

APUNTE DE GEOLOGIA DE LOS RECURSOS MINEROS Y ENERGÉTICOS CONTENIDOS MINIMOS

BREVE SINTESIS POR
LIC. MATIAS LESTUSSI

EDITORIAL CIENTÍFICA UNIVERSITARIA
CATAMARCA, 2018

INDICE

Legislación	4
Etapas de un proyecto	6
Prospección	6
Exploración	6
Pre-factibilidad	7
Estimación de reservas	7
Factibilidad	10
Mapeo geológico	10
Superficial	10
En mina	10
Minas a cielo abierto	11
Minas subterráneas	11
Técnicas de apoyo	11
Fotografía aérea	11
Imágenes satelitales	12
Estudios geofísicos	12
Magnetométricos	12
Gravimétricos	12
Radiométricos	12
Electromagnéticos	13
Eléctricos	13
Estudios geoquímicos	13
Sedimentos de corriente	13
Suelo	13
Roca	13
Minerales pesados	14
Otros	14
Guías geológicas	14
Morfológicas	14
Litológicas	14
Estructurales	14
Mineralógicas	15
Alteración hidrotermal	15
Alteración supergénica	15
Perforaciones	15
Tipos	15
Preparación	16
Orientación	16
Blanco	16
Logueo	17
Testigos	17
Cuttings	17
Trincheras	17
Tipos de exploración	18

Greenfield	18
Brownfield	18
Reservas	18
Clasificación	18
Evaluación	18
Leyes	20
Métodos de explotación	20
Control mineral	20
Tratamiento de minerales	20
Canteras	22
Áridos	22
Rocas ornamentales	22
Calizas o yeso	23
Arcillas	23
Evaporíticos	23
Carbón	23
Petróleo	24
Otras fuentes de energía	24
Hidráulica	24
Geotérmica	25
Mareomotriz	25
Solar	25
Eólica	25
Uranio	25
Yacimientos del mundo	26
Oro	26
Hierro	26
Cobre	27
Aluminio	27
Uranio	27
Carbón	28
Petróleo	28
Demanda de minerales en el mercado global	28
Oro	28
Hierro	28
Cobre	29
Aluminio	29
Plata	29
Platino	29
Litio	29
REE	30
Uranio	30
Petróleo	30
Informes en investigación geológico-minera	31
Bibliografía	34

LEGISLACIÓN

Código de Minería: Creado por Ley Nacional. Autoridad de aplicación: Juez de Minas. Dicta todo lo referente a los permisos de cateo y concesiones de yacimientos. Clasifica los minerales en categorías y fija el tratamiento legal en cada caso. Describe las características legales de las propiedades mineras.

Ley de Canteras: Ley Provincial N°4352. Dicta lo referente a solicitud de concesión, propiedades, explotación, canones, control, infracciones y multas en caso de incurrir en ellas. Autoridad de aplicación: Dirección Provincial de Minería. Es el organismo encargado de otorgar la concesión de canteras privadas y públicas a municipios, empresas o emprendimientos (asentados en registro de canteras). Toda persona física o jurídica que solicite una concesión deberá presentar ante la autoridad de aplicación la información pertinente (sustancia mineral a explotar, situación en terreno y ubicación, equipo de explotación, nombre de la cantera). Superficie máxima para la concesión: 40 Ha. Autoridad de aplicación controlará todas las canteras (explotación, seguridad, medioambiente). Se pagará a la provincia 5% por Tn o m³ de material sobre cada sustancia extraída y un canon anual por Ha. Las infracciones serán penadas por multas de 1% a 5% del valor del producto bruto.

Ley de Ambiente: Ley Nacional N°24.585. Autoridad de aplicación: Secretaría de Minería (DIPGAM asesora). Destinada a toda persona física, jurídica, pública y privada, a los entes centralizados y descentralizados y las empresas del estado municipal, provincial, y nacional. Estas serán las responsables de todo el daño ambiental, que se produzca por el incumplimiento de ley. Las actividades que engloba esta ley son: prospección, exploración, explotación, desarrollo, preparación, extracción y almacenamiento de sustancias minerales comprendidas por el código de minería, incluidas las actividades de cierre de mina. Los responsables comprendidos deberán presentar ante la autoridad de aplicación un informe de impacto ambiental, el cual debe ser aprobado o rechazado y actualizado en forma bianual. Todo lo que causare daño estará obligado a mitigarlo, rehabilitarlo, o recomponerlo. El incumplimiento será sancionado por medio de: multas, suspensión del goce de certificado de calidad ambiental de los productos, clausuras temporales. Tres infracciones conducen al cierre definitivo. El instrumento público de aprobación que provee la ley es la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) que expide la autoridad competente después de evaluar el informe de impacto ambiental.

Ley de Bosques: Ley Provincial N°5311. Autoridad de Aplicación es la Secretaría del Agua y del Ambiente o el organismo de mayor jerarquía con competencia ambiental que en el futuro la reemplace (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable). Aplica en todo el territorio de la Provincia de Catamarca que cuente con bosques nativos en sus diferentes estados de conservación, y a los que, habiéndolos tenido, el Estado considere de factible recuperación, y a todas las actividades, acciones, proyectos u obras que pudiesen afectar su estado. La ley define Bosques nativos como Ecosistemas forestales naturales compuestos predominantemente por especies arbóreas nativas maduras, bosques abiertos mixtos en consociación con arbustales y/o pastizales, cardonales, retamales y palmares que, conformando un conjunto con el medio físico, la flora y la fauna asociada le otorgan al sistema condiciones de equilibrio dinámico y brindan servicios ambientales a la sociedad.

Ley de Patrimonio: Ley Provincial N°4218/84. Autoridad de aplicación: Dirección de Cultura de la Provincia. Ley de preservación de los vestigios y/o restos de yacimientos arqueológicos y antropológicos. Estos son exclusivamente del estado provincial. Prohíbe la explotación, toma de documentos y estudios de los vestigios sin autorización del poder ejecutivo, al igual que su venta, comercialización y apropiación y salida de la provincia. Para su estudio y/o exposición, se necesitará, la autorización del Poder Ejecutivo de la Provincia. La investigación científica de estos mismos, solo podrá ser realizada por Instituciones Científicas o por Investigadores nacionales o extranjeros, previamente registrados como tales, conforme, y contando además con la correspondiente autorización. La autoridad de aplicación puede recurrir al asesoramiento especializado de la Universidad Nacional de Catamarca u otras instituciones. Toda persona física o jurídica que encontrare o descubriere vestigios, restos y/o yacimientos, deberá dar cuenta de inmediato a la Dirección de Cultura, directamente o por intermedio de sus delegaciones; todo ocultamiento u omisiones hará pasibles al o a los autores de las sanciones establecidas en la presente Ley.

Ley de Glaciares: Ley Nacional N°26.639. Autoridad de aplicación es el organismo nacional de mayor nivel jerárquico con competencia ambiental. El objetivo es establecer presupuestos mínimos para la protección de los mismos como reservas estratégicas de recursos hídricos para el consumo humano, agricultura y proveedores de agua para la recarga de cuencas hidrográficas; protección de la biodiversidad, como fuente de información científica y como atractivo turístico. Prevé inventario de geoformas glaciares y periglaciares a través de IANIGLA, con la coordinación de la autoridad de aplicación de la ley. En los glaciares y ambientes periglaciares quedan prohibidas, las actividades que puedan afectar su condición, actividades que impliquen su destrucción o interfieran en su avance: liberación, dispersión de sustancias o elementos contaminantes, productos químicos o residuos de cualquier naturaleza, construcción de obras de infraestructuras, exploración y explotación minera e hidrocarburífera. Actividades permitidas: científicas como la toma de muestras, deportivas como el andinismo y escalada (no motorizadas).

ETAPAS DE UN PROYECTO

El porcentaje de inversión sobre la inversión total es de aproximadamente 10% en prospección, 20% en exploración, 70% en las etapas subsiguientes (desarrollo, explotación, cierre de mina).

Prospección: Etapa de generación de prospecto. Un prospecto es un volumen de terreno que tiene la posibilidad de alojar un yacimiento. Puede ser una mineralización aflorante, una vieja mina, un área seleccionada en base a una idea geológica o una característica anómala del ambiente (usualmente una medición geofísica o geoquímica). La prospección consiste en la búsqueda de anomalías que respondan a potenciales yacimientos. Implica mapeo superficial, estudios geofísicos y geoquímicos a escala regional no invasivos, como muestreo de sedimentos de corriente, suelo, roca, concentrados de minerales pesados, etc. orientados a definir tentativamente localización y forma del yacimiento. Bassi divide la prospección en “estratégica” (búsqueda de anomalías en territorios vírgenes, E 1:100.000 a 1:50.000) y “táctica” (estudio geológico de anomalías para detectar posibilidades de yacimientos, E 1:25.000 a 1:10.000). La prospección táctica puede sugerir una “evaluación preliminar” antes de proseguir al “estudio geológico minero” de detalle. La “evaluación preliminar” es un estudio de pre-factibilidad. El “estudio geológico minero” de detalle es la etapa de exploración antes del análisis de factibilidad.

- Análisis geológico regional
- Análisis geológico local (semi-detalle)
- Geoquímica regional
- Geoquímica local (semi-detalle)
- Definición de blancos de exploración
- Geofísica sobre los blancos

Exploración: Consiste en comprobar si las anomalías encontradas en la etapa de prospección corresponden a un yacimiento. La primera parte de la exploración implica mapeo superficial, estudios geoquímicos y geofísicos de detalle, está destinada a encontrar el blanco de perforación. La actividad en esta etapa invasiva, requiere movilización de maquinaria pesada para excavación de trincheras y perforaciones, destinadas a muestreo geoquímico y reconocimiento geológico. Encontrado el blanco de perforación, se hacen perforaciones orientadas para intersectar el potencial cuerpo mineralizado. Si se encuentra el cuerpo y las leyes son favorables se diseña un programa de perforación en dos etapas (incrementando el grado de detalle) con la finalidad de estimar reservas y recursos presentes (tonelaje, leyes). Un estudio de pre-factibilidad puede ser llevado a cabo para evaluar si los costos de exploración están a la altura de la ganancia esperada del proyecto. Si las características (tonelaje, leyes, mineralogía de mena) reveladas en la etapa de estimación de reservas son favorables, se realiza un estudio de factibilidad, que involucra aspectos técnicos (tecnología de recuperación y método de exploración), económicos (relación precio de venta del producto minero a lo largo de vida útil en relación a los costos de inversión, tasación del yacimiento en función de tonelajes y leyes), ambientales (en relación a posibilidad de cumplimiento con las regulaciones locales). Exploración inicial destinada a definir el blanco de perforación. Una vez definido, se tratará de conseguir una intersección con el cuerpo mineralizado. Si se tiene éxito se pasará a la etapa de estimación de reservas. Esta etapa inicial de exploración implica:

- Análisis geológico de detalle
- Estudios geoquímicos detallados (muestreos de roca y suelo, en afloramientos, trincheras o perforaciones).
- Estudios geofísicos detallados. Tanto para delimitar el cuerpo como para conocimiento geológico de la zona.
- Trincheras: Muestreo por canales o chips de roca. Excavación por retroexcavadoras, excavadoras o bulldozers.
- Perforaciones: Muestreo de cuttings (perforaciones someras para geoquímica de regolito) o testigo (perforaciones profundas para aumentar conocimiento geológico de la zona).
 - Roto-percusión (**DTH**): Diámetro hasta 20 cm. Profundidad: Hasta 200 m. Avance: 100 a 150 m. en 8 hs. (dependiendo tipo de roca.) Costo: Bajo. Desventajas: Contaminación de muestras.
 - Recuperación de testigo (**DDH**): Diámetro: 2,17 a 6,35 cm. (más comunes). Profundidad: Hasta 1000 m. (o más). Avance: 10 m. por hora. (cuando se llena el tubo de testigo hay que subirlo y vaciarlo, por este motivo es más lento; se puede solucionar con un sistema que permite recuperar testigo sin sacar todo el varillaje, pero el diámetro es más pequeño.) Costo: USD 100 por metro. Ventajas: Gran información geológica.
 - Aire reverso (**RC**): Recuperación de cuttings por agua o aire a través de sistema de pared doble (evita contaminación de muestras). En algunos casos puede recuperar testigos.

Si los resultados son satisfactorios y se define un blanco de perforación, se intentará una perforación de intersección con el mismo:

- Perforación del blanco: Intersección del cuerpo mineralizado con perforaciones orientadas o más raramente mediante excavaciones. Etapa crítica en el proceso de exploración. Dependiendo de los resultados se tomarán decisiones que implican altos costos (cuerpo se localiza, costos ascienden drásticamente a expensas de otros prospectos; si se decide abandonar el prospecto siempre está la posibilidad de haber perdido un yacimiento).

(*) Tiene que estar bien complementada con la geología de apoyo, porque si no se tiene buena información geológica se puede caer en incertidumbres que conduzcan al abandono del prospecto por subestimación o al avance hacia etapa de factibilidad económica final debido a sobreestimación.

Pre-factibilidad: Evalúa si los costos involucrados en la exploración son apropiados para las ganancias esperadas. Debería identificar el tipo de datos que se espera obtener para llevar el proyecto hacia la etapa de factibilidad.

Estimación de reservas: Esta etapa define leyes, tonelajes, características referidas a explotación y metalurgia del cuerpo mineralizado. Para esto es necesario un programa de perforaciones detalladas, que se llevará a cabo en dos etapas la primera en un patrón más espaciado y la segunda densificando el patrón inicial.

- Contactos a definir:

- Geológicos: Límites litológicos y/o estructurales.
 - Mineralógicos: Extensión de masa mineral, puede o no coincidir con contactos geológico y económico.
 - Económico: Definido por la ley de corte a partir del cual los materiales son económicos en un determinado momento económico y tecnológico.
- Datos relevantes:
- Peso específico
 - Espesor
 - Tipo de mena
 - Estimado de recuperación
 - Contenido de humedad
 - RQD.
- Tonelaje: Producto entre área, potencia y peso específico. Está definido por la ley de corte. Suelen hacerse gráficos ley-tonelaje, que dan la cantidad de toneladas para determinada ley de corte.
- Ley: Debe calcularse una **ley media** de los intervalos muestreados, a lo largo de los cuales la ley cambiará, llamada ley media ponderada:

$$G' = \frac{\sum L \cdot G}{\sum L}$$

Donde “G” es la ley media ponderada para toda perforación, “G” la ley en cada muestra y “L” la longitud de la muestra. Las leyes medias ponderadas calculadas para los distintos pozos se asignarán a distintas secciones del depósito (calculadas de planimetría, mediante áreas de influencia que pueden ser la mitad de la distancia entre pozo y pozo en un área determinada) y luego se extraerá una ley para todo el depósito:

$$G_T = \frac{\sum A_i \cdot G_i}{\sum A_i}$$

Donde “A_i” es la sección contenida en cada pozo, “G_i” es la ley media ponderada en cada pozo y G_T es la ley media para todas las secciones. Calculada la ley media se debe calcular el volumen, que puede estimarse promediando secciones consecutivas y multiplicándolas por la distancia que las separa, ej.:

$$V_1 = \frac{(A_1 + A_2)}{2} \cdot D$$

Y el volumen total será la suma de los volúmenes obtenidos entre cada par de secciones consecutivas en el depósito:

$$V_T = \sum \frac{(A_i + A_{i+1})}{2} \cdot D_i$$

Al volumen total se lo multiplica por una densidad global del depósito (extraída de muestras) y por la ley media global calculada anteriormente. Esto da el valor de tonelaje a una ley específica.

El método de los polígonos se utiliza para cuerpos tabulares (ej. filones) y consiste en unir mediante líneas (líneas de unión) los puntos de perforación y luego bisectar estas líneas, con otras líneas perpendiculares (bisectores perpendiculares) en el punto medio de las líneas de unión. Los puntos en que los bisectores perpendiculares se intersectan son los vértices de los polígonos trazados. La ley se determina asignando un peso del 50% al valor central y de 10% a cada valor que se conecta mediante una línea de unión al valor central. Para un pentágono formado a partir de una muestra central y cinco marginales, el cálculo será:

$$G_p = (G_c \cdot 0,5) + (G_1 \cdot 0,1) + (G_2 \cdot 0,1) + (G_3 \cdot 0,1) + (G_4 \cdot 0,1)$$

- Coeficiente de extracción: Es la cantidad de material que puede ser extraído del depósito garantizando la integridad de la obra de extracción; es la cantidad que puede extraerse sin que la mina colapse. Este coeficiente debe aplicarse al tonelaje calculado. Ej.: Un depósito de 10000 toneladas métricas con un coeficiente de extracción de 80% tendrá un tonelaje extraíble de 8000 toneladas métricas.
- Dilución: En el proceso de voladura queda incluido material estéril, lo cual implica dilución de leyes. Puede darse que material sub-económico quede fuera de los límites económicos quede incluido en la voladura de forma involuntaria (sobre-voladura), que material sub-económico incluido en el cuerpo económico no pueda segregarse (dilución interna) o que el contacto mineral/estéril sea muy irregular y no haya posibilidad de incluir ciertos volúmenes de material estéril en el proceso de voladura. Las minas operan con valores establecidos de dilución, que se deben aplicar a los tonelajes calculados. Ej.: Una dilución de 10% en un tonelaje de 8000 toneladas métricas implica un tonelaje diluido de 8800 toneladas métricas. Si la ley para 8000 toneladas métricas era de 2,3%, la ley diluida será de 2,09%:

$$\frac{8000 \text{ Tn} \cdot 1,1}{(8000 \cdot 2,3\%)} = 2,09\%$$

- Recuperación: Es la cantidad de metal que se puede recuperar en los procesos metalúrgicos. Ej.: El material de ley 2,09% (20,9 Kg. por Tn de material), luego de ser tratado cede un concentrado de 65 Kg. al 30%. Esto significa que 19,5 Kg. se obtienen cada 65 Kg. de concentrado, que a su vez fue extraído de 1 Tn de material. La recuperación metalúrgica es la relación entre el peso del metal en el concentrado luego del tratamiento y el peso en la tonelada de material sin procesar.

$$\frac{19,5}{20,9} = 0,93$$

En este caso, la recuperación es de 93%.

Factibilidad: Evalúa en gabinete todos los factores (geológicos, mineros, medioambientales, políticos, económicos) que determinan si es factible la decisión de explotar.

(*) Costos: En etapa de exploración ascienden a algunos millones de euros. Tener en cuenta que, si la perforación con recuperación de testigos es de un valor cercano a 200 USD por metro, al perforar 150 metros en 4 blancos para probar leyes, se tienen 120.000 USD en costos de perforación por metro de avance solamente, lo que no incluye transporte de los equipos, caminos de ser necesarios, pagos a personal, ensayos químicos y solo se trata de una etapa inicial de exploración. En el caso de obtener resultados satisfactorios en uno de los blancos de perforación se deberá establecer una malla de perforación, para lo cual se deberán hacer otras tantas perforaciones en las que quizás sea necesario profundizar. Deberán movilizarse otros equipos de perforación y adicionar un gran número de análisis químicos para probar leyes. En etapa de explotación los costos ascienden a los miles de millones de euros.

Mapeo geológico: En todas las instancias de un proyecto, el mapeo superficial (o subterráneo) es requerido para distintos fines, a distintas escalas y formas de representación. En prospección, ayudará a generar teorías sobre posibles controles geológicos o estructurales. Estas teorías llevarán a predicciones de localización y forma de los supuestos cuerpos en el prospecto. En exploración deberá aumentarse el detalle y la precisión. Mapas y perfiles serán requeridos en sitios de perforación o trincheras. Durante la explotación serán requeridos mapas y perfiles de los frentes de avance.

- **Superficial:** Mapas en planta. Un límite aproximado para definir escalas grandes y pequeñas es 1:5000. A escala regional o semi-detalle (1:100.000 a 1:5.000), se utiliza fotografía aérea, imágenes satelitales o mapas topográficos como base. En campo se visitan afloramientos puntuales. A escala local de detalle (1:5.000 o menor) se utilizan técnicas de campo, en orden decreciente de precisión y tiempo de ejecución: triangulación con tablero horizontal y mira, comúnmente llamado plancheta, grilla de estacas como puntos de apoyo, brújula y cinta métrica, brújula y pasos. En zonas de pendientes pronunciadas se debe obtener distancia horizontal en mapa, considerando distancia medida en terreno como una hipotenusa, por relaciones trigonométricas. Escala elegida controla tipo de datos que puedan ser registrados. Mapa 1:25.000 o menor es de prospección a nivel cuenca, cinturón plegado, unidad tectónica, etc. muestra patrones de distribución litológicos y estructuras mayores. Mapa 1:25.000 a 1:5.000 se pueden considerar mapas regionales detallados. Apropiados para grandes pertenencias, útiles para representar información de estudios geofísicos y geoquímicos. Apropiado para generación de prospectos. Mapas 1:5.000 o mayores pueden representar contornos de depósitos y afloramientos. Llevados a cabo después que prospecto es definido.

- En Mina: Mapas en planta y perfiles. Forma de expresar orientaciones XXX/YY/AA, donde “XXX” es el rumbo, “YY” la inclinación y “AA” la dirección de inclinación. Para software se puede requerir la forma XXX/YY donde, de los dos rumbos posibles se empleará uno que indique la dirección de inclinación con la regla de la mano derecha. Situando la palma hacia abajo se apunta hacia la dirección de inclinación con los dedos. Al estirar el pulgar en ángulo recto se obtendrá el rumbo.
 - Cielo abierto: El mapeo consiste en un perfil del frente y un plano al pie del frente mapeado (si la base está cubierta de detritos, se extienden los planos medidos en la zona visible hacia el pie), a escala 1:250 o mayor. El mapeo se realiza con brújula y cinta, o tablero en zonas de mayor complejidad geológica. Los mapas al piso del frente (en distintos momentos de la explotación) se componen en un mapa del piso o de nivel, para el cual se utilizará también información proveniente del muestreo de perforaciones o trincheras. Este mapa es útil para conocer la distribución de las leyes sobre los bancos. La información de los perfiles del frente se utilizará para componer una sección del yacimiento, para el cual también se utilizará información proveniente de las perforaciones. Puede coincidir con líneas de la grilla de perforación de la etapa de exploración. Lo que se mapea son límites visibles de mineralizaciones y unidades geológicas, estructuras mayores, sets de diaclasas, patrones de alteración, venas o sets de venillas, datos geotécnicos, dureza. Si los límites son difusos se puede utilizar líneas de tendencia para representarlos, o se puede utilizar características como grado de alteración o número de diaclasas por metro. En tal caso es preferible utilizar lógica numérica (ej. 50%, 2 de 5, etc.) a una forma adjetivada. Se pueden medir estructuras planares a distancia situándose a lo largo del rumbo, utilizando una brújula.
 - Subterráneo: El mapeo consiste en un plano a la altura de los canales de muestreo (o altura media hacia el techo) y un perfil de alguna de las caras de la labor, comúnmente del frente. En casos poco frecuentes será necesario hacer varios perfiles, incluyendo paredes y techo. Estos se representarán como si fuese una caja desarmada, de la cual el frente sería la base. En labores de orientación vertical se hacen solo perfiles. Estructuras horizontales se ven mejor en superficies verticales y se registran mejores perfiles. Estructuras profundamente inclinadas se ven mejor en el techo y se registran mejor en plano. Las observaciones en el techo se deben hacer como si se estuviese viendo desde arriba, o sea registrando la proyección de la estructura en el piso de la labor. Ciertas observaciones estarán fuera de escala, pero se las podrá mapear marginalmente y vincular a los mapas mediante flechas. Para medir rumbos de estructuras planares se debe buscar los puntos de intersección de la estructura con las paredes y apuntar con la brújula a lo largo del rumbo de un extremo a otro de la pared. Debe cuidarse de no hacer mediciones cerca de objetos ferrosos.

Técnicas de apoyo:

- Fotografía aérea: Modulo de la escala de las fotografías aéreas se determina por la relación entre la altura de vuelo y la distancia focal de la cámara. Ambos están impresos en la fotografía. La altura no se mantiene constante en la línea de vuelo, y ciertas zonas serán más elevadas que otras, por lo cual la escala varía a lo largo de la línea de vuelo. La escala varía dentro del cuadro, pero el 60% central de la imagen tiene distorsión mínima. Esta es más fácilmente aprovechable hacia los bordes laterales que hacia los bordes superior e inferior (menos solapamiento entre corridas en relación a una misma corrida). El alabeo del avión puede variar la dirección del norte en la fotografía. En tal caso pueden ser corroboradas con otras fotografías o un mapa.

- Imágenes satelitales: Tienen la ventaja de estar georreferenciadas, la posibilidad de ser ortorrectificadas, lo cual corregirá las distorsiones de escala y tener información espectral útil en la prospección. Las cámaras de los satélites proyectan la luz en un sensor que es capaz de resolver la luz en un área de 100 a 0,4 m². Esta área es la resolución de la imagen. Estos cuadrados representan un punto de medición georreferenciado. A la vez es un pixel en la imagen. La cámara tiene un sistema de filtros que permite registrar en distintas regiones del espectro electromagnético. 0,4 a 0,7 μm es la luz visible. 0,7 a 1,5 μm. es el infrarrojo cercano. 1,5 a 2,5 μm. es el infrarrojo de onda corta. Además, se registra una banda de intensidad total (pancromática), de mayor resolución. Los píxeles se empiezan a ver al tener 0,2 o 0,5 mm de lado. Para saber a qué escala se puede trabajar con una imagen se debe multiplicar 10 mm por la resolución en centímetros y dividirlo por 0,2 o 0,5 mm. Esto dará el módulo de la escala a la cual la imagen se empezará a pixelar.

- Estudios geofísicos:
 - Magnetométricos: Registran perturbaciones en el campo magnético terrestre causadas por rocas magnéticamente susceptibles, debida principalmente a magnetita o pirrotina. Una estación fija provee datos de variación diurna del campo magnético. A fines de que la anomalía magnética tenga la simetría del cuerpo causante, se debe corregir como si el objeto estuviese situado en el polo magnético (el campo fuese perpendicular a la superficie). Esta corrección es más crítica en el ecuador. Correcciones por variaciones regionales del campo magnético se deben hacer si se trabaja a escala regional. Rocas ultramáficas serpentinizadas, pizarras negras o metamórficas de alto grado, granitos oxidados, regolito con magnetita oxidada presentan altas susceptibilidades. Técnica de búsqueda directa en depósitos ricos en hierro (BIFs, IOCGs, pórfidos de cobre oxidados, skarns magnetíticos, sulfuros masivos con pirrotina). En cuerpos profundos se puede estimar profundidad a la que se encuentra el cuerpo por distintos métodos (ej. Naudy, 1971).
 - Gravimétricos: El gravímetro es una máquina de pesar extremadamente sensible que pesa una masa estándar, detectando cambios muy pequeños en la gravedad causada por diferencias de densidad cortical. La corrección más importante es por diferencias en la gravedad generadas por variaciones de altura, por lo cual se requiere precisión en la medición de la elevación de alrededor de un metro en estudios regionales y del orden de

centímetros para estudios locales (ej. DGPS). El método es útil revelando cuerpos de densidad baja o alta. El modelado de la respuesta gravimétrica para el rango probable de tamaño, profundidad y gravedad específica del objetivo es importante antes de hacer el estudio.

- Radiométricos: Registran radiación emitida por rocas en la superficie (la técnica no tiene respuesta en profundidad). El instrumental usado son emanómetros para medir radón o espectrómetros gamma para medir radiación gamma emitida por distintos isotopos (ej. potasio, bismuto, torio) La mayor energía provendrá del potasio, por lo cual mapas de radiación total revelarán la distribución de rocas ígneas alcalinas o sedimentos derivados. Los minerales de mayor relieve serán ortosas, monacita, pechblenda u otras menas de uranio. Pueden utilizarse relaciones entre la intensidad en distintos canales para discriminar diferentes tipos de roca.
- Electromagnéticos: Consisten en medir la conductividad de las rocas, aplicando un campo electromagnético que inducirá el flujo de corriente sobre las rocas del terreno. El campo se debe a una bobina o un cable sobre el que circula corriente alterna. La corriente inducida en las rocas genera un campo secundario. Los efectos de interferencia entre los campos permiten localizar los cuerpos rocosos conductivos. Técnica de búsqueda directa en sulfuros masivos. Funciona mejor para cuerpos hasta 200m. debajo de la superficie. Problemas pueden generarse por zonas de falla con agua, lutitas con grafito, zonas ricas en magnetita, etc. que tengan la misma conductividad que el cuerpo.
- Eléctricos: Consisten en medir la resistencia de las rocas al paso de la corriente, inyectada directamente al suelo mediante electrodos. Sulfuros metálicos dan zonas de resistencia anormalmente baja. El método de polarización inducida, en el cual se inyecta una corriente transitoria y se mide la aparición de un voltaje secundario generado por efectos galvánicos en los contactos de los granos de sulfuros, es útil para sulfuros metálicos diseminados, que al no estar distribuidos de forma continua muestran mala respuesta al paso de la corriente. Es el único método capaz de detectarlos. El resultado son perfiles que no reflejan la geometría del cuerpo causante, pero indican el lugar donde reside, con una forma característica de V. Este método tiene problemas en zonas de aguas saladas cercanas a la superficie o terreno muy meteorizado. Los métodos eléctricos convencionales (ej. sondeo eléctrico vertical) son útiles para detectar zonas permeables (ej. roca fallada).

- Estudios geoquímicos:

- Sedimentos de corriente: En zonas de patrón de drenaje profundo. Erosión activa. Drenaje primario con poca captación (para evitar efecto de dilución). Muestreo en sedimento activo, fracción limo-arcillosa (mayor absorción-adsorción), 50 a 100 g. Material de ribera puede tener origen local. Debe registrarse ancho del canal, caudal, carga, afloramientos

presentes, etc. Las anomalías se siguen aguas arriba sobre el drenaje anómalo para definir el punto de entrada.

- Suelo: Metales derivados de meteorización in-situ de mineralizaciones sub-aflorantes forman halos de dispersión cercanos a la superficie, alrededor del depósito. La anomalía puede corresponder al metal buscado o algún elemento asociado al estilo de la mineralización (ej. arsénico). Muestra se toma en material limo-arcilloso, debajo del horizonte orgánico en horizonte de acumulación u horizonte C en regiones áridas. Ciertos suelos pueden no ser producto de meteorización in-situ (transportados). A fin de evitarlos se puede mapear zonas de crestas. Para 1:10.000, grillas de 200-400 m.
- Roca: Muestreada con martillo y cincel o martillo hidráulico. Muestra es de 1-3 kg por metro muestreado, en ángulo recto respecto al espesor de la unidad muestreada. Los fragmentos de roca deben extraerse de forma homogénea en el tramo muestreado y en cuanto al tamaño de los fragmentos. Luego se deberá reducir a una muestra más pequeña para su transporte por cuarteo u otra técnica.
- Minerales pesados: Consiste en separar minerales pesados en una batea (ideal plástica, color azul o verde). Muestra debe ser de 2 a 10 kg. de material de menos de 20 mm. Debe ser excavada en trampas naturales en la ribera del río. Materiales pesados se concentran al fondo, mientras que los más livianos son lavados con el agua en la batea. El método sirve para muestreo de elementos nativos o minerales pesados resistentes.
- Otros: Aguas y plantas pueden ser muestreadas. En el primer caso, las concentraciones pueden variar estacionalmente (estaciones secas y húmedas). En el segundo caso, las plantas pueden absorber selectivamente ciertos metales, por lo cual deberá estudiarse qué clase de flora hay en la zona y que elementos puede concentrar para saber si son apropiadas para el estudio.

Guías geológicas: Condiciones geológicas de distinta índole que dan indicios de localización de depósitos minerales.

- Morfológicas: Relacionadas a la geometría de los yacimientos. Los cuerpos concordantes se ubican concordantemente respecto a una capa sedimentaria, piroclástica o colada volcánica. Ej. Mantos de carbón en rocas sedimentarias, plomo-zinc en calizas dolomíticas, formaciones de hierro bandeado. Los cuerpos discordantes se ubican discordantemente respecto a las formaciones de caja. Pueden ser regulares, como los cuerpos vetiformes (ubicados sobre planos de falla), cuerpos de brechas, diatremas o irregulares como los skarns de Cu-Fe o pórfidos cupríferos.
- Litológicas: Los yacimientos se asocian a tipos litológicos y series magmáticas. Ej. rocas ultramáficas y depósitos de cromo y platinoides, volcánicas de la serie calco-alcalina y sulfuros masivos (riolitas en los tipo kuroko en arcos de islas, basaltos toleíticos en los tipo Chipre en zonas de expansión oceánica post-arco), granodioritas-tonalitas a pórfidos cupríferos, granitos peraluminicos a depósitos de estaño, wolframio, Columbita-tantalita, sedimentarias silíceas del precámbrico a formaciones de hierro bandeado, sedimentarias

marinas carbonatadas a depósitos estratiformes de plomo-zinc, ultrabásicas alcalinas a diatremas kimberlíticas.

- Estructurales: Las estructuras extensionales son favorables para las mineralizaciones, porque canalizan la circulación de fluidos mineralizadores y dejan espacios para la precipitación de las masas de mineral. Pueden ser fallas directas, zonas de falla directa en una superficie de falla o zonas extensionales dentro de una zona de cizalla. En las cavidades generadas en las zonas extensionales se puede generar brechificación por colapso de las paredes, resultando en mezcla de roca estéril y mena. En el caso de las zonas de cizalla, si se sigue el análisis de Riedel (1929), las zonas extensionales se orientarán en la dirección del esfuerzo principal (tanto en cizallas dextrales como sinistrales). Para saber si una falla es directa o normal se debe utilizar indicadores cinemáticos en la falla, como las estrías de falla o los escalones de falla. En los escalones, si se hace un perfil imaginario perpendicular a los escalones la dirección en que se descendería por el perfil es la dirección de desplazamiento del bloque superficial.
- Mineralógicas: Hay dos tipos de guías mineralógicas, unas relacionadas a los procesos de alteración hidrotermal y otra derivada de la formación de gossans, ambas útiles herramientas de exploración.
 - Alteración hidrotermal: Acompaña a todos los yacimientos hidrotermales. Rocas con minerales primarios serán más fáciles de alterar que rocas con minerales secundarios (ej. lutitas con arcillas). Los tipos son: potásica (feldespato potásico+biotita), fílica (cuarzo+sericita), argílica intermedia (Montmorillonita) o avanzada (caolinita+alunita), silicificación (grado extremo de alteración: residuo silíceo, difiere texturalmente de rellenos de cuarzo o sílice microcristalina). Los pórfidos cupríferos presentan zonación: núcleo de alteración potásica, grada hacia fílica y propilítica; argílica entre las dos últimas. Zona propilítica presenta colores verdes, argílica colores blancos. Zonas de mena se encuentran en torno al núcleo potásico. Marginalmente hay zonas de pirita. En cuerpos ultramáficos, el tipo de alteración hidrotermal se denomina serpentización. Minerales ferromagnesianos como piroxeno u olivino se convierten en serpentina.
 - Alteración supergénica: Los procesos de oxidación de los yacimientos hidrotermales suelen dar coloraciones desde rojos intensos hasta amarillos, representando todo el espectro de limonitas desde goethita hasta jarosita. Capas de minerales oxidados pueden indicar un yacimiento que sufrió procesos supergénicos que oxidaron su parte superior habiendo migrado hacia el límite superior del acuífero donde se redujeron y depositaron en una capa enriquecida con menas del metal reducido, aumentando la ley. Procesos supergénicos pueden generar ácido sulfúrico, que reaccionara con el feldespato residual o la sericita dando caolinita+alunita, que podría malinterpretarse como una alteración argílica, por lo cual las alteraciones se deben mapear como son, hasta tener mayor conocimiento geológico.

Perforaciones:

- Tipos: Los tipos de perforación más comunes son roto-percusiva de circulación inversa y con recuperación de testigo. La relación de costos es 1m.de perforación con recuperación de testigo por cada 4 m. de perforación de circulación inversa. La decisión de utilizar una u otra técnica de perforación recae en velocidad, costo, calidad y volumen de muestra requerido. La circulación inversa es más una herramienta de muestreo geoquímico que una herramienta de reconocimiento geológico, como la perforación con recuperación de testigos.
 - Roto-percusión estándar (DTH): Diámetro hasta 20 cm. Profundidad: Hasta 200 m. Avance: 100 a 150 m. en 8 hs. (dependiendo tipo de roca.) Costo: Bajo. Desventajas: Contaminación de muestras.
 - Recuperación de testigo (DDH): Diámetro: 2,17 a 6,35 cm. (más comunes). Profundidad: Hasta 1000 m. (o más). Avance: 10 m. por hora. (cuando se llena el tubo de testigo hay que subirlo y vaciarlo, por este motivo es más lento; se puede solucionar con un sistema que permite recuperar testigo sin sacar todo el varillaje, pero el diámetro es más pequeño.) Costo: USD 100 por metro. Ventajas: Gran información geológica. Requiere fuente de agua cercana.
 - Aire reverso (RC): Profundidad: Baja. Recuperación de cuttings a través de sistema de pared doble (evita contaminación de muestras). En algunos casos se pueden recuperar testigos. Avance: 40 m. por hora aprox.

- Preparación: Antes de empezar con la perforación se debe mapear la superficie alrededor del pozo (1:1.000 o mayor) y realizar un perfil geológico sobre la línea de perforación (debería ser capaz de revelar relieves de 1 m. por lo cual quizás sea necesario relevamiento topográfico.) Posteriormente se proyecta el pozo a perforar sobre el perfil, junto a la geología superficial, datos geoquímicos y geofísicos. Se deberá clavar una estaca y medir la posición de la forma más exacta posible en el punto de perforación. Una zona plana se despejará de 15 a 20 m. de lado y se excavará la pileta de retorno de agua. El rumbo de la perforación se marca en el terreno con dos señales al frente y detrás de la maquina a unos metros de distancia, de forma que sean visibles al operador y este las entienda. Antes de empezar a perforar se chequea el rumbo y la inclinación con la brújula.

- Orientación: El pozo se orienta horizontalmente por su rumbo y su inclinación. El plano vertical sobre el que se perfora el pozo se denomina sección. La línea imaginaria que pasa a lo largo del centro del testigo se denomina eje del testigo. Generalmente se producen desviaciones en rumbo e inclinación. Pueden ser medidas descendiendo cámaras con instrumentos de medición en el pozo. Estos estudios permitirán conocer la orientación (rumbo e inclinación) del eje del testigo en cada parte del pozo. Estos estudios se realizan a profundidades mayores a 50 m. por lo general. Para orientar el testigo se le hace un punto de orientación conocida en relación al eje antes de liberar el testigo de la roca, que a la vez servirá para dividir el testigo en dos partes en caso de que sean requeridos análisis químicos sobre el mismo. Pueden hacerse relaciones con estructuras de orientación conocida en ciertos casos donde el procedimiento no se pueda llevar a cabo en su totalidad o como control del mismo, si es que se puede asumir que la orientación de las

estructuras empleadas es constante. En este sentido, los clivajes son más efectivos que la estratificación.

- Blanco: La perforación debe intersectar los bordes del cuerpo a un ángulo lo más cercano a 90° que sea posible. Si el cuerpo es tabular y está inclinado, lo ideal es una perforación con dirección de inclinación opuesta a la dirección de inclinación del mismo. Si la inclinación no se conoce (anomalías en zonas de afloramiento pobre), se deberán realizar al menos dos perforaciones con inclinaciones opuestas para encontrar el borde del cuerpo. En cuerpos horizontales (placeres, zonas de enriquecimiento supergénico, etc.) las perforaciones deberán ser verticales. En las etapas iniciales de exploración se apunta a determinar leyes, no tonelajes. Intersectado el cuerpo, se realizarán perforaciones alejadas del punto de intersección a distancias regulares (40 o 50 m.), para determinar extensión de la mineralización, sobre la línea de rumbo, esperando encontrar el yacimiento a la misma altura. Una vez que se estableció la extensión a lo largo del rumbo se pueden planear pozos más profundos a lo largo de las secciones (planos verticales que pasan por las perforaciones anteriormente efectuadas). Si la orientación del cuerpo que se desea intersectar no se conoce, puede ser resuelta utilizando tres perforaciones que intersecten el cuerpo, a través del problema de los tres puntos.

- Logueo:
 - Testigos: Se miden intervalos regulares, calculando el porcentaje de recuperación por tramo (generalmente 1,5 m.) Debe ser superior a 90% para considerarse representativo de la roca perforada (zonas alteradas o mineralizadas pueden ser algo friables y perderse en la perforación). El logueo se realiza de forma expeditiva en el sitio de perforación a medida que salen los testigos y luego de forma detallada en el campamento o base. Al terminar el logueo se fotografían y se cortan por la mitad para enviarlos a análisis. La marca es el punto de orientación, si el testigo está orientado. En etapas iniciales de exploración se puede loguear de forma gráfica, en columnas que permitan representar en perfil (1:100 o similar) distintas características (alteración, litología, venillas, estructura, etc.) Algunas columnas pueden llevar información escrita (datos que no se puedan representar gráficamente). Datos relativos a la frecuencia de una característica en el pozo pueden representarse gráficamente en un histograma. El ángulo entre el plano de las estructuras y el eje del testigo se puede representar gráficamente.
 - Cuttings: En etapas más avanzadas de la exploración en las cuales se tenga mayor conocimiento geológico de la zona, se deberá usar un tipo de logueo más simple y rápido, por intervalos, sin representación gráfica y con categorías de información estandarizada. Este tipo de logueo es ideal para ingresar datos en bases de datos digitales de forma regular. Al mapear por intervalos, es difícil registrar cambios graduales. Se utilizan abreviaturas y escalas numéricas. Las muestras se toman cada 1 o 2 m. de avance, son extraídas del ciclón y embolsadas separadamente en el sitio. Al lavarlas y pasarlas por un tamiz se pueden examinar fragmentos rocosos con lupa o microscopio binocular. Fragmentos grandes pueden ser

representativos de la porción más resistente del intervalo. Fragmentos pueden pegarse en un tablero para tener representación visual del conjunto. Las características a describir son textura, color, tamaño de grano, porcentaje de cuarzo o sulfuros, grado y tipo de alteración, grado de oxidación, nombre de roca. La cantidad de finos lavados es importante: 50% de fragmentos de venas cuarzosas en fracción gruesa de la cual se lavaron 50% de finos significará un 25% de venas en el total de la muestra. En el caso de sospechas de pérdida de material el material debe ser pesado y su peso registrado en el log (si el peso es distinto al peso estándar, los análisis químicos del tramo deben ser tomados con precaución). El peso por intervalo puede ser de 25 a 30 kg. Las muestras deben ser reducidas por cualquier método, ej. splitter que se pueda limpiar con línea de aire comprimido sacada de la máquina después de cada operación de reducción.

Trincheras: Empleadas para exponer roca madre bajo cobertura superficial. Útiles para complementar perforaciones de circulación inversa, donde los datos estructurales provenientes del mapeo de trincheras complementarán la información litológica obtenida de los cuttings. Pueden ser excavadas con retroexcavadoras, excavadoras normales, topadoras o a mano en algunos casos. Excavadoras son más baratas, más rápidas y menos nocivas ambientalmente que las topadoras. Trincheras a lo largo de curvas de nivel causan menos impacto ambiental que las excavadas a lo largo de la pendiente (pueden canalizar volúmenes pluviales y generar erosión). Para mapear trincheras se miden intervalos de 2 m. a lo largo de las mismas (si el piso está inclinado se corrige por relaciones trigonométricas el equivalente inclinado a 2 m. planos). Las escalas de mapeo son de 1:50 a 1:500. Si la trinchera es profunda se puede hacer tanto un mapa en planta como un perfil. Los rumbos de las estructuras que intersectan las paredes se miden sobre la línea que une las intersecciones. Para tomar muestras se hacen canales de muestreo, a lo largo del espesor real de la mineralización.

Tipos de exploración:

- **Greenfield:** Basado en mediciones geofísicas y geoquímicas sistemáticas. Conduce a la generación de muchos prospectos, de los cuales varios serán descartados. Frecuente en regiones de escaso conocimiento geológico, donde no existan minas o prospectos.
- **Brownfield:** Basado en aplicar teorías de procesos formadores de yacimientos a la geología y mineralizaciones conocidas de la región. Conducirá a un menor número de prospectos, de mejor calidad, de los cuales un menor número quedará descartado. Frecuente en distritos mineros bien conocidos.

Reservas:

- **Clasificación:** Actualmente se utiliza el código JORC (Australasian Joint Ore Reserves Committee, 2003) como modelo para clasificar recursos y reservas, con las debidas modificaciones, para reflejar condiciones y sistemas regulatorios locales. Las categorías a grandes rasgos son reservas y recursos, subdivididos para reflejar diferentes niveles de confianza. El código no regula como deben hacerse las estimaciones, ni cuantifica la

cantidad de datos necesarios para cada categoría. Estas decisiones son tomadas por una persona competente, contratada por una empresa.

- Recursos: Concentración de material de interés económico en tal forma y cantidad que los hace prospectos para eventual extracción económica. Las características (cantidad, ley, etc.) del recurso son conocidas, estimadas o interpretadas por una persona competente.
- Reservas: Parte económicamente explotable de un recurso medido o indicado (indicado implica evidencia). Incluyen materiales diluyentes y perdidas por extracción. Se evalúan durante los estudios de factibilidad. La evaluación muestra que al momento del informe son explotables.

En etapas iniciales se puede asignar una ley de corte para definir límites de mineralización, que será cuidadosamente calculada más tarde de modelos mineros, costos metalúrgicos y datos de mercado. Luego de establecer la ley de corte se puede empezar a evaluar recursos y será responsabilidad de los geólogos garantizar que los muestreos se producen correctamente. En base a la ley de corte se definirá un tonelaje y se hará un programa de extracción de bloques. El programa estará afectado por topografía, elevación, minerales, características físicas, distribución tonelaje-leyes, costos operativos asociados a explotación, procesado, etc.

- Evaluación: Para calcular las reservas o tonelaje a cierta ley de corte se deberá establecer áreas de influencia para las muestras donde se tengan valores de leyes. Hay varias posibilidades para esto: Calcular la media de una serie de valores que de un valor promedio para una zona geológicamente definida (la varianza es una medida del error de estimación, las muestras deben ser aleatorias), utilizar métodos gráficos (polígonos, triángulos, grillas que encasillen muestras de forma aleatoria, etc.); isoclinas (interpolación lineal), inversa de la distancia al cuadrado o variogramas y técnicas de interpolación como kriging. Este método asigna un peso en base al variograma a las muestras que rodean el punto a determinar y las combina linealmente para determinar el valor en el punto. Las muestras que se toman juntas tienen características similares (ej. espesor y ley), pero a medida que la distancia incrementa la similaridad o grado de correlación decrece hasta que, a cierta distancia, no habrá más correlación entre las muestras. Los métodos geoestadísticos cuantifican esta variabilidad dentro de un depósito y lo representan por medio de un semi-variograma. La variación es por definición la diferencia cuadrada promedio entre las muestras a una distancia h :

$$\gamma(h) = \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} (z_{(i)} - z_{(i+h)})^2}{2n}$$

Donde “ γ ” es la variación, “ z ” es la característica que se evalúa (ej. ley), “ i ” es la posición de una muestra, “ $(i+h)$ ” la posición de la otra muestra, a distancia “ h ” y “ n ” el número de pares usados en el cálculo. La diferencia de cada par de muestras a distancia h se calcula y eleva al cuadrado, luego se suman los valores calculados y se divide en el número de pares. El semi-variograma empieza en 0. A separación 0 ($h = 0$) no hay variación. La variabilidad aumenta con la separación (h), lo cual se evidencia en el semi-variograma

como una alta tasa de cambio en la variabilidad. En cierto punto la tasa de cambio disminuye hasta que no hay más cambio en la variabilidad. Este punto es el rango (a) del semi-variograma. A partir de esta distancia, las muestras no presentan ninguna correlación. El método permite estimar el error, lo cual representa una ventaja frente a métodos más convencionales. En todo caso, las zonas debajo de la ley de corte deberán ser excluidas y los tonelajes comprendidos en la zona por encima de la ley de corte calculados. Para esto se requerirán también datos de densidad, probablemente deban ser promediados, interpolados o algo similar. En los softwares se emplean modelos de bloques, donde cada bloque tendrá asignados valores de densidad, volumen, ley, etc. utilizando los métodos antes descriptos.

- Leyes: Los resultados de los análisis de testigos o cuttings se darán en intervalos menores que la altura del frente que se explota, por lo cual la ley deberá ser calculada componiendo varias muestras en tramos de perforación que coincidan con el frente (ley media ponderada). Para conseguir esto se suman los productos de la longitud de cada tramo muestreado por su ley y se divide en la longitud del tramo a componer. Si las densidades en los tramos son muy distintas se incluye la densidad en el producto y se divide por la sumatoria de las longitudes por las densidades. Para componer una ley de un depósito evaluado por áreas de influencia de muestras obtenidas por cualquier método se puede relacionar la sumatoria del producto de las áreas y sus leyes a la sumatoria de las áreas.

Métodos de explotación:

- Corte y relleno: Material es arrancado por franjas horizontales, empezando por la parte inferior de un tajo y avanzando hacia arriba. El material es arrancado en su totalidad completando la franja, que luego se rellena con material estéril que sirve de sostén para los hastiales y de plataforma de trabajo para explotar la siguiente franja.
- Cámaras y pilares: La excavación se realiza dejando pilares para sostener el techo, que pueden coincidir con sectores de baja ley. Dimensiones de la cámara y de los pilares dependen de la resistencia del material. Los pilares se disponen generalmente en forma regular.
- Realce por subniveles: El material se extrae dejando un tajo grande en dirección vertical (solo yacimientos verticales fuertemente inclinados). Para impedir derrumbamiento de las paredes del tajo se dividen los criaderos más grandes en tajos separados más pequeños que actúan como pilares.
- Hundimiento de bloques: El material es fracturado por tensiones internas y gravedad, siendo socavado horizontalmente en su parte inferior para que el bloque superior se fracture por colapso y luego sea extraído por el acceso horizontal.
- Canteras: Esquema de bancos y bermas, los materiales no requieren concentración posterior. Pasan por procesos de selección, trituración, molienda, etc.
- Descubiertas: Labores bidimensionales que se utilizan en yacimientos

(*) Alumbraera se explota a cielo abierto con bancos de 17 m. de altura, ángulo aprox. 17°. Farallón Negro se explota a través de corte y relleno. Cerrito y Doña Amalia a cielo abierto, por banqueo. Yeso de recreo se explota extrayendo con palas cargadoras.

Control de mineral: Durante la explotación se loguean pozos, se hace mapeo geológico de bancos, se hace muestreo para geoquímica, etc. para actualizar el modelo de bloques con los resultados de muestreo y logueo. La información de control de mineral está en consonancia con las áreas modelamiento geológico y estimación de recursos. El área control de mineral asegura destino y control de dilución en el campo (mezcla adecuada de mineral para llevar a chancadora).

Tratamiento de minerales:

- Tipos de tratamiento:
 - Físico: Triturado, Molienda, Centrifugado, Decantado, Disolución, Destilación, Secado, Precipitación Física, Flotación, Filtrado.
 - Químico: Tostación, Oxidación, Electrólisis, Reducción, Hidrólisis, Lixiviación (reacciones ácido-base), Precipitación Química, Electrodeposición, Cianuración.

- Otra clasificación (sobre químicos):
 - Pirometalúrgicos: Secado, calcinación, tostación de menas de sulfuros, aglomeración, sinterización de menas de óxidos y sulfuros, reducción de óxidos metálicos, refinación de metal.
 - Hidrometalúrgicos: Lixiviación, intercambio iónico, extracción por disolventes. Ej. precipitación de aluminio, cianuración de oro, lixiviación por ácido sulfúrico de uranio.
 - Electrometalúrgicos: Beneficio o refinación por electrólisis.

- Algunos tratamientos descriptos:
 - Secado: Proceso que elimina agua contenida en las sustancias por evaporación.
 - Calcinación: Proceso que elimina agua y dióxido de carbono enlazados químicamente a la sustancia. El producto obtenido es un óxido.
 - Tostación: Oxidación de sulfuros metálicos (Ej. sulfuros de cobre, zinc, plomo) para producir óxidos metálicos y dióxido de azufre.
 - Aglomeración: Proceso en que materiales de granulometría fina se transforman en terrones más gruesos. (Ej.: Briquetizado, Sinterización, Peletización, Nodulización).
 - Lixiviación: Disolución de metales solubles por acción de un solvente (ej. cianuro, ácido sulfúrico). Para partículas gruesas o de tamaño medio se utilizan montículos o pilas. El solvente se filtra a través de la cama o pila. Para partículas finas se utiliza lixiviación por agitación. La mena se mantiene en suspensión en el disolvente por medio de aire o agitación mecánica.
 - Electrolisis: Dos electrodos se conectan a una fuente de voltaje y se sumergen en una disolución que contiene iones. Los iones positivos migran hacia el cátodo y los negativos hacia el ánodo. Si la diferencia de

potencial o voltaje es lo suficientemente grande, unas especies se oxidarán y otras se reducirán o ganarán electrones.

(*) Alumbreira: Procesa el mineral usando circuitos de trituración, molienda, flotación y concentración gravitacional. El procesamiento produce colas que se encausan a un dique. El concentrado va al mineraloducto. Equipo 4 palas eléctricas, 36 camiones de 220 Tn. 250-300 mil Tn diarias con una ley de corte de 0.22 gr/Tn. Farallón Negro: Mineral se retira con palas cargadoras de bajo perfil (LHD). Es trasladado a la planta de beneficio en camiones. El tratamiento de mineral es por lixiviación (mineral de ley baja, lixiviación en pilas) y por agitación (mineral de ley alta, cianuración por agitación). El circuito consiste en trituración primaria, secundaria, silos de almacenamiento, molienda (molinos de bolas, en húmedo, con cianuro y cal), agitadores, espesadores, precipitación, fundición (aleación metálica que se envía a refinamiento). Cerrito: Material se extrae y se somete a calcinación para obtener cal. Doña Amalia: Material se extrae, se muele y se procesa para cemento. Yeso de recreo: Se tritura y zarandea para remover material arcilloso.

Canteras: Las canteras pueden ser privadas cuando nacen y mueren en una misma propiedad o de lo contrario, fiscales. La cubicación se realiza de la forma típica a través del producto entre el volumen obtenido para una forma aproximada de la geometría de la cantera y las densidades obtenidas en laboratorio.

- **Áridos:** Material pétreo subdividido natural o artificialmente, que actúa como material inerte en mortero y hormigón. El material suelto o roca, luego de cierto tratamiento (puede involucrar trituración, tamizado, zarandeo, lavado, etc.) puede ser empleado en la construcción. La explotación se realiza a cielo abierto en canteras o graveras. Los áridos pueden ser naturales cuando proceden de meteorización y erosión de roca (según su origen pueden ser eluviales in-situ, coluviales de ladera, aluviales de río, eólicos, marinos de costa) o artificiales que proceden de disgregación de macizos rocosos por explosivos y trituración. El tamaño puede ser arena (1-5 mm), grava (5-20 mm) o canto (>20 mm) en el caso de los naturales o tener un mayor rango de tamaños en el caso de artificiales. Materiales desfavorables son limos, arcillas, materia orgánica, micas, minerales fácilmente meteorizables. Al ser sustancias de tercera categoría, son propiedad del titular de la propiedad superficial en el caso de ser privadas. En cuanto a su ubicación pueden ser secas (abanicos, conos, dunas, deslizamientos, etc.) o húmedas cuando están dentro de la línea de ribera del río. Para extracción de canteras húmedas se debe demarcar el área de extracción colocando mojones en tierra firme (Ley 4532, Art. 32), ubicando la cantera a 70-150 m. de cualquier obra existente (Ley 4532, Art. 48), dejar en forma de barrera un mínimo de 3 a 5 m. hacia la ribera o terraza sin extracción. La explotación debe progresar en sentido contrario a la corriente, tomando como eje el centro explotable del cauce, en franjas paralelas a dicho eje. La pendiente se debe mantener constante a medida que se explota. Los ensayos requeridos son granulométricos y de densidad.
- **Rocas ornamentales:** Roca que admite aserrado en planchas y pulido. Los requisitos son que la roca no este meteorizada o fracturada. Al pasar la zona de meteorización la calidad de los bloques aumenta. La extracción consiste en arranque (mediante cuñas, barrenos, hilo helicoidal que es el método ideal porque no genera desperdicios ni daña los bloques), labrado (en bloques), corte (espesores de 1,5 a 3 cm.) y pulido (con discos rotativos). Las rocas extraídas pueden ser granitos, tonalitas, sienitas, gabros o peridotitas, o calcáreos

(travertinos, mármol, ónix, etc.) Para evaluar yacimientos de rocas ornamentales se debe ver las condiciones del afloramiento, la estructura, el color y la textura, el grado de alteración, hacer pulidos en muestras, chequear accesos, disponibilidad de agua y energía. El estado legal de los sitios también debe ser consultado. La exploración requiere mapeo topográfico escala 1:100 a 1:500, mapeo geológico, análisis petrográfico y estructural (revelando zonas de fracturación alta y baja). El muestreo debe ser a más de 50 cm de profundidad, usando explosivos de baja velocidad o martillo neumático. Los trabajos de gabinete consisten en pulidos, cortes petrográficos (análisis del grado de alteración de la roca), ensayos de peso específico, resistencia, etc., cálculo de reservas y porcentaje de recuperación. A la hora de la explotación puede ser necesario remover la cubierta con voladuras para crear los primeros frentes. El flujo del material es bloque (2,5x1,25x1,20), transporte a aserradero, placas o baldosas, venta. La explotación se realiza en bancos horizontales cuya altura e inclinación dependerán de las características del material.

- Calizas o yeso: Cuando el material es extraído para fabricación de cal, cemento o fertilizantes se extrae con voladuras o palas mecánicas; luego es triturado, zarandeado, cribado o llevado a calcinación. La explotación es por bancos horizontales, a cielo abierto.

Arcillas: Las masas caoliníferas pueden ser tipo primarias o secundarias, según el material se haya meteorizado o alterado hidrotermalmente in-situ o haya sido transportado hacia el lugar de deposición. Los primarios residuales (productos de meteorización) son los yacimientos más comunes. Los depósitos primarios hidrotermales se forman por circulación de fluidos en rocas con cierta porosidad de cualquier índole (ej. Cornwall, Inglaterra; granitos carboníferos afectados por fluidos hidrotermales post-hercínicos). Los yacimientos secundarios se forman en ambiente lacustre, en planicies aluviales de desbordamiento o ambientes marino-pelágicos. En situaciones extremas, las arcillas formadas durante la meteorización pueden lavarse del perfil y acumularse debajo de una capa bauxítica. Las bauxitas a su vez pueden ser resiliatadas por circulación de aguas superficiales con trazas de sílice. Los depósitos de caolinita se explotan por métodos convencionales a cielo abierto. El depósito debe tener cierta concentración para que su extracción sea rentable. El tamaño de grano máximo debe ser de unos 20 μm . Por ello debe realizarse un estudio mineralógico para definir sus aplicaciones y el tratamiento que requiere (vía seca por secado, molienda y clasificación por aire; vía húmeda por centrifugación, hidrociclado, reducción de partículas gruesas, incremento de blancura por tratamientos químicos, separación magnética, flotación selectiva, etc.) En cuanto a las bentonitas o arcillas esmectíticas los depósitos más comunes se forman a partir de la meteorización in-situ de cenizas o tobas volcánicas, bajo láminas de agua. La alteración consiste en una desvitrificación de la ceniza y cristalización de esmectita. Estas arcillas son las usadas en los lodos de perforación. El tratamiento de las bentonitas consiste en secado al aire libre (para reducir acarreo y costos de secado final), trituración, molienda, secado en horno a distintas temperaturas de acuerdo al uso al que se destinan. La forma de estudiar este tipo de arcillas es mediante difracción de rayos X o microscopios de barrido electrónico.

Evaporíticos: Los depósitos evaporíticos de mayor interés por su potencia son los salares. En los salitrales y las salinas no se generan depósitos de interés, más que para la extracción de sales sódicas. Los salares son ambientes propicios para la formación de salmueras residuales con litio y magnesio. La forma convencional de explotación del litio consiste en la perforación y el bombeo de las salmueras. Luego se lleva a piletas de evaporación donde se concentran las sales por cristalización fraccionada. El porcentaje de litio es llevado a 6% en el concentrado obtenido. En las

plantas de procesamiento se separa carbonato de litio con una concentración mínima de 99,1% para su comercialización.

Carbón: Roca sedimentaria orgánica. Rica en carbono. Sustancia carbonosa unida a componentes inorgánicos. Estos se evalúan por medio de rayos X (carbón es transparente a esos rayos). Componentes: Carbono fijo (componente mayor), cenizas (arcillas y sílice coloidal), volátiles (Hidrocarburos, SO_x , NH_3 , CO_x , etc.), humedad (absorbida, higroscópica). El contenido de cenizas rebaja poder calorífico. Contenido de azufre debe ser controlado por cuestiones ambientales. Los volátiles son fundentes durante la coquificación, proceso de quemado para material destinado a industria metalúrgica. El mejor carbón para producción de coque es la hulla. Los depósitos de carbón en el hemisferio sur se empezaron a formar en el pérmico. Los ambientes más propicios para su formación son marismas saladas o salobres, zonas pantanosas, ciénagas, lagos. Los ambientes deltáicos son los más favorables. Secuencias se constituyen por capas de carbón y material arcilloso o arenoso, metamórficas como esquistos o pizarras. Paleoclima más favorable es el tropical. Yacimientos pueden ser autóctonos (depositados in-situ, más irregulares, ricos en ceniza, techo y piso empobrecidos, capa enriquecida intermedia) o alóctonos (transportados, lenticulares pequeños, muy buena calidad, límites netos). El carbón a profundidades mayores a 50 metros es por lo general explotado por métodos subterráneos, mientras que a profundidades menores se explota superficialmente. Los métodos superficiales consiguen mayores niveles de recuperación. Generalmente se explota por fajas, usando voladuras para extraer la cobertura, cuyo material sirve para rellenado luego de la extracción de carbón. Las minas más comunes son las subterráneas, que generalmente se explotan por cámaras y pilares, con minería de retirada, utilizando techos hidráulicos al retirar los pilares.

Petróleo: El petróleo es una mezcla viscosa de hidrocarburos, color marrón o negro. Es un recurso natural no renovable asociado a cuencas sedimentarias. El proceso de catagénesis es el proceso de conversión de la materia orgánica en hidrocarburos cada vez más ligeros, que ascienden a superficie por diferencia de densidad, circulando por el medio poroso. Los factores que involucra son ausencia de aire, restos de plantas y animales, gran presión y altas temperaturas (5 km. de profundidad, T 150°C aprox.), acción de bacterias. La prospección del petróleo se basa en la búsqueda de cuencas sedimentarias en las que se haya acumulado gran cantidad de materia orgánica, con formaciones porosas a las que pueda haber migrado el petróleo una vez generado y trampas que hayan sellado la concentración de petróleo. Las trampas pueden ser estratigráficas (ej. capas superiores impermeables, cambios laterales de facies o discordancias) o estructurales (generadas por tectónica, ej. anticlinales o fallas). El sello consiste en entrar en contacto formaciones permeables por las que pueden circular los hidrocarburos e impermeables por las cuales no pueden circular. En casos de presiones extremas, los hidrocarburos se pueden impregnar en una formación impermeable (ej. lutitas bituminosas o shale oil). La exploración consiste en aplicación de métodos variados como mapeos geológicos regionales de superficie y subsuelo, métodos geofísicos varios como gravimetría (geometría de cuencas sedimentarias) o métodos eléctricos (perfilajes de pozos, SEV), pero sobre todo métodos sísmicos por su grado de penetración en profundidad (especialmente sísmica de reflexión). La explotación se efectúa a través de bombeos en pozos de gran profundidad. La perforación de los pozos utiliza métodos rotatorios con lodos bentoníticos como fluidos de perforación. Los pozos se perfilan por distintos métodos y se intuban antes de ser productivos. Métodos alternativos de explotación en lutitas bituminosas utilizan fracturación hidráulica de la roca para generar canales permeables a los que drenen los hidrocarburos. El agua está mezclada con productos químicos y apuntalantes para

ampliar las fracturas existentes y mantener las fracturas abiertas. Las cuencas petrolíferas y gasíferas en Argentina son: Neuquina (Vaca muerta, Lajas, Mulichinco), Cuyana, Noroeste, Austral, Chaco-Paranense y el Golfo San Jorge.

Otros tipos de energía:

- **Hidráulica:** Producida por el agua retenida en embalses o pantanos a gran altura. Al caer a un nivel inferior acciona la turbina de un generador produciendo energía eléctrica. La exploración se lleva a cabo a través del estudio hidrogeológico del comportamiento de las aguas superficiales, valorando los resultados para determinar parámetros hidráulicos y condiciones óptimas de explotación. La explotación se lleva a cabo en centrales hidroeléctricas de caída o de pasada. Las centrales importantes de Argentina son El Chocón (Neuquén y Río Negro), Planicie Banderita (Neuquén), Futaleufú (Chubut), Salto Grande (Río Uruguay), Yaciretá (Río Paraná).
- **Geotérmica:** Aprovecha el calor generado por la tierra a través de volcanes, géiseres, aguas termales en zonas geológicamente recientes. El suelo se perfora para captar fluidos y vapores, que moverán turbinas de un generador produciendo energía eléctrica. El agua utilizada es devuelta a la fuente. En Argentina, los sectores con potencial para generación de energía geotermal son los campos termales Copahue – Caviahue y Domuyo (Neuquén), Tuzgle – Tocomar (Jujuy) y Valle del Cura (San Juan). Esta energía está apoyada por la Ley N° 26190 (Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica).
- **Mareomotriz:** Obtenida a través de energías cinética y potencial de las mareas, se aprovecha la energía liberada por el agua de mar en sus movimientos de ascenso y descenso. Los generadores que aprovechan la energía cinética de las mareas tienen menor impacto ecológico que las presas de manera (diques a lo ancho de un estuario) que aprovechan la energía mareomotriz haciendo subir el nivel del mar y son menos costosos. Funcionan con turbinas y alternadores, de forma similar a los otros métodos.
- **Solar:** La energía solar se aprovecha a través de paneles fotovoltaicos. Los sitios más favorables para la instalación de plantas de energía solar son los de latitudes bajas, donde hay mayor insolación. La radiación solar puede calcularse utilizando modelos de elevación y ciertos parámetros atmosféricos. Ejemplos de plantas solares fotovoltaicas en Argentina son Ullúm (San Juan) y Hornaditas (Jujuy).
- **Eólica:** La energía eólica se aprovecha a través de turbinas eólicas. El potencial de generación eléctrica de una determinada zona se determina a través de mapas de vectores medios anuales de velocidad y dirección de vientos, junto a la densidad de potencia eólica anual, todos ellos a diferentes alturas en la atmósfera (ej. 30, 60, 80, 100 m.) La potencia eólica es la capacidad en kilowatts por hora que generaría determinada zona si tuviese un parque eólico, o sea las sumas de las potencias eólicas dará una medida de la 'capacidad instalada'. Parques eólicos en Argentina: Diadema (Chubut), Loma Blanca (Chubut), Rawson (Rawson - Chubut), Arauco (Aimogasta - La Rioja), Antonio Morán (Comodoro Rivadavia - Chubut), El Jume (Santiago del Estero).

- **Uranio:** El isótopo de uranio efectivo en las reacciones de fisión en cadena empleadas en plantas de fisión nuclear es el U-235. La abundancia relativa natural de este isótopo es de un 0,71% (este porcentaje representa el isótopo en una masa de uranio determinada, en estado natural). Las menas de uranio más abundantes son uraninita (oxida fácilmente a guma o pechblenda, mezclas de óxidos hidratados de uranio), cofinita (polvo fino negro, uranio acompañado por material orgánico) y brannerita. Los yacimientos de mayor ley son los estratiformes (epigenéticos) e hidrotermales (singenéticos). En los estratiformes el uranio se oxida y es transportado en soluciones a través de areniscas, siendo reducido u adsorbido por eventuales paquetes arcillosos o de alto contenido orgánico (ej. en techo o muro de una formación arenosa). Se explora mediante detectores de radiación gama, que detectan directamente presencia de Bi-214, K-40, Tl-203 (de los cuales Bi-214 forma parte de la serie de desintegración radiactiva del uranio) y conteo global de radiación gama (se puede elegir la frecuencia de las lecturas del espectrómetro). En superficie se emplean emanómetros (monitores de gas radón) o espectrómetros de campo. También es posible llevar detectores gama o contadores geiger a un perfilaje de pozos en etapas más avanzadas de la exploración. La intubación de los pozos no afecta la medición. Para explotar el uranio se utilizan los métodos usuales (métodos menos convencionales utilizan lixiviación in-situ y extracción por bombeo). Al extraer el material se lo tritura y se lo somete a lixiviación estática y dinámica. La pulpa resultante tiene 90% de U_3O_8 (yellow cake). En el refinamiento se enriquece el material en U-235 de 0,71% a 5% (por difusión y concentración gaseosa de UF_6 , basada en las diferencias de masa de los isótopos U-238 y U-235). El producto final es un material cerámico de UO_2 de tamaño uniforme que se introduce en barras de aleaciones muy resistentes (ej. con circonio) para utilizarse en reactores.

(*) La capacidad de generación eléctrica es de 723,2 mil millones de kWh (2014), de los cuales 65,3% proviene de combustibles fósiles (25% de carbón), 6,8% de combustibles nucleares, 18,7% de plantas hidroeléctricas y 9,2% de otras fuentes renovables.

Yacimientos del mundo:

- **Oro:** Aprox. 350 minas en el mundo. Minas de mayor producción (Reuters y Mine Economy, 2015):
 - **Grasberg:** Papúa, Indonesia. Freeport-McMoRan. Producción: 1.230.000 oz. Cielo abierto y subterránea.
 - **Glodstrike:** Nevada, USA. Barrick. Producción: 1.050.000 oz. Cielo abierto (Betze-Post) y subterránea (Meikle y Rodeo).
 - **Cortez:** Nevada, USA. Barrick. Producción: 999.000 oz. Cielo abierto y subterránea.
 - **Pueblo Viejo:** República Dominicana. Barrick-Goldcorp. Producción: 953.000 oz. Cielo abierto.
 - **Yanacocha:** Cajamarca, Perú. Newmont Mining-Buenaventura. Producción: 918.000 oz. Cielo abierto.
 - **Carlin:** Nevada, USA. Newmont Mining. Producción: 886.000 oz. Cielo abierto.
 - **Lihir:** Nueva Irlanda, Papúa-Nueva Guinea. Lihir Gold Limited-Newcrest. Producción: 805.000 oz.

- Boddington: Perth, Australia. Newmont Mining. Producción: 794.000 oz. Cielo abierto.
 - Olimpiada: Rusia. Polyus Gold. Producción: 726.000 oz. Cielo abierto.
 - Kalgoorlie: Kalgoorlie, Australia. Barrick-Newmont Mining. Producción: 640.000 oz. Cielo abierto.

- Hierro:
 - Carajás: Pará, Brasil (Amazonas). Vale. Producción: 119.700.000 toneladas anuales (2014).
 - Los Colorados: Atacama, Chile. CAP Minería. Producción: 89.000.000 t anuales.
 - Pilbara, Australia: Región que concentra un 80% de los recursos de hierro identificados de Australia. En su mayoría, los yacimientos (más de 35) pertenecen a Río Tinto y BHP Billiton. La región produjo 260.000.000 t en 2009.
 - Kiruna: Kiruna, Suecia. Luossavaara-Kiirunavaara AB. Producción: 26.000.000 toneladas anuales.
 - Sishen: Cabo, Sudáfrica. Kumba Iron Ore Limited. Producción: 30.900.000 toneladas anuales (2013). La producción declino posterior a 2013.

- Cobre:
 - La Escondida: Chile. BHP Billiton. Producción: 1.200.000 toneladas (actual).
 - Cerro Verde: Perú. Freeport McMoRan. Producción: 272.172 toneladas anuales.
 - Collahuasi: Chile. Collahuasi (Anglo American-Glencore). Producción: 455.320 toneladas (2015).
 - Las Bambas: Perú. MMG. Producción: Superior a 400.000 toneladas anuales.
 - Antamina: Perú. BHP Billiton-Glencore-Teck-Mitsubishi Corporation. Producción: 450.000 toneladas (2013). Yacimiento polimetálico.
 - Grasberg: Indonesia. Freeport-McMoRan. Producción: 610.800.000 toneladas (2006). Produce además oro y plata.
 - El Teniente: Sewell, Chile. CODELCO. Producción: 471.000 toneladas (2015).
 - Chuquibambilla: Chile. CODELCO. Producción: 528.377 toneladas anuales (2010). Produce molibdeno.
 - Olimpico Dam: Australia. BHP Billiton. 220.000 toneladas (2005).

- Aluminio: Gove (Australia). Rio Tinto. Producción: 8.200.000 toneladas anuales. Weipa (Australia). Producción: 16.200.000 toneladas anuales. Darling Range (Australia). BHP Billiton-Worsley Alumina. Producción: 12.000.000 anuales. Alcoa Australia Ltd. produce 32.000.000 anuales en dos minas en Australia, Huntly y Willowdale. En India, NALCO (empresa pública) produjo 4.878.000 toneladas en Panchpatmali. En Guinea, Halco (Alcoa-Río Tinto Alcan) tiene una producción anual de entre 11,5 y 12,5 millones de toneladas. Paragominas (Pará, Brasil). CVRD. 5.400.000 toneladas anuales. Guayana (Venezuela). CVG. Producción: 6.000.000 toneladas anuales.

- Uranio:
 - Ranger (Australia). Rio Tinto Group. Producción: 2208 toneladas.
 - Olympic Dam (Australia). BHP Billiton. Producción: 3.144 toneladas (2015). Produce también cobre, oro y plata.
 - Four Mile (Australia). Quasar Resources-Alliance Resources. Producción: 1.615 toneladas (2015).
 - McArthur River (Canadá). Producción anual: 7868 toneladas (2011).
 - Madaouela (Níger) Producción anual: 1.220 toneladas (2016).
 - Rossing (Namibia) 1.822 toneladas anuales.
 - Kraznokamensk (Rusia). Producción: 2.191 toneladas (2011).
 - Tortkuduk (Kazajistán). Producción: 2608 toneladas. Lixiviación in-situ.
 - Budenovskoye 2 (Kazajistán). Producción: 2.175 toneladas (2011). Lixiviación in-situ.
 - South Inkai e Inkai (Kazajistán) producen 3050 toneladas anuales (2011) por lixiviación in-situ.

- Carbón: North Antelope Rocehelle (Wyoming, USA). Peabody Energy. Producción 107.700.000 toneladas anuales. Black Thunder (Wyoming, USA). Producción 92.900.000 toneladas anuales.

- Petróleo: Ghawar (Arabia Saudita). Saudi Aramco. Producción 75.000.000.000 a 83.000.000.000 barriles anuales. Burgan (Kuwait) Producción: 66.000.000.000 a 72.000.000.000 barriles anuales. Costa de Bolivar (Venezuela). Producción: 32.000.000.000 barriles anuales. Cantarell (Mexico). Off-shore. Producción: 35.000.000.000 barriles anuales. Rumailia (Irak). Producción: 20.000.000.000 barriles anuales. Ahwaz (Irán). Producción: 17.000.000.000 barriles anuales. Kirkuk (Irak). Producción: 16.000.000.000.

Demanda actual de minerales:

- Oro: La producción anual global de oro en 2015 fue de 3000 de toneladas métricas (85.000 oz aprox.). La unidad de cotización común es la onza avoirdupois (1 oz = 28,3495 g.) Puede reportarse en onzas troy (1 ozt = 31,10347 g.) El mercado del oro en India es uno de los mercados más grandes del mundo, con 23.000 Tn en manos privadas, en forma de ahorros, sobre todo en la población rural. Kazajistán compró en los últimos 15 años 7.304.499 ozt aprox. para sus reservas. Rusia compro oro para sus reservas por 1.000.000 oz en enero de 2017 y en 2016 compró un total de 5.751.424 ozt (6.120.000.000 USD – cotización actual aprox.). China para el mismo año compró 2.828.974 ozt. Tiene un total de 58.620.000 ozt de reservas en oro. China y Rusia acaparan el 85% de las compras realizadas por los bancos centrales en los últimos dos años. Alemania dio a conocer su intención de repatriar parte de sus reservas (119.155.540 ozt) en oro que tiene en almacenados en París, New York y Londres. Los bancos centrales más importantes del mundo (Reserva Federal, Banco Central Europeo, Banco de Inglaterra, Banco Central de China) tienen oro como un componente clave de sus reservas en divisas para crear confianza en sus monedas. Así diversifican sus reservas y respaldan su balance con un activo que no puede ser manipulado por otro banco central. La producción anual de oro

aumento en 640 toneladas anuales de 2006 a 2016 (según el USGS y el British Geological Survey).

- Hierro: La producción anual global de hierro crudo no concentrado en 2015 fue de 3.320.000.000 de toneladas métricas. El hierro puede ser reportado en hierro mineral de baja ley o hierro industrial concentrado de mayores leyes (58 a 65% Fe). China es el principal demandante mundial de hierro. La producción anual del país representa cerca de 18% de su demanda. Recientemente, la desaceleración de la economía China implicó una baja en la demanda externa. También se prevé una disminución en la producción interna del país hacia 2018 (en 2015, disminuyó un 37%). Otros países fuertes en la demanda de hierro son Japón y Corea del Sur. Las principales mineras (responsables del 60% de la producción global) son Vale SA (brasileña), Rio Tinto PLC y BHP Billiton PLC (anglo-australianas). El 98 % del mineral de hierro se utiliza para la fabricación de acero. El hierro representa un 95% de la producción mundial metálica. Las reservas más grandes están en Australia (28%), Rusia (14%), Brasil (12%), China (12%). Las leyes más grandes están en las reservas de Australia (44,4% Fe), Brasil (52,2% Fe) y Rusia (56% Fe). Australia lidera la producción de mineral con aprox. 40% de la producción global.
- Cobre: La producción anual global de cobre en 2015 fue de 18.700.000 toneladas métricas. El mayor productor de cobre en la actualidad es Chile, con un 31% de la producción global. Los principales importadores de cobre mineral o concentrado (cobre sin refinar por piro- o electro-metalurgia) son China, Japón e India. Los principales importadores de cobre refinado son China, Alemania, EEUU, Italia, Taiwán, Turquía, Corea del Sur, Malasia, Tailandia, Francia. El continente que mayor cantidad de cobre refinado usa es Asia (16.000.000 de toneladas métricas en 2015 - International Copper Study Group). Desde principios del siglo XX, el uso de cobre refinado creció en promedio un 3,4% anual. Las principales empresas mineras en Chile son BHP Billiton, Rio Tinto PLC (socios mayoritarios de Minera Escondida SA), CODELCO (produjo aprox. 1,9 toneladas de cobre en 2015, aprox. 10% de la producción global), Xstrata Cooper, Anglo American Chile.
- Aluminio: La producción anual global de cobre en 2015 fue de 58.300.000 toneladas métricas. Los principales importadores son China, Estados Unidos, Alemania, España, Rusia (China consume 24.000.000 de toneladas, dato de 2014, Word-aluminium.org). El principal productor de aluminio a nivel global es China (22.000.000 de toneladas en 2013). Las principales empresas productoras de aluminio son Rusal, Alcoa, Alcan Inc., Aluminum Corp of China.
- Plata: La producción anual global de plata en 2015 fue de 27.300 toneladas métricas. Los principales productores de plata son México, Perú y China. La demanda de plata en 2015 supero la oferta. 50% de la demanda fue industrial, de la cual la generada por la industria de los paneles solares aumento un 20%. La joyería abarco otro 20% de la demanda total de plata. Demanda de monedas y lingotes representó otro 30% de la demanda total (aumentando 25%) (datos de 2015 - oroyfinanzas.com). Chile, Rusia, Australia, Bolivia, Polonia, USA, Argentina producen toneladas anuales 2 a 3 veces menores a los de los principales productores.

- Platino: La producción anual global de platino en 2015 fue de 178.000 kg. Sudáfrica cuenta con las reservas de platino más grandes del mundo. Además, es el mayor productor y exportador (en 2015, sostuvo una cuota del 70% en ambos producción y reservas globales). Otros productores son Rusia, Zimbawe, USA, Canadá. Los metales del grupo del platino son utilizados en automóviles para reducir emisiones tóxicas, como catalizadores en producción de químicos y refinamiento de petróleo, joyería, discos rígidos, capacitores, fabricación de vidrio. El 50% de la demanda se dirige a convertidores catalíticos de automóviles, 30% a catalizadores químicos, 20% a joyería, 10% a inversión y otros usos. Algunas de las empresas principales son Platinum PLC, Eurasia Mining PLC, Anglo American Platinum, Impala, Lonmin, Amplats.
- Litio: La producción mundial de Litio en 2015 fue de 32.500 toneladas. Los principales productores son Australia, Chile, Argentina, China. Las reservas más grandes están en Chile, China, Argentina y Australia (datos de 2015). Un informe de Goldman Sachs Group Inc. estima que la demanda de Litio podría triplicarse hacia 2025 hacia 570.000 toneladas, debido al uso de autos eléctricos (iniciativas como Tesla Motors, cuyo CEO Elon Musk anuncio que para cumplir con las expectativas de producción de la empresa -1.000.000 de automóviles para 2020- deberían absorber la demanda global de litio) y smartphones. Actualmente gran parte de la demanda proviene de China, donde el gobierno utiliza baterías de litio en transporte público y otros vehículos. Beijing apunta a tener 5 millones de vehículos con nuevas fuentes de energía y 200.000 autobuses eléctricos. Una de las empresas principales es Galaxy Resources Ltd. (opera depósitos de litio con activos en Argentina, Australia, Canadá y China). Otras empresas son SQM, Lithium Americas, FMC Corporation, Orocobre Limited, etc.
- REE: La producción global de REE en 2015 fue de 124.000 toneladas, de las cuales china produjo 105.000 toneladas (84%). Mercado global se encuentra dominado por China (97% de la extracción, 97% de separación de óxidos y refinamiento, separación de metales y generación de aleaciones 89% - datos de 2012). El consumo de estos elementos se disparó en los últimos años debido a su elevado uso en las nuevas tecnologías. Los REE se comercializan en forma de óxidos metálicos. Generalmente se encuentran en bajas concentraciones. Su explotación es compleja, costosa y agresiva con el medio ambiente. Minas principales: Baotou (Mongolia), Mountain Pass (California). Los REE se utilizan en generadores eléctricos, como imanes permanentes compactos de gran potencial, pantallas, fibra óptica, aleaciones aeronáuticas y espaciales, láseres, sonares, amplificación de señales, superconductores a altas y bajas temperaturas. En 2010 la demanda ascendió a 136.000 toneladas. El crecimiento anual del mercado era de 10%. China decidió reducir sus exportaciones en un 40% en 2010. USA decidió reabrir Mountain Pass en 2013. Empresas estatales chinas compraron parte de dos empresas en Australia (Lynas y Arafura) que buscaban financiación para explotar REE. Groenlandia posee importantes reservas de tierras raras, cuya explotación se verá facilitada por el proceso de deshielo en curso. En 2015, las reservas globales de REE son de 130 millones, de las cuales 42% estaban en China; 16,9% en Brasil el resto en Australia, Malasia, USA (6%) y otros países (31%).
- Uranio: La producción global de Uranio en 2015 fue de 60.500 toneladas. Esto cubre el 85% de la demanda de los 444 reactores operativos en el mundo a la fecha (71.400 toneladas). Estos aportan un 11% de la energía eléctrica global. El 15% restante de la

demanda se supe con stocks preexistentes (proveniente de desarme nuclear, otros stocks gubernamentales o recuperación secundaria). El 98,2 % de la producción mundial se concentra principalmente en Kazajstán (produjo 38% del total global en 2013), Canadá, Australia, Níger, Rusia, Namibia y Uzbekistán. Los mayores consumidores y, por ende, grandes usuarios de energía nuclear, son Estados Unidos, Francia, China, Rusia, Japón y Corea del Sur. La demanda en tiempos futuros estará impulsada por la construcción de nuevas centrales (50 actualmente en construcción en China, India, Rusia y USA; otros tantos proyectados, otros tantos a los que se les extenderá la vida útil – principalmente en Europa). Empresas principales son Kazatomprom (Kazajstán), Cameco (Canadá), Rosatom (Rusia), Kyzylkumredmetzoloto (Uzbekistán). En Australia BHP Billiton posee Olympic Dam. Las reservas más grandes están en Australia (1,66 Mt, 31% del total mundial), seguida por Kazajstán (0,629 Mt), Rusia (0,487 Mt), Canadá (0,468), Níger (0,421 Mt) – valores de 2011 a 2013.

- **Petróleo:** Globalmente se producen 80.250.000 barriles de crudo por día en 2015 (CIA World Factbook). Las reservas globales a enero de 2016 son de 1,662 billones de barriles. Los productos de petróleo refinado se producen a 89.290.000 barriles al día (2013) y se consumen 93.500.000 a diario (2014). Los mayores productores son Rusia (13,5% aprox.), Arabia Saudita (12,1% aprox.), USA (10,7% aprox.), China (5,21% aprox.), Canadá (4,84% aprox.), Irán, Irak, Emiratos Árabes, Kuwait, Venezuela, México, Nigeria, Brasil con valores menores a 3%. El valor total de importaciones de crudo en el mundo es de 46,7 millones, de los cuales USA importa un 18,34% y China un 13,2%. Seguidos por India y Corea del Sur son los mayores importadores de crudo. La Unión Europea, Singapur, Japón, Holanda y Filipinas son los mayores importadores de petróleo refinado.

Commodity	Cotización (01/2017)	Valor del mercado global anual (2015)
Oro	1208 USD/oz (1 oz = 28,3495 g.)	170.000.000.000 USD
Hierro	80,82 USD/t	115.000.000.000 USD
Cobre	5750 USD/t	91.000.000.000 USD
Aluminio	1790 USD/t	90.000.000.000 USD
Plata	16,9 USD/oz	20.000.000.000 USD
Platino (03/2017)	977,1 USD/oz	8.000.000.000 USD
Titanio	10200 USD/t	14.000.000.000 USD
Estaño	20690 USD/t	7.000.000.000 USD
Níquel	9970 USD/t	21.000.000.000 USD
Plomo	2240 USD/t	22.000.000.000 USD
Litio	9100 USD/t	3.000.000.000 USD
REE	(Cotizan por óxido de elemento o elemento metálico en el orden de 10000 a 400000 USD/kg -)	5.000.000.000 USD
Molibdeno	14750 USD/t	5.000.000.000 USD
Manganeso	1850 USD/t	30.000.000.000 USD

Uranio	22,9 USD/lb (1 lb = 453,62 g.)	20.000.000.000 USD
Petróleo	53,63 USD/Barril	1.700.000.000.000 USD

(*) Los precios de los mercados mundiales de los metales y otras sustancias están basados en los valores de producción anual y la cotización de algún momento de 2015. Más allá de no ser la fuente de los valores expuestos, se puede cotejar aproximadamente los valores teniendo en cuenta las producciones anuales que aparecen en “Mineral Commodity Summaries 2015” del USGS (United States Geological Survey) y cotizaciones históricas para 2015 (ej. indexmundi.com). Un punto interesante es que la suma de todos los mercados de metales es menor a la mitad del tamaño del mercado del petróleo.

Informes en investigación geológico-minera (Bassi):

- Estudio preliminar geológico-minero:
 - Análisis químicos (menas y rastreo geoquímico)
 - Petrografía mesoscópica
 - Gráficos (mapa de síntesis con las mineralizaciones, drenaje con información de caudales, caminos, poblaciones, etc.; croquis geológico-topográficos aprox. 1:5000)
 - Secciones y proyecciones
 - Calificación (potencialidad del yacimiento: estimación de tonelaje con posibilidades razonables de contener mineral útil)
 - Ubicación y vías de acceso
 - Antecedentes (estudios anteriores, cifras de producción, etc.)
 - Observaciones geológico-mineras (marco geológico regional, características de la localidad y del yacimiento, mineralización – tipo, potencias, profundización, etc. – leyes obtenidas, distribución de la mineralización, controles tectónicos o litológicos, cantidad de manifestaciones)
 - Conclusiones (si las conclusiones son favorables, se finaliza con la recomendación de efectuar un estudio geológico de detalle, agregando un programa de su desarrollo, con todos los detalles que permitan evaluar tiempo y costo de la investigación).

- Estudio geológico-minero de detalle: Bassi explica el estudio geológico-minero de detalle como si tuviese condensadas las etapas de exploración y estimación de reservas. No es un análisis de factibilidad, pero podría ser el apoyo geológico de dicho estudio.
 - Índice
 - Resumen (características principales del yacimiento, en especial las que influyen en las conclusiones del estudio)
 - Introducción (motivos y tiempo disponible para ejecución, trabajos de campo y labor de gabinete)

- Antecedentes (en regiones poco conocidas dividir en ubicación y acceso, fisiografía, clima, recursos naturales y humanos; de lo contrario se menciona ubicación, historia, etc.)
- Marco geológico regional (derivado de consulta bibliográfica)
- Geología de distrito (apoyado en mapeo a escalas de 1:25000 – 1:10000, puede incluirse esta sección o no)
- Geología local (geología de bloque del yacimiento, incluye mapas de superficie, se divide en componentes geológicos y estructura, primero se describe estructura como una historia tectónica local, luego los paquetes litológicos; se puede completar con un análisis estructural para identificar sistemas de fractura)
- Geología del yacimiento:
 - General: Tipos de manifestaciones mineralizadas vetiformes o diseminadas, características estructurales, potencias.
 - Mineralización: Minerales que forman la mena y la ganga, secuencias de deposición, determinación de generaciones.
 - Génesis: Singenetismo, metamorfismo, metasomatismo, acción supergénica, etc. Se describe el o los procesos formadores. Conviene ubicar proceso mineralogenético dentro de historia geológica o tectónica, para orientar la búsqueda de recursos futura (puede constituir una guía de prospección o exploración futura).
- Resultados (no tiene título de resultados en el informe – en la sección se expresan conclusiones y recomendaciones, recursos obtenidos por el programa de exploración y recomendaciones)
- Apéndice (cuadro de síntesis litológico, lista de muestras con fotografías, descripciones a microscopio con microfotografías, coordenadas y cotas de puntos de apoyo del mapa de superficie y vértices de las poligonales subterráneas, etc.)

BIBLIOGRAFÍA

La información en este resumen está extraída y resumida principalmente de:

“Geología de Minas”, Bassi (1999)

“Introduction to Mineral Exploration” Blackwell Publishing (2006)

“Geological Methods in Mineral Exploration and Mining” Marjoribanks (2010)

“Introducción a la Geología de Minas, Exploración y Evaluación”, Oyarzun (2011)

“Mineral Commodity Summaries 2016” USGS (2016)