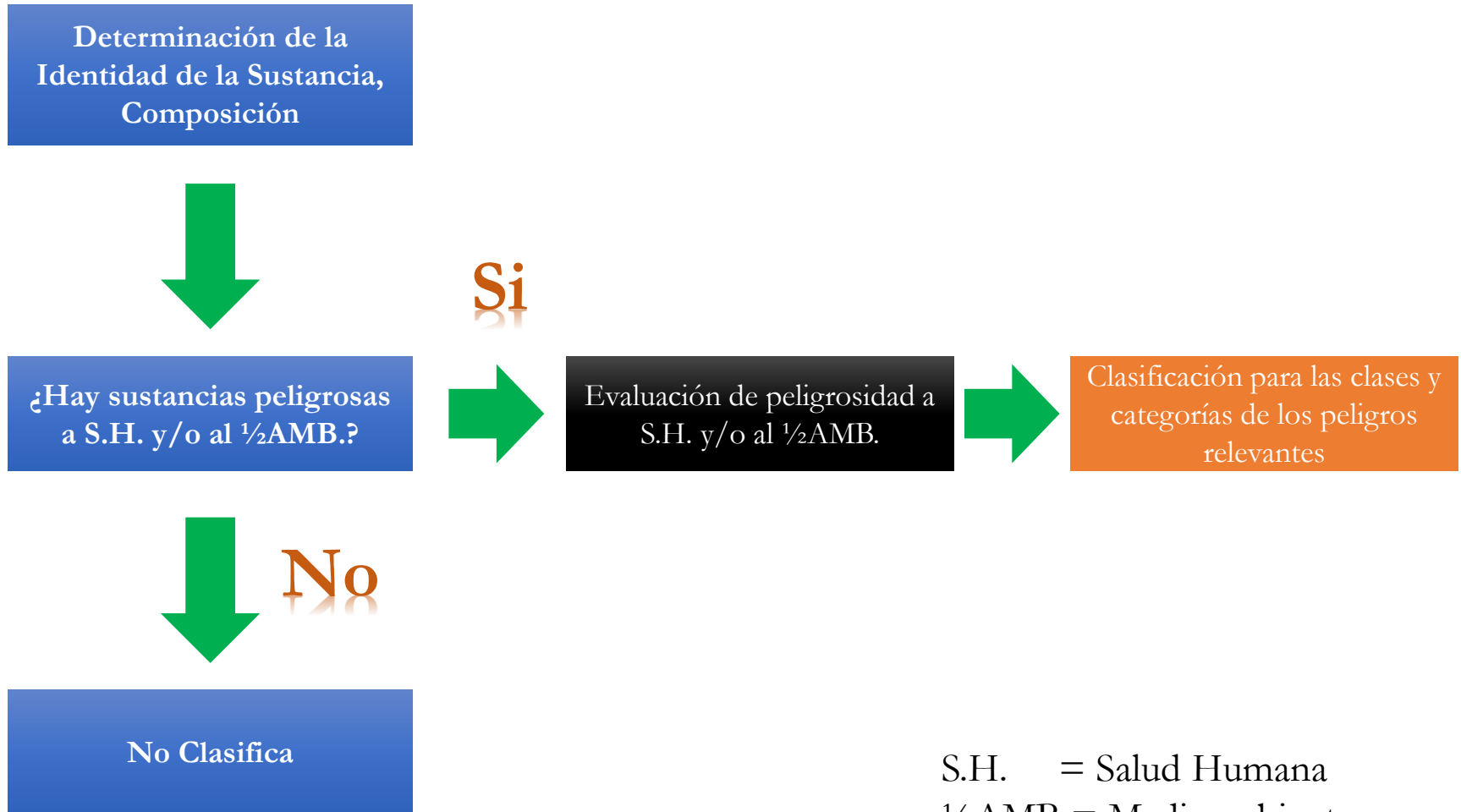
Algunos concentrados con características mineralógicas muy particulares clasifican como:

- Sustancias susceptibles de combustión espontánea (sólidos que se calientan espontáneamente), Código IMSBC (Concentrados de sulfuros metálicos que experimentan calentamiento espontáneo, un 3190), Código IMDG Clase 4.2, DS 57 Art. 55, Categoría 2
- Sustancias corrosivas, Código IMSBC (Concentrados de sulfuros metálicos, corrosivos, un 1759), Código IMDG Clase 8, DS57 Art. 74, Categoría 1.

# Clasificación de Peligrosidad Concentrados de Cobre

**Peligros  
Medioambiente**

# Esquema General de Clasificación de Peligrosidad



S.H. = Salud Humana  
1/2AMB = Medioambiente

# ¿Cómo clasificar los Concentrados?

## Uso del principio de extrapolación

Toxicidad Conocida

Metales en  
forma soluble



Toxicidad de Concentrados

????????

Mezcla de  
Minerales



# Concentrados: Peligros Ambientales Relevantes

- **Toxicidad Acuática:**
  - **Aguda:** tóxico a corto plazo (3 cats. En GHS).
  - **Crónica:** a largo plazo (4 cats. GHS).
- **Metales:** Cu, As, Pb, Sb, Cd, Co, Ag, Ni y Zn.
- **E.g. Aguda 1, Crónica 1 o 2:** los más críticos (gatillan restricciones MARPOL HME, transporte marítimo, Clase 9 UN 3077, transporte terrestre).
- **Escenario:** vertidos accidentales en transporte marítimo y terrestre

# Procedimiento

- 1.- Entender la identidad y variabilidad de los componentes de los concentrados
- 2.- Evaluar la peligrosidad Ambiental y a salud humana
  - **Fase 1:** comparar composición elemental / mineralógica contra clasificación conocida de compuestos solubles
  - **Fase 2:** Introducir traductores de solubilidad y evaluar:
    - Establecer traductores semi cuantitativos (sulfuros)
    - La peligrosidad “relativa” de los iones metálicos en los concentrados vs. Iones metálicos en sustancias solubles
      - ✓ Cuantificar la biodisponibilidad ambiental utilizando ensayos de disolución/transformación
      - ✓ Cuantificar la bio accesibilidad humana por medio de ensayos de bio elusión en fluido gástrico
  - **Fase 3:** Desarrollar una herramienta para traducir resultados de disolución/transformación y bio elusión a clasificación (MECLAS)

## Fase 1. Identidad de los concentrados – Elemental, %

N=119	Cu	Sb	As	Zn	Pb	Ni	Ag	Cd	Co
Min	14.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
p50%	26.7	0.010	0.110	0.620	0.140	0.002	0.006	0.004	0.005
p60%	27.6	0.015	0.139	1.307	0.266	0.004	0.008	0.006	0.009
p70%	28.5	0.022	0.180	2.872	0.562	0.008	0.011	0.010	0.013
p80%	30.0	0.042	0.272	3.652	1.478	0.010	0.017	0.014	0.024
p90%	34.0	0.102	0.410	5.632	2.910	0.024	0.068	0.026	0.040
Max	51.1	7.250	7.500	9.280	12.710	1.030	1.907	0.072	0.250

# Fase 1. Identidad de los concentrados - Mineralogía

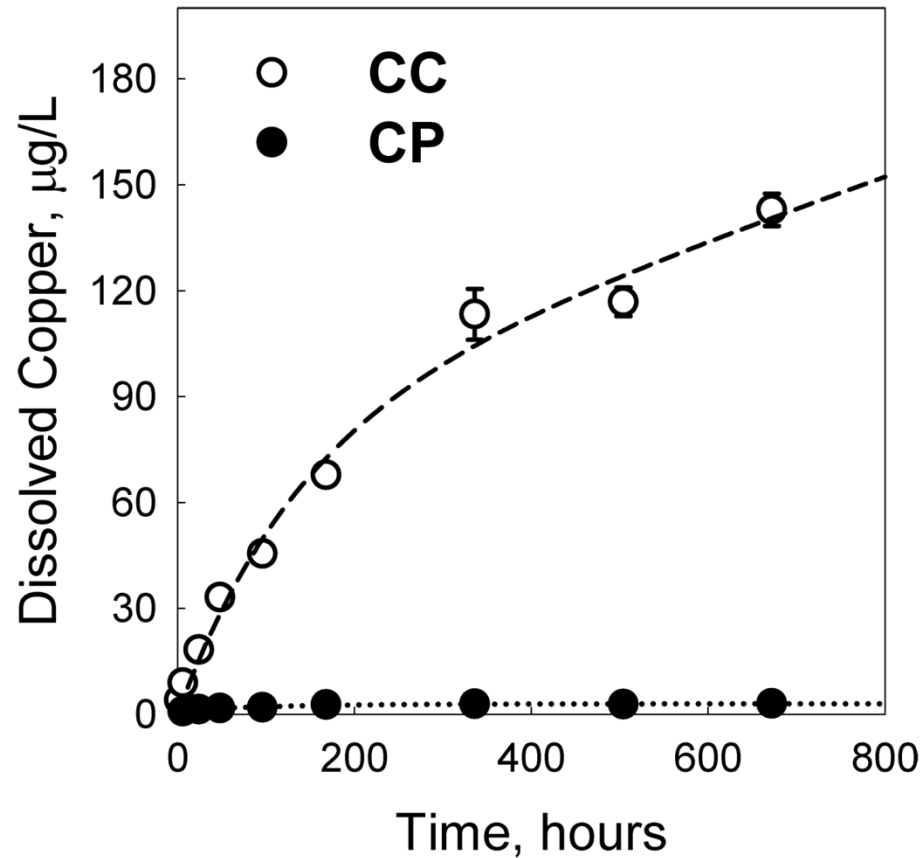
## Composición Mineralógica

- En los concentrados, el Cobre se distribuye principalmente como, calcopirita, calcosina, dignita y bornita, que varían en composición dependiendo de la mina en que el concentrado es producido.
- Plomo normalmente esta presente como galena

# Presencia de Minerales de Cobre en Concentrados de Cobre (N=122 ) Base de datos - European Copper Institute

Mineral	Min	p50%	p60%	p70%	p80%	p90%	Max
Tennantite	0.000	0.000	0.108	0.321	0.800	1.500	5.800
Tetrahedrite	0.000	0.000	0.000	0.001	0.700	1.070	5.500
Enargite	0.000	0.000	0.000	0.030	0.160	0.880	25.000
Arsenopyrite	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	2.500
Galena	0.000	0.085	0.300	0.640	1.500	3.810	15.000
<b>Chalcocite</b>	<b>0.000</b>	<b>1.000</b>	<b>2.557</b>	<b>3.754</b>	<b>7.200</b>	<b>11.995</b>	<b>44.322</b>
Sphalerite	0.000	0.725	1.102	4.200	5.980	8.000	18.838
<b>Bornite</b>	<b>0.000</b>	<b>3.025</b>	<b>4.700</b>	<b>6.845</b>	<b>12.054</b>	<b>19.917</b>	<b>42.100</b>
Digenite	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.825	4.700
<b>Chalcopyrite</b>	<b>2.120</b>	<b>64.000</b>	<b>67.540</b>	<b>73.600</b>	<b>77.700</b>	<b>81.360</b>	<b>85.000</b>
<b>Covellite</b>	<b>0.000</b>	<b>0.860</b>	<b>1.342</b>	<b>2.089</b>	<b>3.020</b>	<b>5.186</b>	<b>25.000</b>

# Solubilidad de Calcopirita (CP) y Calcosina (CC) en ensayos de DT



## Fase 2. Solubilidad de Cobre en Minerales Presentes en Concentrados

Mineral	Solubilidad, % (TDp)		
	Formula	7 días, agudo	28 días, Crónico
<b>Calcopirita</b>	<b>CuFe<sub>2</sub></b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>
Digenita	Cu <sub>9</sub> S <sub>5</sub>	0.8	2.7
<b>Covelita</b>	<b>CuS</b>	<b>0.9</b>	<b>2.2</b>
Enargita	Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub>	1.3	2.2
Tenantita	Cu <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	3.4	5.8
<b>Bornita</b>	<b>Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub></b>	<b>4.4</b>	<b>7.0</b>
<b>Calcosina</b>	<b>Cu<sub>2</sub>S</b>	<b>9.9</b>	<b>20.9</b>
Sulfato de Cobre	CuSO <sub>4</sub>	100.0	100.0

# Esquema Validación Modelo para Clasificación Ambiental

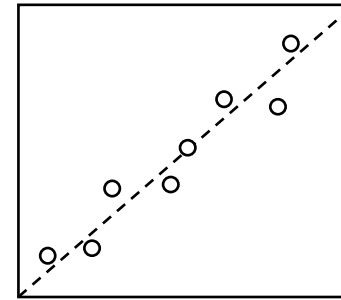
Concentrados Cobre Representativos se ensayan en TDp, pH 6, a una carga de 1 mg/L

**Comparación**

From elemental and mineralogical characterization and retained copper minerals bioavailability solubility Factors

Experimental Iones de Cu liberados a 7 y 28 días

Cu liberado en ensayos experimentales

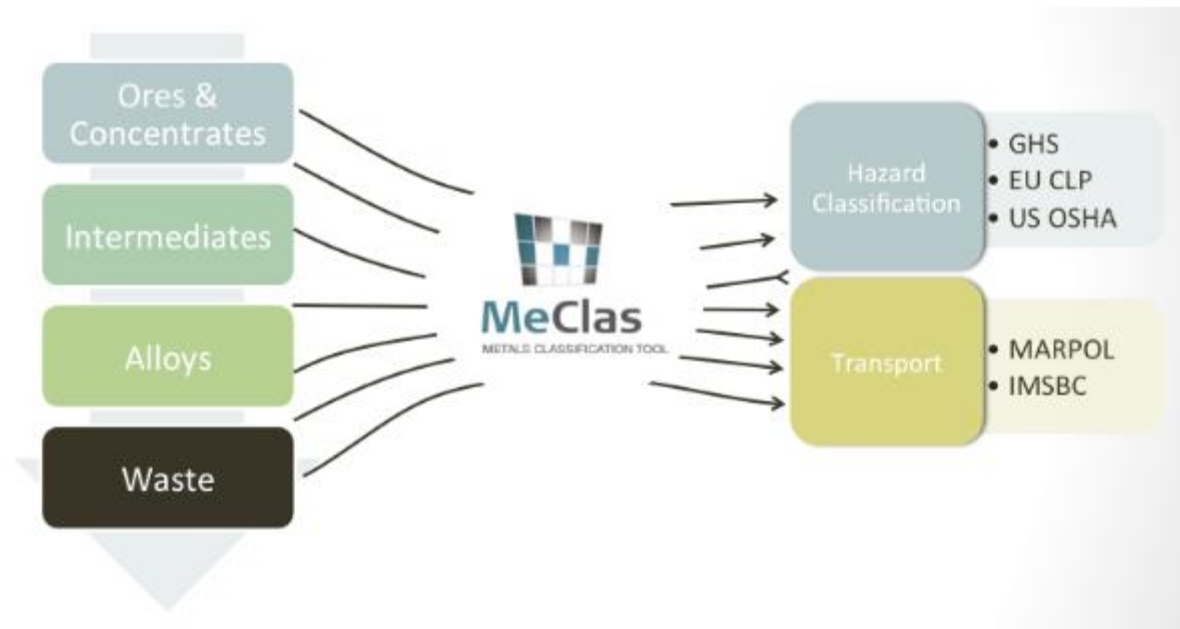


Cu Calculado

Calculated Iones de Cu liberados a 7 y 28 días



# La Opción 1: Utilizar MeClas, nivel 2, software de la Industria que incluye el modelo creado por el ECI en 2014.

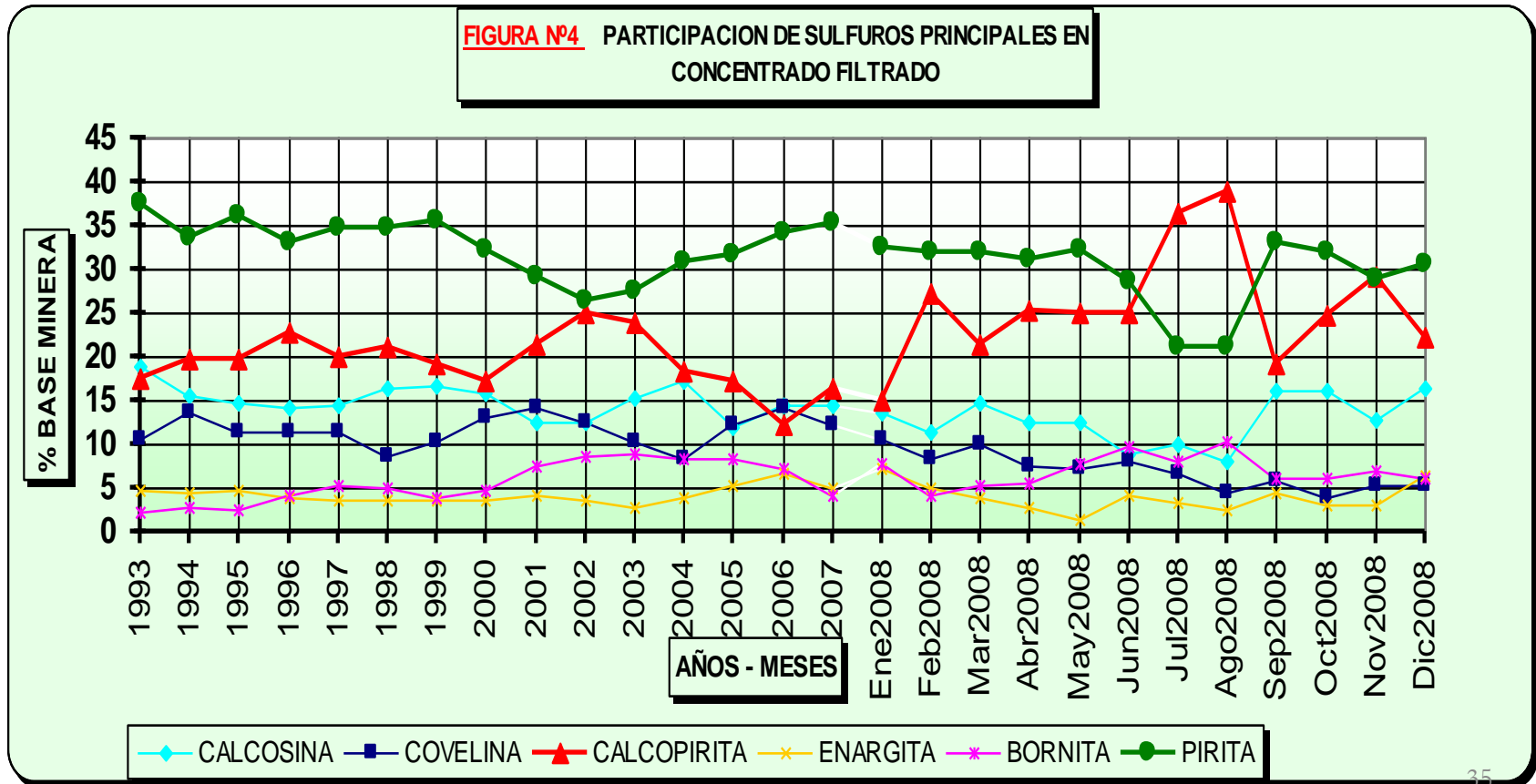


## **La Opción 2: Ensayos de Disolución/Transformación (Anexo 10, GHS)**

- **Una muestra a una carga de 1 mg/L de concentrado se agita en medio estándar por 28 días al pH de máxima disolución.**
- **Se mide la liberación al medio de los metales relevantes: Cu, As, Sb, Zn...etc.**
- **La clasificación se hace sobre la base de esta medición.**

# Incertidumbres de la Clasificación

- Desconocimiento de cuánto puede variar la composición mineralógica de los concentrados y en qué ventanas de tiempo



# Para saber más:

## Documentos y recursos preparados por la industria

- ❖ <http://www.meclas.eu/>
- ❖ <https://internationalcopper.org/resource/transport-regulations-by-the-international-maritime-organization-marpol-annex-v-and-imsbc-code/>
- ❖ <https://www.icmm.com/en-gb/guidance/mining-metals/2021/hazard-assessment>

**Gracias**