

JORNADA DE ACTUALIZACION EN SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL Y
MEDIO AMBIENTE- COSSMAP 2011. AGOSTO 18-19

EXPOSICION A METALES PESADOS EN LA MINERIA A CIELO ABIERTO

Preparado Por:

Dr. Francisco Díaz Mérida

Especialista en Medicina del Trabajo

Minería A cielo Abierto

- La minería a cielo abierto abarca las formas más variadas de **extracción de materias primas minerales de yacimientos cercanos a la superficie.**
- Para ello se quita completamente el recubrimiento estéril y se extrae el material útil. Atendiendo a las propiedades físicas del material en bruto y a las características específicas del terreno, se utilizan diversos **métodos de explotación.**

Descripción de la Actividad

- **La extracción en seco** es similar para minerales sueltos y consolidados, con la diferencia de que estos últimos deben ser arrancados primero de la roca. Luego, al igual que en la explotación de materiales sueltos, serán cargados, transportados y procesados mecánicamente. Las minas a cielo abierto que se explotan en seco deben ser desaguadas.
- **En la explotación por vía húmeda**, las materias primas sueltas se extraen mecánica o hidráulicamente y se transportan de la misma forma para su procesamiento. La mayoría de estas plantas de extracción se instalan directamente en el agua, y constan a menudo de plataformas flotantes en cauces de ríos o en lagos artificiales.

Descripción de la Actividad

- **Las explotaciones mineras ubicadas en la plataforma continental** extraen materiales sueltos de yacimientos aledaños a la costa, llamados placeres marinos. Al igual que en la explotación por vía húmeda, el material se extrae y transporta por vía mecánica o hidráulica.
- **La minería submarina de profundidad** tiene por objetivo extraer materias primas del fondo marino. Puede cobrar importancia en el futuro, pero no se analizará en detalle en las páginas siguientes.

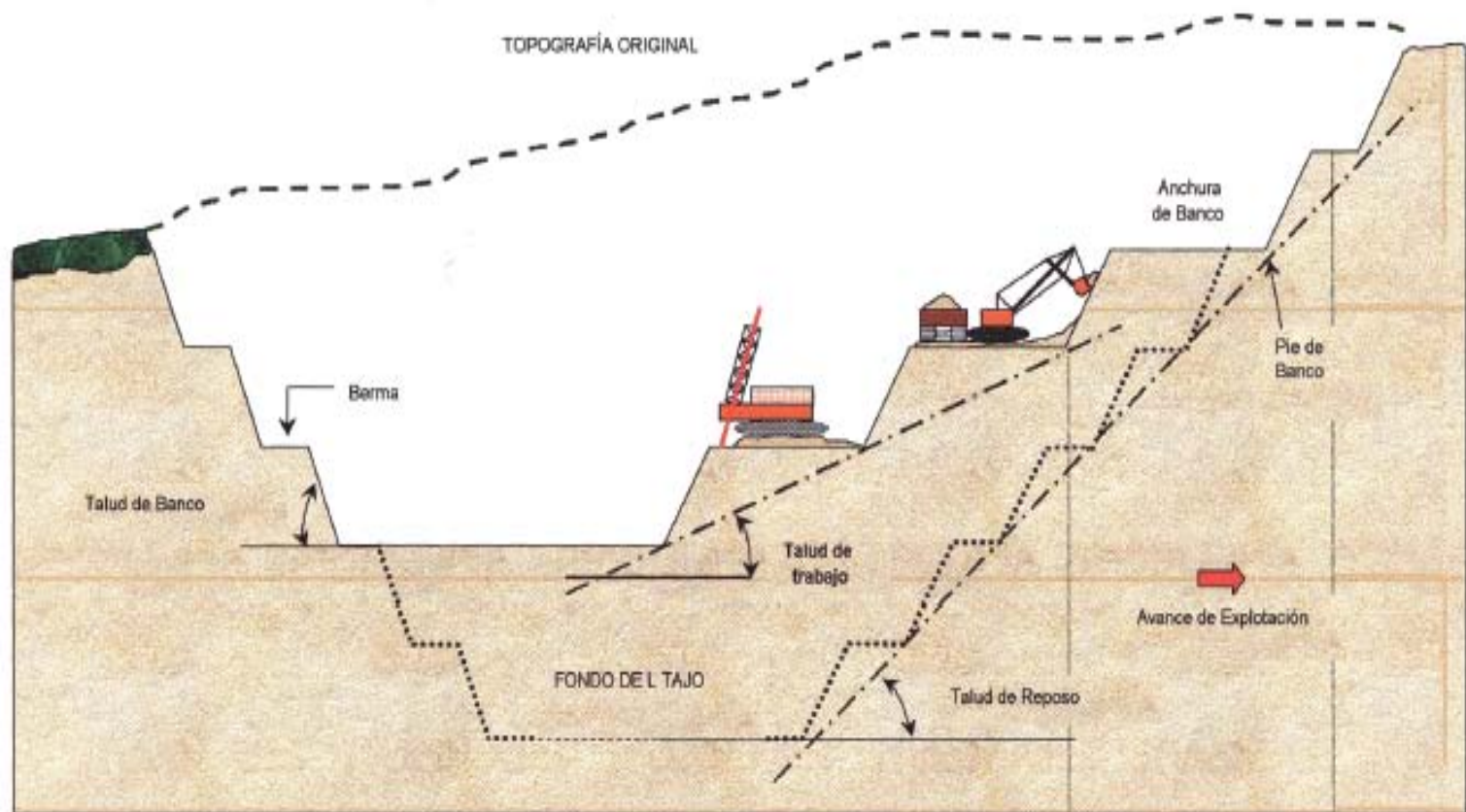


Figura. 5.3 Método de Explotación o Tajo Abierto
 Fuente: Adaptado de Introducción a la Geología y minería al Carbón para Ingenieros

Concepto de Metales pesados

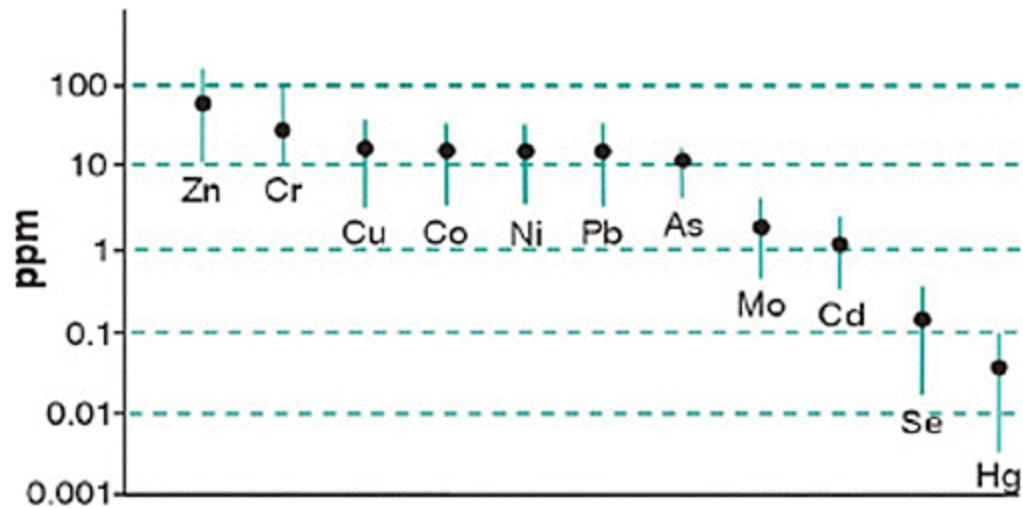
- Los **metales pesados** son un grupo de **elementos químicos** que presentan una densidad relativamente alta y niveles de **toxicidad** para el ser humano.
- Metales pesados son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del **agua**. Tienen aplicación directa en numerosos procesos de producción de bienes y servicios. Los más importantes son: la construcción, las minas a cielo abierto, recuperadoras de plomo, fábricas de baterías, metalurgias, pigmentos para pinturas, alfarerías

1. Definición

Densidad $\geq 5 \text{ gr/cm}^3$, o

Nº atómico > 20 (excluidos alcalinos y alcalinotérreos)

Elementos trazas $< 0,1\%$ en la Corteza, generalmente $< 0,01\%$



Concentraciones de metales pesados

Elementos asociados: As, B, Ba y Se

ALGUNOS METALES PESADOS

Berilio	Aluminio	Vanadio	Cromo	Manganeso
Hierro	Selenio	Níquel	Cobre	Zinc
Estaño	Cobalto	Molibdeno	Plata	Plomo
Arsénico	Bario	Mercurio	Talio	Cadmio

Criterios empleados para definir los metales pesados

Algunas definiciones según las propiedades consideradas

Metales con una densidad mayor que 4 g/cm³.

Metales con una densidad mayor que 4,5 g/cm³ .

Metales con una densidad mayor que 5 g/cm³

Metales con una densidad mayor que 6 g/cm³

Metales con una densidad de 3,5 a 5 g/cm³.

Metales con una densidad relativamente alta, tóxicos o venenosos a bajas concentraciones.

Criterios empleados para definir los metales pesados

Peso atómico

Metales con un elevado peso atómico.

Metales con un peso atómico mayor que el del Na (23).

Metales con un peso atómico mayor que el del Na (23), que forman jabones con ácidos grasos.

Metales con un peso atómico mayor que 40, excluyendo los alcalino-térreos, alcalinos, lantánidos y actínidos.

Metales con un peso atómico relativamente alto, tales como cadmio, estaño, mercurio y plomo.

Metales con un elevado peso atómico, que pueden dañar a los seres vivos y tienden a acumularse en la cadena alimentaria, tales como As, Cd, Hg y Pb.

Criterios empleados para definir los metales pesados

Masa atómica

Metales de masa atómica elevada.

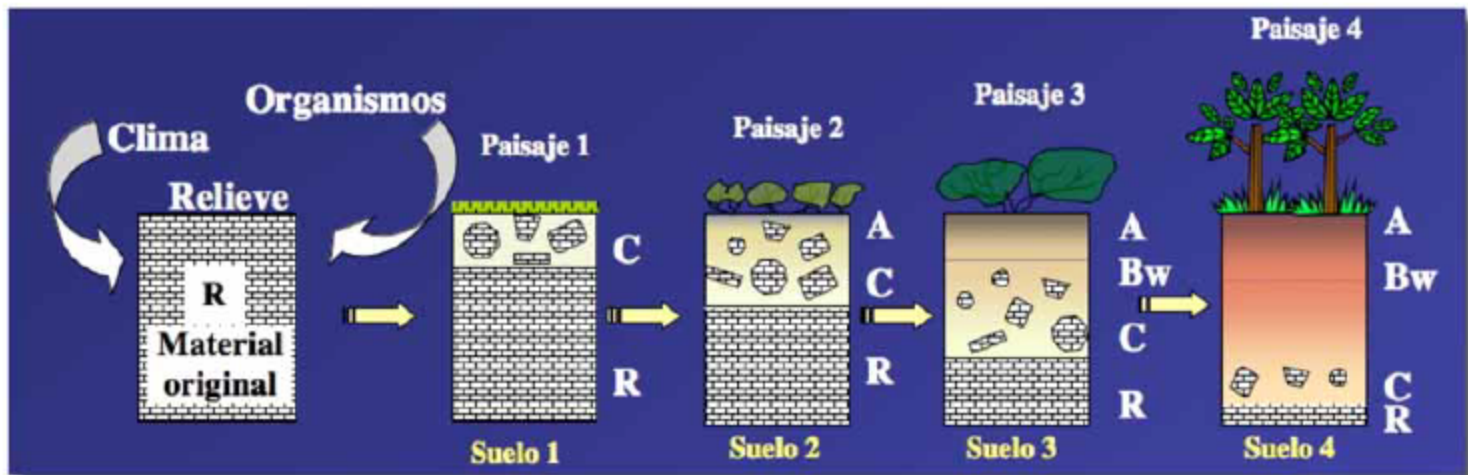
Metales de alta masa atómica, particularmente los de transición que son tóxicos y no son metabolizados por los organismos vivos, tales como Cd, Cr, Hg y Pb.

Cualquier metal, en cualquier forma química, con masa atómica bastante alta, en especial los que son tóxicos (como Cd, Hg y Pb), persisten en el ambiente y pueden acumularse en tejidos vegetales y animales.

Metales con una elevada masa atómica y densidad superior a 4,5 g/cm³, como Cd, Cu, Cr, Hg y Pb; como contaminantes se metabolizan mal y presentan toxicidad para los seres vivos, incluido el hombre.

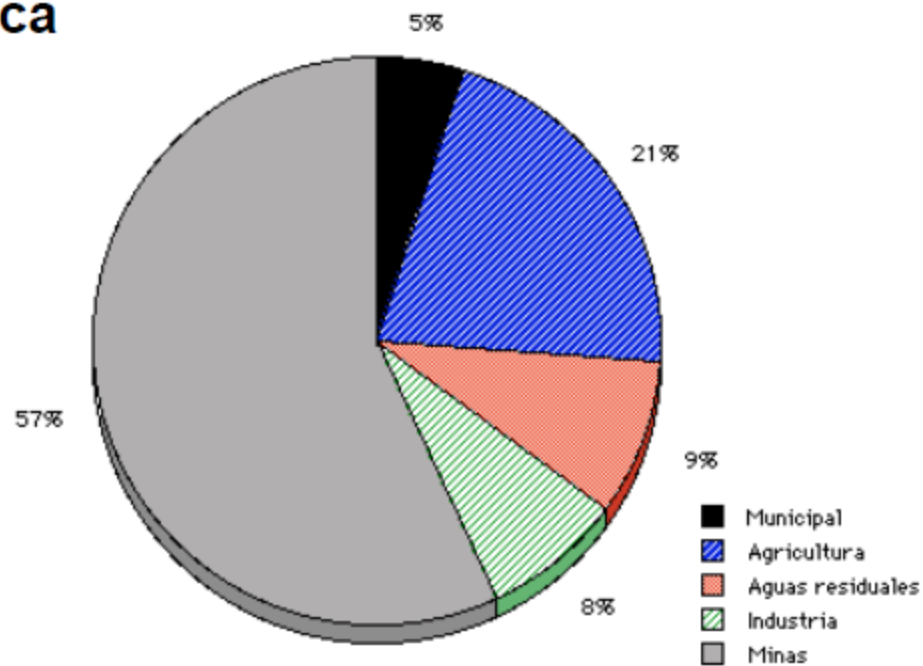
2. Procedencia

4.1 Natural



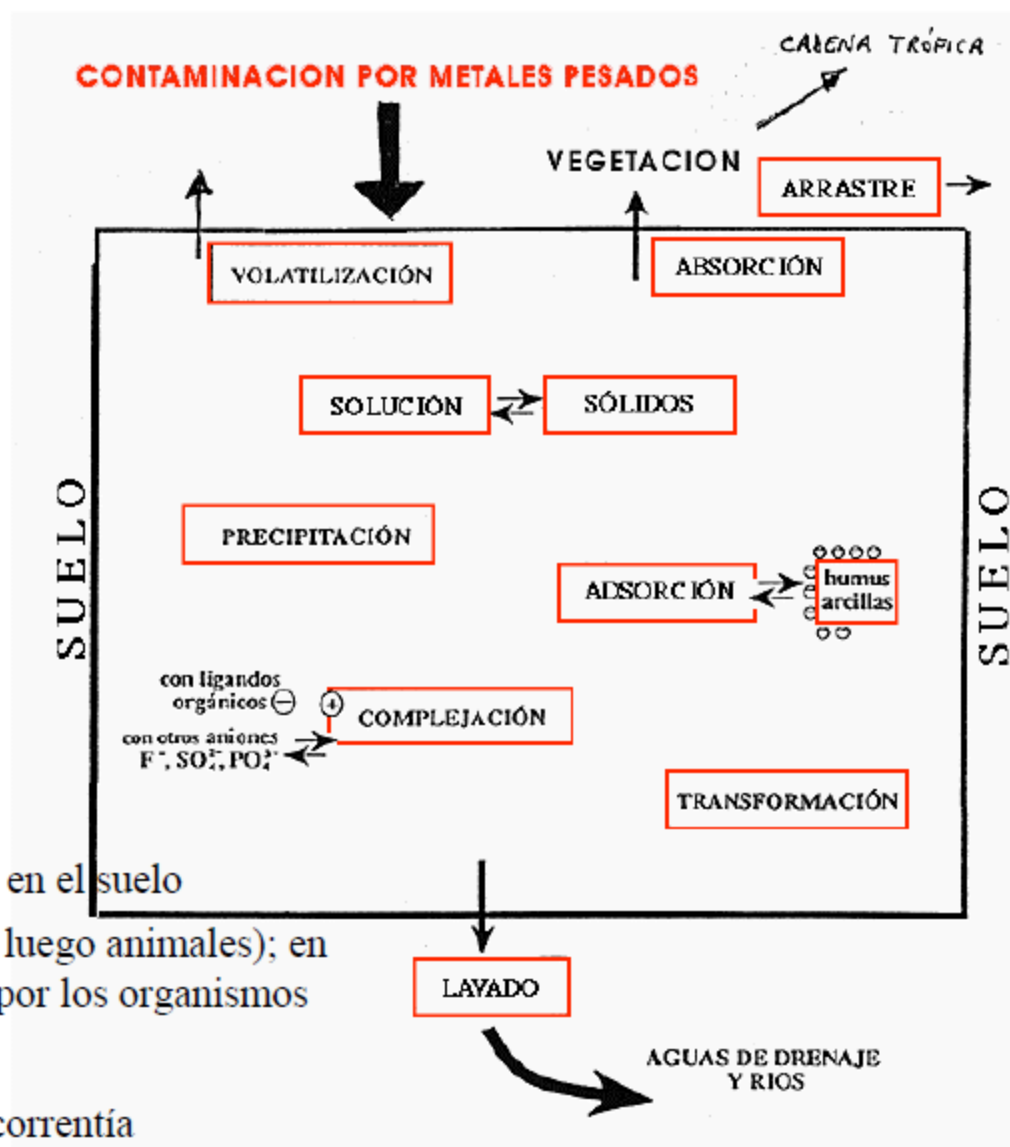
2. Procedencia

4.2 Antrópica



3. Dinámica

3.1. Aporte externo



En definitiva: 4 vías

1. Retenidos (y transformados) en el suelo
2. Absorbido por las plantas (y luego animales); en definitiva, metabolizados por los organismos
3. Volatilizados a la atmósfera
4. Evacuados a las aguas de escorrentía (superficiales y subsuperficiales)

DIAGRAMA DE PROCESOS EN MINAS



Proceso de Extracción y Transporte

- En todo proceso de extracción y tratamiento de las rocas provenientes de una operación minera de grandes proporciones a cielo abierto, concurren una serie de factores que hacen necesaria utilización de elementos necesarios para realizar el procedimiento mencionado en forma adecuada y eficiente, a saber:

Proceso de Extracción y Transporte

- **Remoción de Rocas:** mediante el uso de explosivos para remover enormes de rocas, de modo que se produzcan trozos de material lo mas pequeños posible, a fin de facilitar la posterior molienda del mismo.
- **Molienda y Trituración:** Las rocas extraídas deben ser trituradas y reducidas a polvo para permitir la separación del mineral de la roca estéril.
- **Rociado:** "sopa química", que en el caso del oro está compuesto principalmente por **cianuro de sodio**, en el caso de la plata con **arsénico** y en el cobre con **acido sulfúrico**.

Proceso de Extracción y Transporte

- **Lavado del material:** mediante grandes cantidades de agua para separar por gravedad el metal de la roca estéril y al mismo tiempo eliminar los químicos del metal obtenido.
- **Mezclado:** El polvo metalífero concentrado es mezclado con agua hasta lograr un lodo, que se transporta por cañería hasta los centros de procesamiento final de refinación.
- **Transporte del concentrado:** se centrifuga para extraer el agua para devolver a su estado de polvo para su refinación

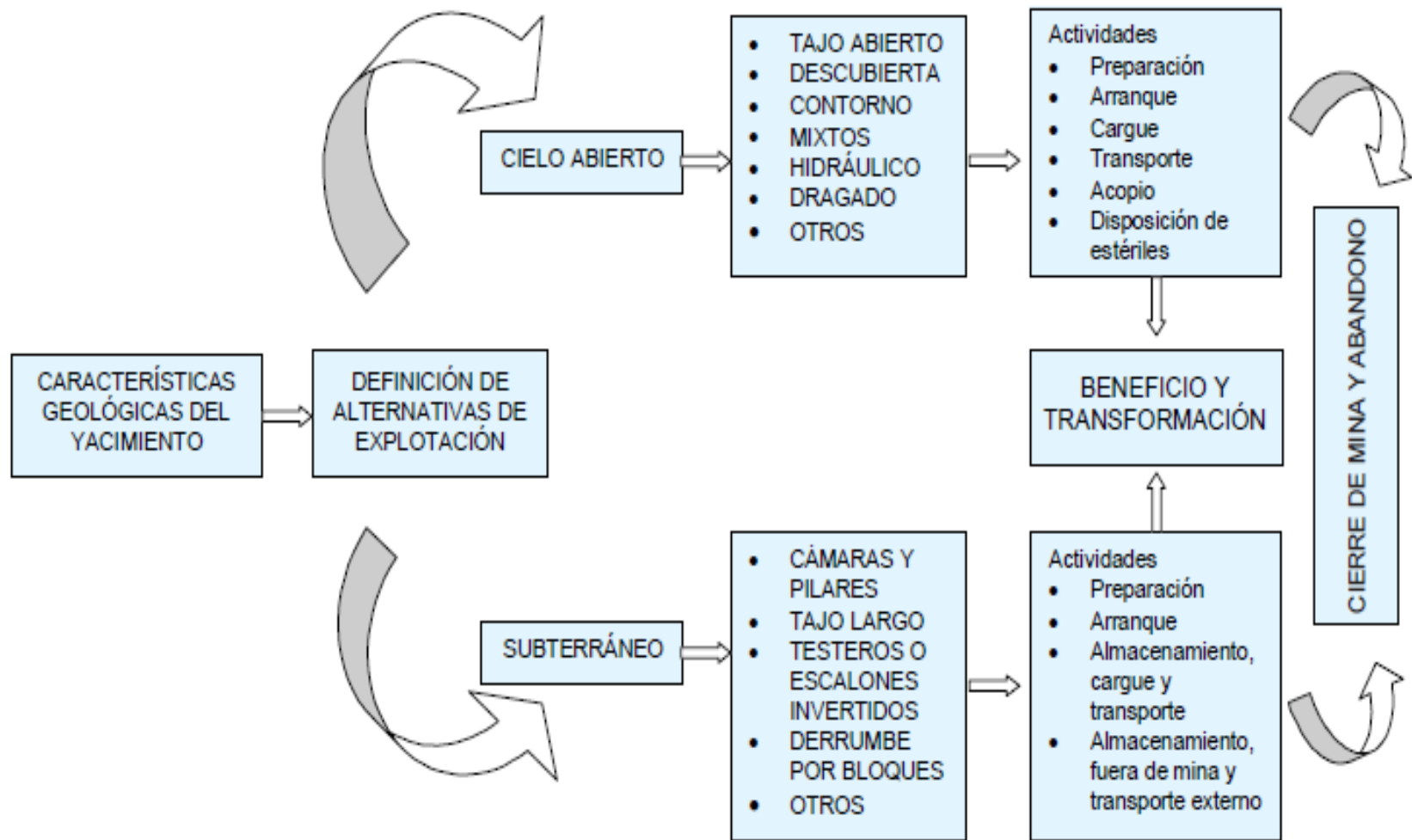
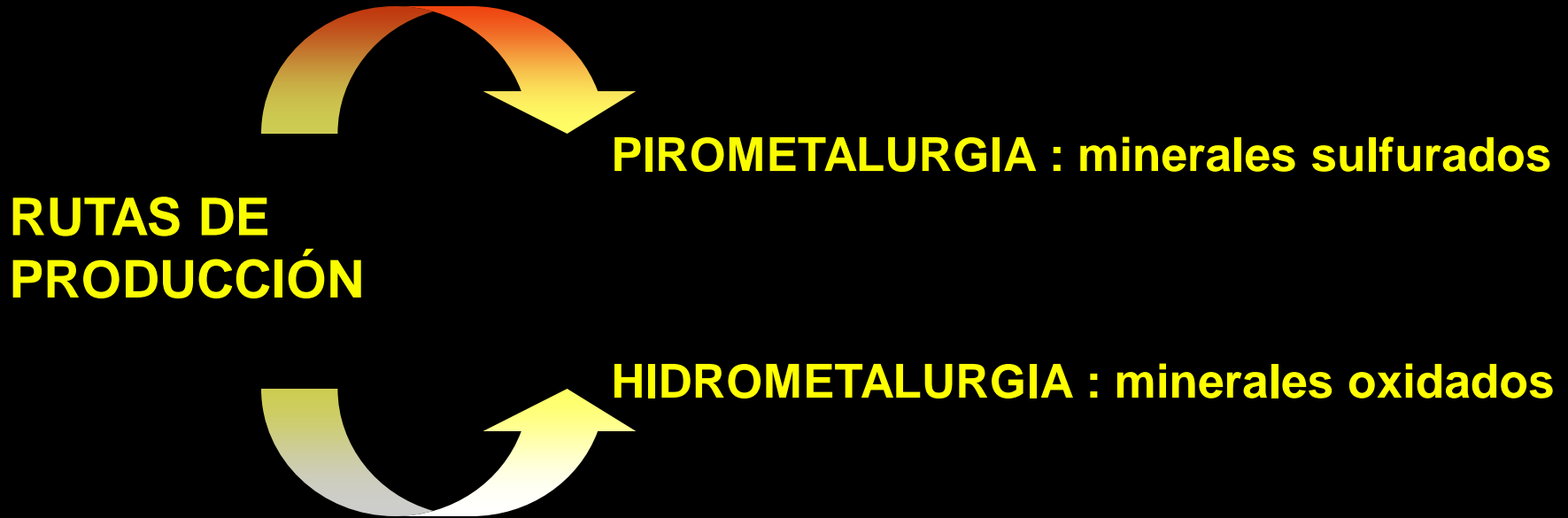


Figura. 5.1 Sistemas y métodos de explotación

PROCESOS DE METALURGIA



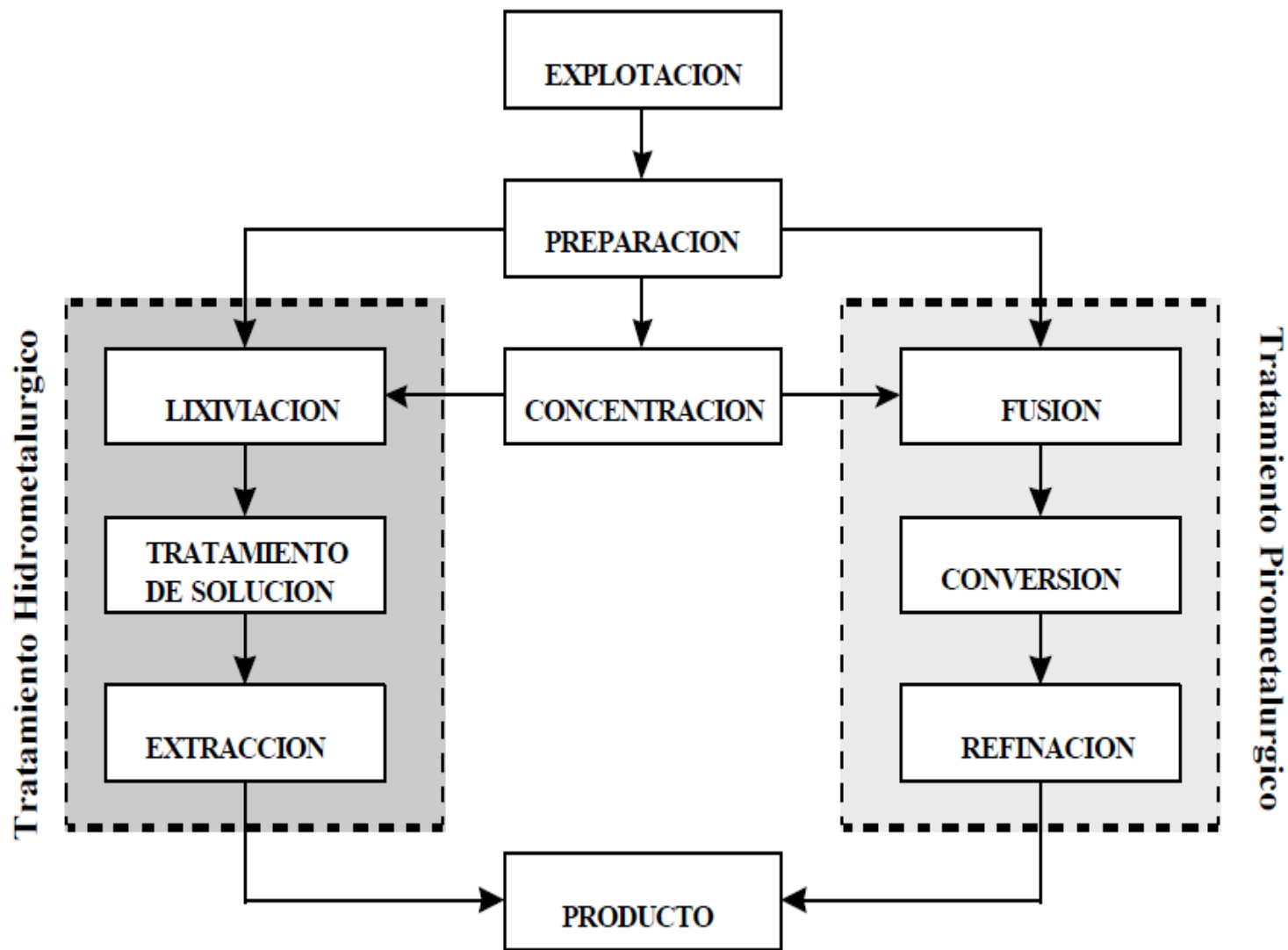


Figura 3.2: Relación entre pirometalurgia e hidrometalurgia.

METALES NO REACTIVOS: Cobre, Níquel, Plomo , Oro , Plata

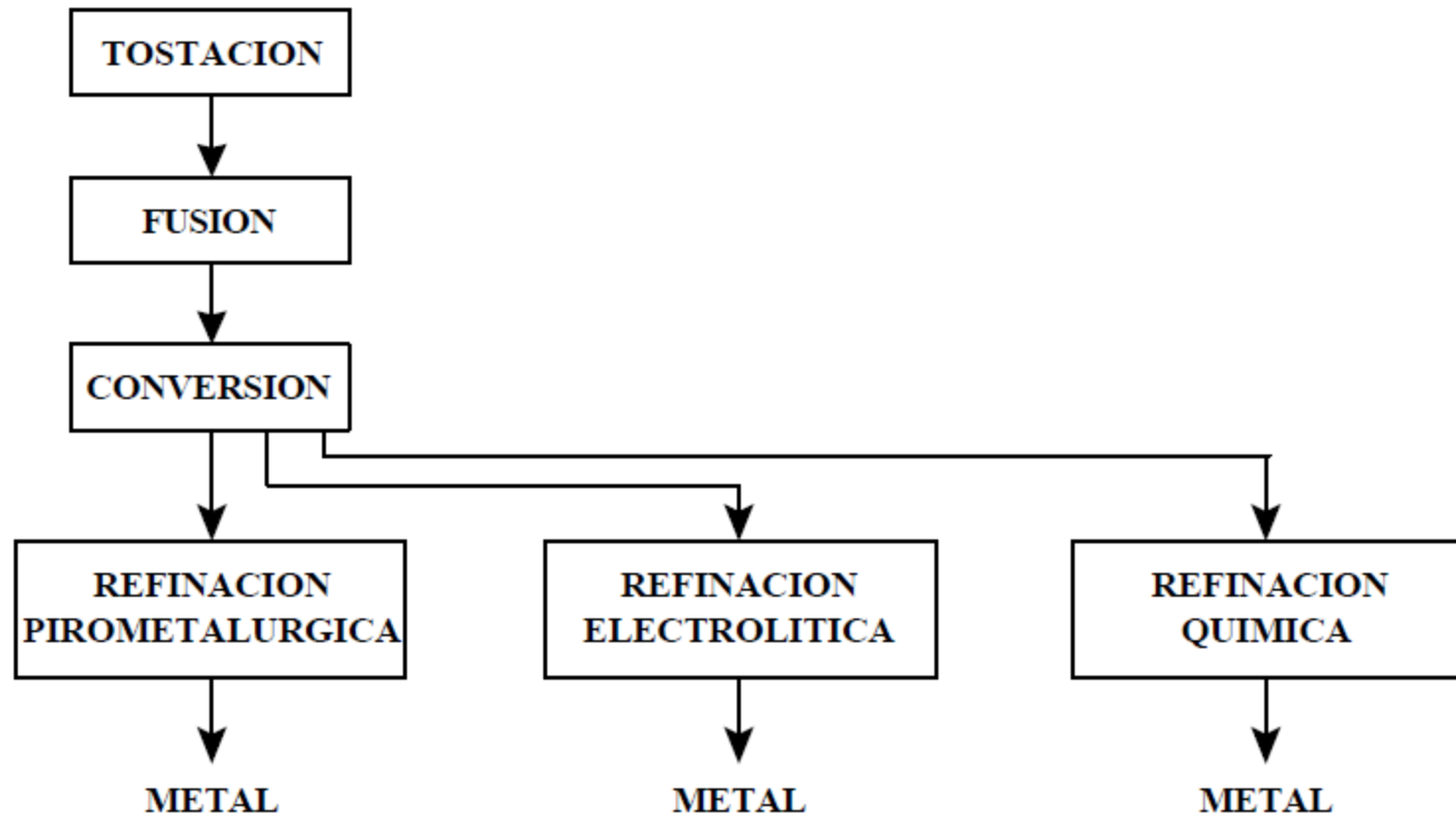


Figura 3.12: Tratamiento pirometalúrgico de metales no reactivos.

METALES REACTIVOS: Aluminio, Titanio, Magnesio Cinc

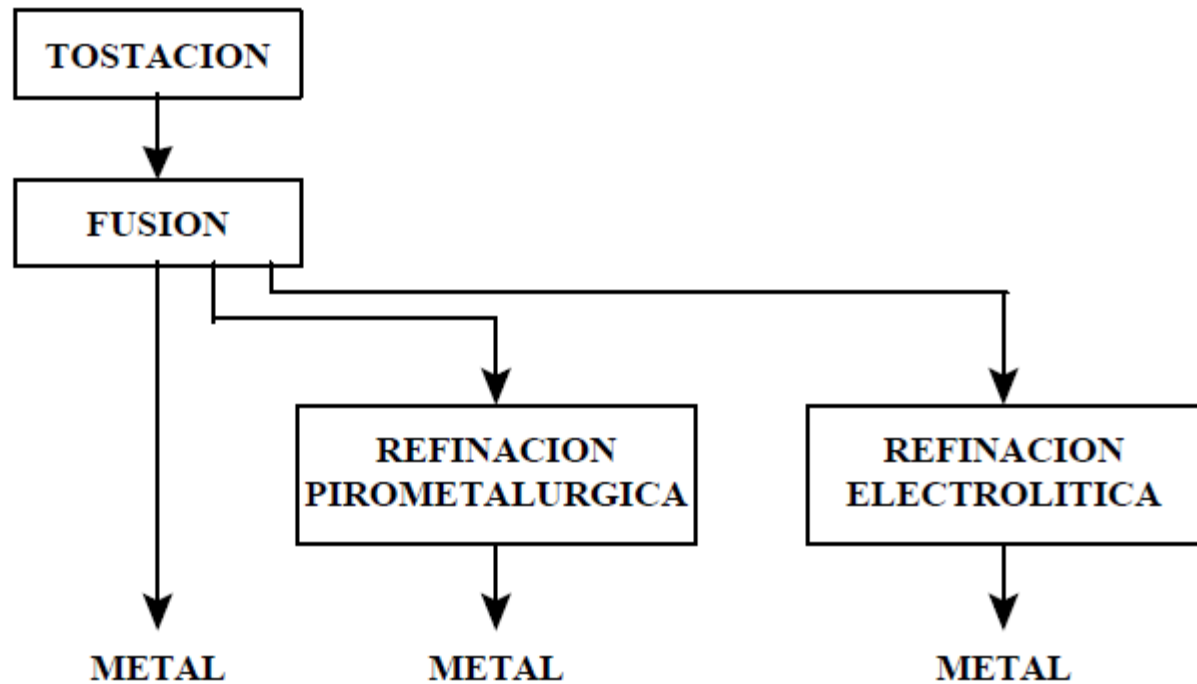


Figura 3.13: Tratamiento de metales reactivos.

HIDROMETALURGIA

Etapas:

- ❖ Chancado
- ❖ Molienda
- ❖ Lixiviación (LX)
- ❖ Extracción por solventes (SX)
- ❖ Electro-obtención (EW)

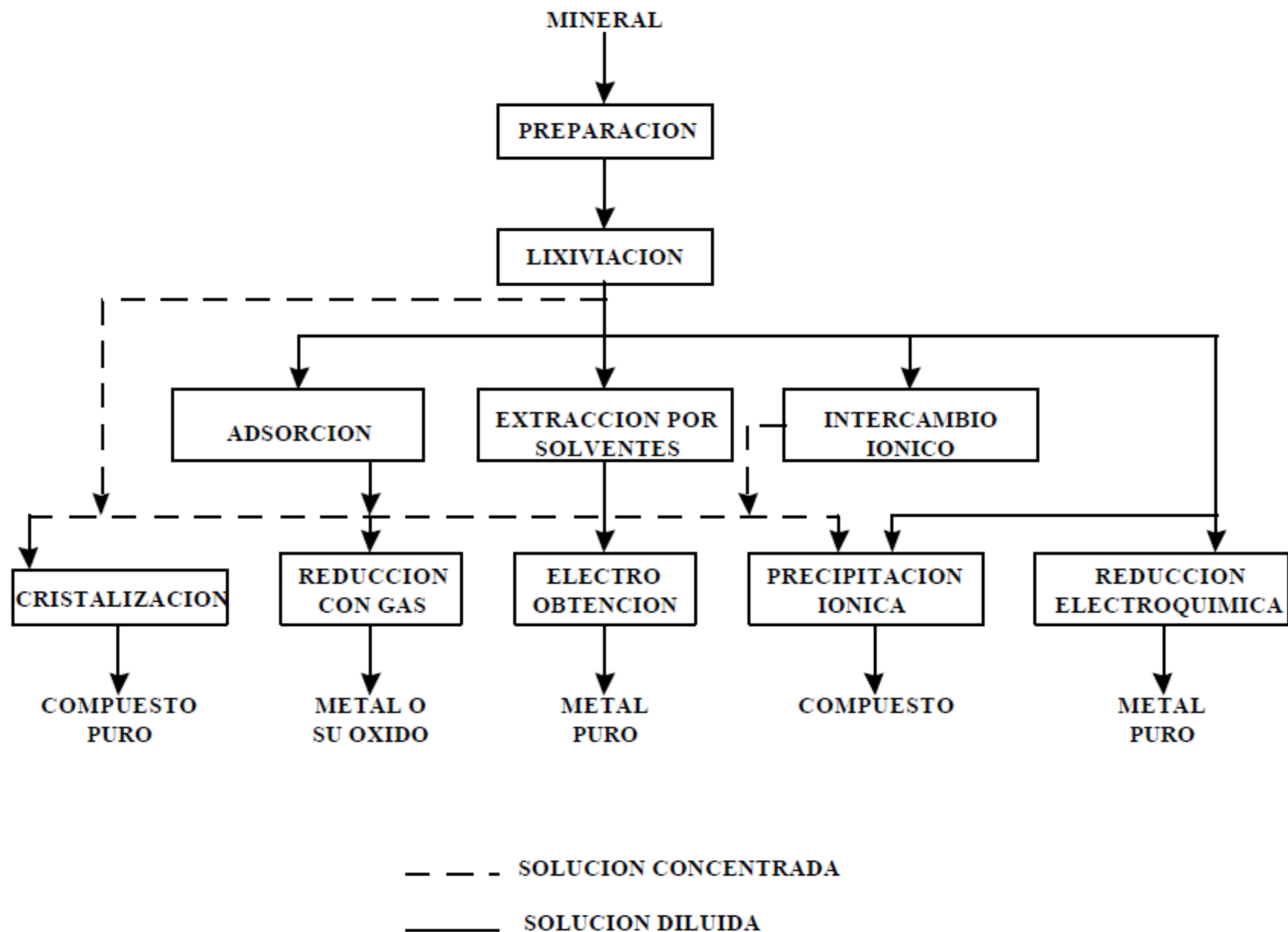
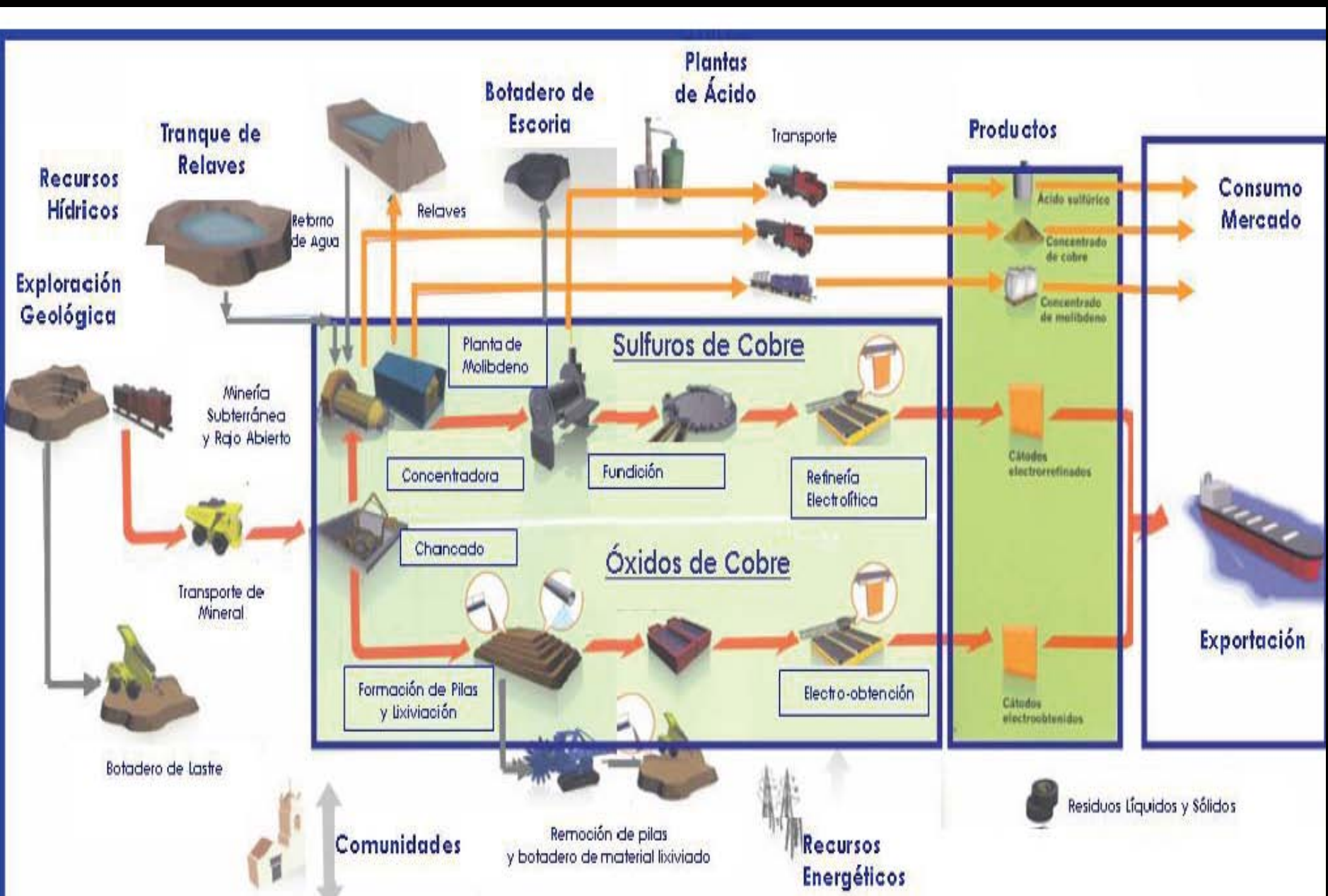


Figura 3.9: Secuencia operacional en hidrometalúrgia.



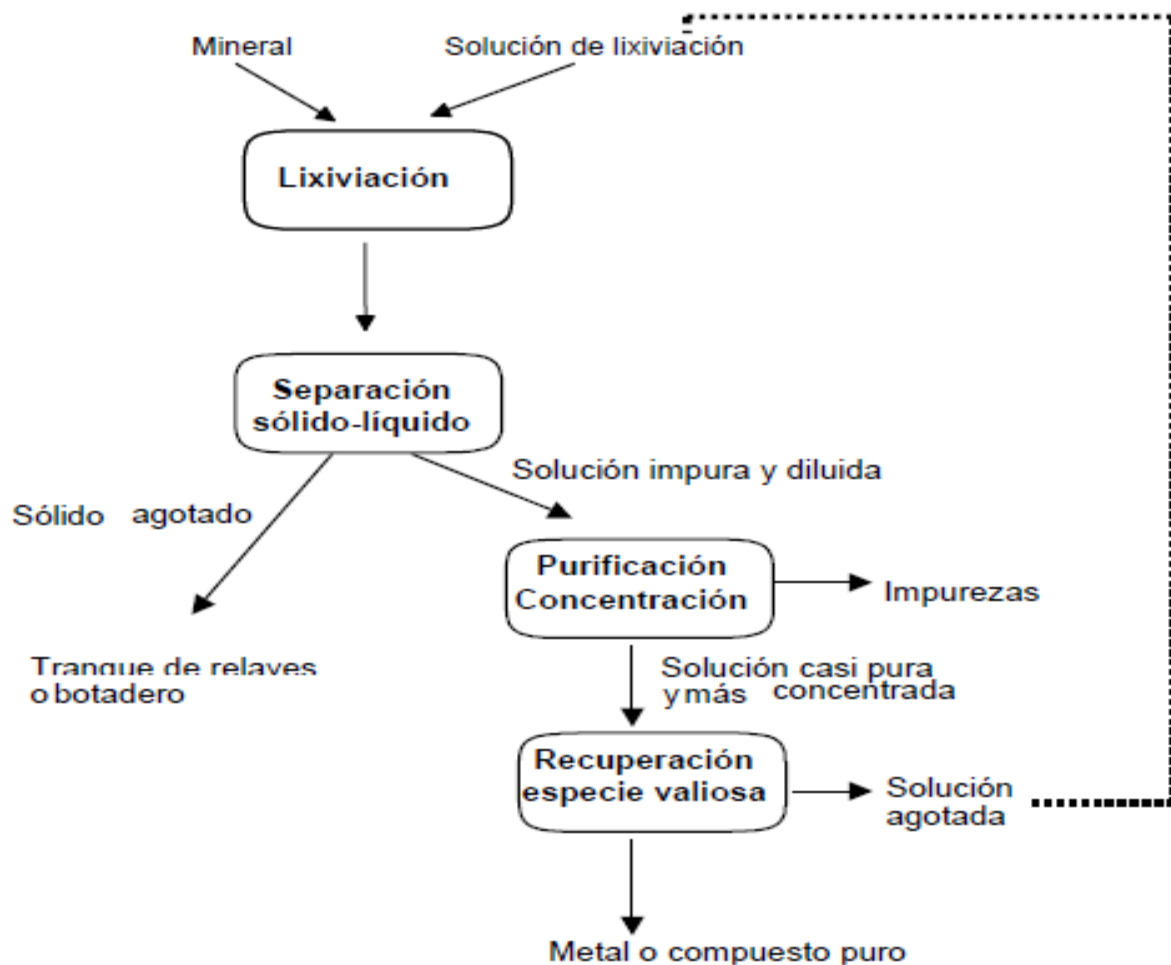


Figura 4.1, Esquema general del tratamiento hidrometalúrgico de un mineral.

Según el tipo de depósito obtenido, se distinguen los siguientes PROCESOS ELECTROMETALURGICOS :

- ELECTROOBTENCION (Electrowinning) de metales :

Consiste en la extracción de metales a partir de soluciones, en forma de depósitos metálicos puros, densos y compactos o depósitos metálicos en polvo (pulvi-electrometalurgia) o bien, depósitos de compuestos metálicos (óxidos, hidróxidos o sales).

- ELECTROREFINACION (Electrorefining) de metales :

Consiste en la obtención de depósitos metálicos de alta pureza a partir de un metal impuro.

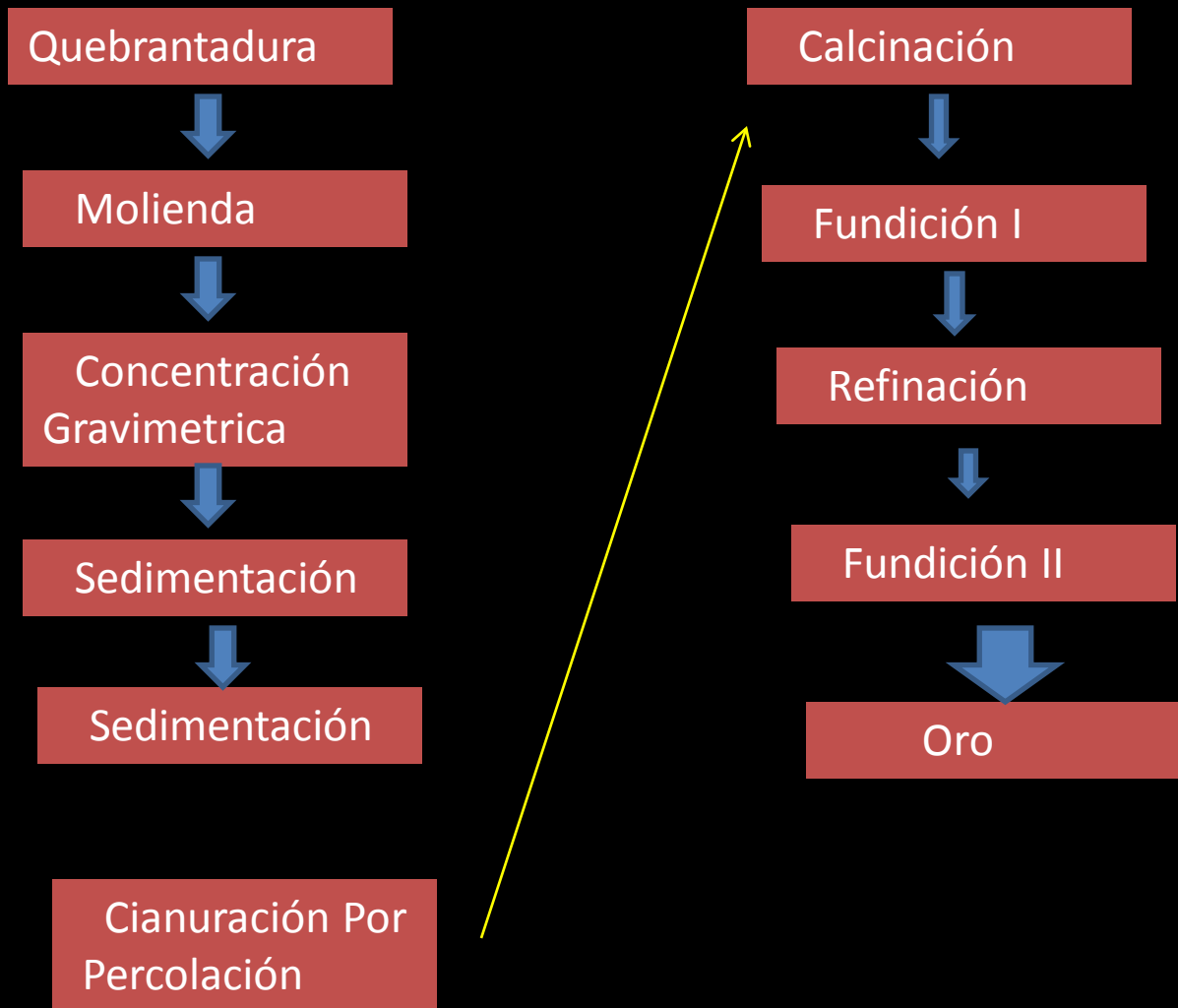
- GALVANOPLASTIA (Electroplating) :

Consiste en recubrimientos metálicos delgados con fines anticorrosivos o estéticos (cromados).

- ELECTROCONFORMADO (Electroforming) :

Consiste en la elaboración de piezas metálicas especiales por vía electrolítica.

DIAGRAMA DE BLOQUES EN LAS PLANTAS DE BENEFICIO



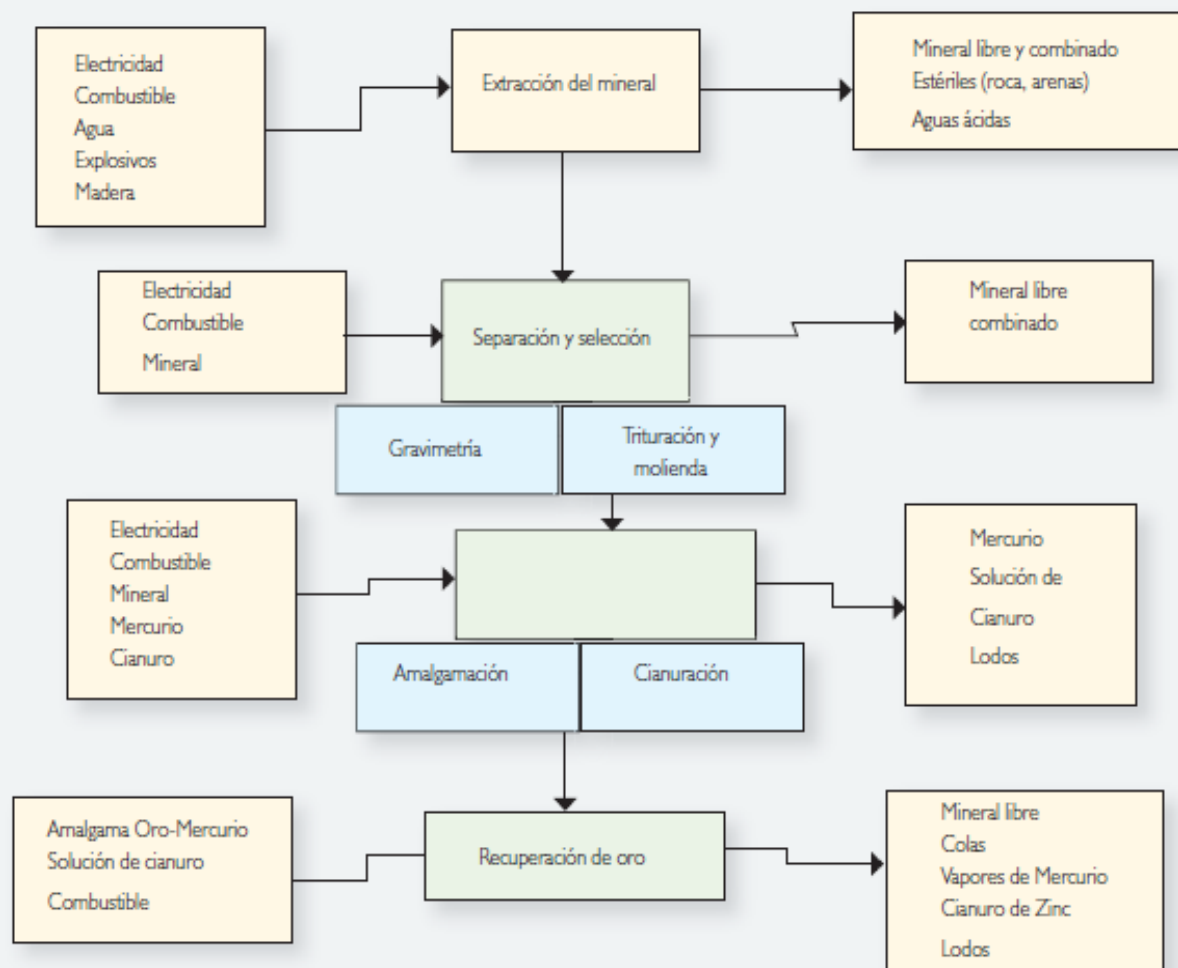


Figura 12: Esquema general del balance de masas en la extracción y separación del oro
Fuente: Geominas

Factores de Riesgos

- Los compuestos minerales existentes en los yacimientos de oro y cobre, son **sulfuros** y **arseniuros**, que sumados a los **nitratos** resultantes de los explosivos utilizados, al estar en contacto con el oxígeno del aire y el agua, producen ácidos y sales que son arrastrados por el agua hacia los diques de colas.
- En estos yacimientos existen otra serie de minerales denominados " metales pesados que también son liberados por los procesos químicos y se mezclan con el agua del lavado.
- Los metales pesados más frecuentes observados son **plomo, zinc, cromo, vanadio, azufre, arsénico, cobre**

Fuentes de Exposición Metales Pesados

- **Mercurio:**

- a) Producción minera de mercurio primaria,

- b) Como subproducto de la extracción o refinamiento de otros metales (zinc, oro, plata) o minerales;

- **Arsénico:**

- a) Ambiente natural: suelos

- b) Rocas: con otros metales tales como cobre y plomo

- c) Fundición del cobre y plomo

Fuentes de Exposición Metales Pesados

- **Cadmio:** se encuentra en menas de zinc. Suele sustituir al **Zinc** en su minerales. Las minas de cadmio son difíciles de encontrar, y suelen estar en pequeñas cantidades. Se encuentra también como subproducto del cobre y del plomo
- **Zinc** : se encuentra en la corteza terrestre como blenda de zinc, se extrae de minas o como subproducto de otros metales o se usa para el galvanizado del plomo y del acero
- **Plomo:** El plomo rara vez se encuentra en su estado elemental . Se presenta comúnmente como sulfuro de plomo en la galena (PbS) o en otros minerales

Metales pesados: Pirometalurgia

- En los procesos de pirometalurgia hay exposición
 - polvo primario del material de alimentación,
 - **polvo de metales volátiles, p. ej., de plomo, cinc, arsénico, estaño, cadmio, mercurio, selenio, telurio y sus compuestos (condensados después de enfriamiento),**
 - sustancias gaseosas como SO_2 , HCl, HF, CO, CO_2 ;
- agua residual de circuitos de refrigeración y de lavados de gas de escape;
- escorias finales con contenidos metálicos residuales, sulfatos, sulfuros; potencial para dibenzo-dioxinas y dibenzo-furanos policlorados en método clorante (p. ej., procedimiento de calcinación alcalina del cobre);
- **desprendimiento del horno con contenido de arsénico, plomo, cadmio, mercurio y cianuros**

Metales Pesados en la Hidrometalurgia

- **Residuos de la lixiviación.** Mercurio
- **Fango de ánodos:** oro, plata, plomo, estaño, arsénico, antimonio
- **Electrolito evacuado:** metálicos disueltos de hierro, níquel, cinc, arsénico, cobalto

NOAEL y LOAEL

- **NOAEL:** un nivel de efecto adverso no observable. Es la dosis más elevada de una sustancia que no ha mostrado en las pruebas tener efectos perjudiciales para la salud en personas o animales.
- **LOAEL:** un nivel de mínimo efecto adverso observado . Es la menor concentración o cantidad de una sustancia que causa cualquier modificación indeseable en un organismo

Efectos no cáncer: NOAEL y LOAEL



NOAEL

(Non Observed Adverse Effects Level)
nivel de exposición experimental que
representa el máximo nivel probado al
cual no se observan efectos tóxicos

LOAEL

(Lowest Observed Adverse Effect Level)
nivel experimental más bajo en el que se
observa que se produce el efecto
adverso

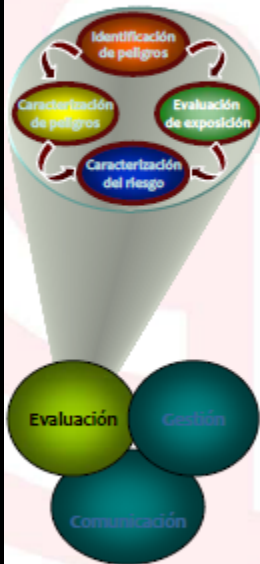
Peso de la evidencia



EPA	IARC	Caracterización
A	1	Evidencia suficiente de capacidad carcinogénica en humanos
B	2 A	Carcinogénico probable en humanos
B 1		Evidencia limitada en humanos
B 2		Evidencia suficiente en animales pero poco clara o carente en humanos
C	2 B	Carcinogénico posible en humano (evidencia limitada en animales, datos inadecuados o carentes en humanos)
D	3	No clasificable en cuanto a su capacidad carcinogénica en humanos. Faltan datos
E	4	Falta de evidencia de capacidad carcinogénica para humanos.

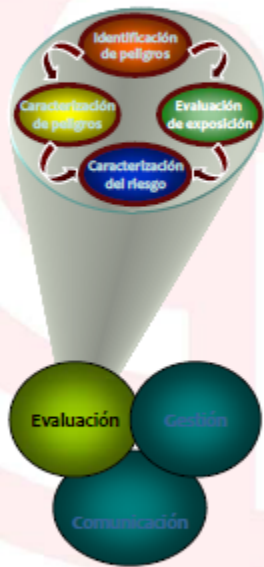
Evaluación de la exposición

- Evaluación cualitativa y/o cuantitativa de la ingestión probable de agentes biológicos, químicos y físicos a través de alimentos, aire, etc.



Dosis de exposición y Factor de exposición

Evaluación de la exposición: escenario de exposición



Descripción del sitio:

Variables con influencia sobre la movilidad de los tóxicos y los niveles de contaminación.

Clima
Vegetación
Topografía
Edafología
Geohidrología

Descripción de las poblaciones expuestas:

Variables con influencia sobre la exposición y sus consecuencias:

Localización relativa
Subpoblaciones mas susceptibles
Patrones de actividad

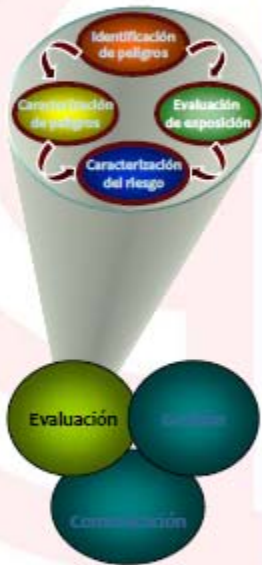
Evaluación de la exposición: ruta de exposición

Elementos que ligan una fuente de contaminación con una población receptora:

Fuente de contaminación	Origen de la presencia del contaminante en el medio
Mecanismo de transporte	Medios por los que se mueve el contaminante hasta el punto donde se produce la exposición
Punto de exposición	Lugar donde se da (o puede darse) el contacto humano con un medio contaminado
Vía de exposición	Vía de entrada del contaminante al organismo (oral, respiratoria, etc.)
Población receptora	Personas expuestas o potencialmente expuestas al contaminante en un punto de exposición.



Rutas de exposición



Rutas de exposición pasadas, presentes y futuras

Rutas completas, parciales, potenciales

Importancia según nº de expuestos, nº contaminantes

Distintas rutas de aporte para el mismo contaminante

Efectos a la Salud

- **Arsénico (As)**
Bronquitis; cáncer de esófago, laringe, pulmón y vejiga; hepatotoxicidad; enfermedades vasculares
- **Berilio (Be)**
Irritación de las membranas mucosas y de la piel; cáncer de pulmón
- **Cadmio (Cd)**
Bronquitis, enfisema; nefrotoxicidad; infertilidad; cáncer de próstata; alteraciones neurológicas; hipertensión; enfermedades vasculares
- **Cromo (Cr)**
Nefrotoxicidad; hepatotoxicidad; cáncer de pulmón
- **Mercurio (Hg)**
Alteraciones **neurológicas**; **afecciones del sistema respiratorio**
- **Plomo (Pb)**
Alteraciones neurológicas (disminución del coeficiente intelectual infantil); nefrotoxicidad; anemia; cáncer de riñón

MUCHAS GRACIAS