

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
SECRETARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

ANALISIS BASICO PARA LA OPTIMIZACION EN LA UTILIZACION
DE LOS SISTEMAS DE EXPLORACION MINERA

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

00828

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

ANALISIS BASICO PARA LA OPTIMIZACION
EN LA UTILIZACION DE LOS SISTEMAS DE
EXPLORACION MINERA.



00828

*El presente estudio ha sido realizado por la empresa
Economía y Comercialización para la Minería y la Indu
stria, S.A. (E.C.O.M.I.N.S.A.) en régimen de contrata
ción con el Instituto Geológico y Minero de España.*

INDICE

1. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO
 - 1.1. Introducción. Definiciones básicas
 - 1.2. Objetivos del trabajo
 - 1.3. Metodología del trabajo
2. ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE EXPLORACION SEGUIDOS PARA LA BUSQUEDA Y DETECCION DE YACIMIENTOS
 - 2.1. Estudio del proceso global de una exploración minera
 - 2.1.1. La programación secuencial en la exploración minera
 - 2.1.1.1. 1ª Fase. Investigación regional o prospección general
 - 2.1.1.2. 2ª Fase. Raconocimiento detallado de áreas favorables
 - 2.1.1.3. 3ª Fase. Estudio de superficie detallado de áreas seleccionadas
 - 2.1.1.4. 4ª Fase. Estudio tridimensional. Evaluación del yacimiento
 - 2.1.1.5. Cuadro resumen
 - 2.1.2. Métodos y técnicas de exploración minera
 - 2.1.2.1. Estudios geológicos
 - 2.1.2.2. Geoquímica

- 2.1.2.3. Geofísica aerotransportada
- 2.1.2.4. Geofísica de suelo
- 2.1.2.5. Estudios tridimensionales -
o labores mineras
- 2.1.2.6. Cuadro resumen

2.2. Exploración minera específica

- 2.2.1. Tipología de los yacimientos de sus
tancias seleccionadas
 - 2.2.1.1. Cobre
 - 2.2.1.2. Plomo y Cinc
 - 2.2.1.3. Estaño
 - 2.2.1.4. Volframio
 - 2.2.1.5. Oro
 - 2.2.1.6. Plata
 - 2.2.1.7. Platino y metales de su gru
po
 - 2.2.1.8. Feldespatos
 - 2.2.1.9. Pizarras de techar
 - 2.2.1.10 Cuadro resumen
- 2.2.2. Estudio de los programas seguidos ha
bitualmente para la detección de ya
cimientos de las sustancias seleccio
nadas
 - 2.2.2.1. Cobre
 - 2.2.2.2. Plomo y Cinc
 - 2.2.2.3. Estaño
 - 2.2.2.4. Volframio

- 2.2.2.5. Oro
- 2.2.2.6. Plata
- 2.2.2.7. Platino y metales de su grupo
- 2.2.2.8. Feldespatos
- 2.2.2.9. Pizarras de techar

3. ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS REDES DE INVESTIGACION A UTILIZAR

3.1. Cobre

- 3.1.1. Cálculos del valor máximo a invertir en la exploración y localización de un yacimiento
 - 3.1.1.1. Objetivos de la investigación. Valor asignable a los yacimientos que pueden encontrarse en España
 - 3.1.1.2. Estudio del riesgo. Análisis de la probabilidad de éxito en la investigación
 - 3.1.1.3. Definición del valor máximo a invertir en un proceso de exploración minera de cobre
- 3.1.2. Establecimiento de la red óptima de investigación.

1.- PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. INTRODUCCION . DEFINICIONES BASICAS

Existe no sólo a nivel español, sino también a nivel mundial, un cierto confucionismo entre los términos exploración e investigación minera, o sus correspondientes en inglés: prospecting and exploration for mineral deposits.

En los países del área de influencia de los EE.UU ambos términos se confunden en uno, entendiéndose por investigación minera (exploration): "el total de actividades y evaluaciones que es preciso llevar a cabo con anterioridad a que pueda tomarse una "decisión inteligente" sobre la sistemática a seguir para la puesta en explotación de una nueva mina, (Bally,1968)".

En los países europeos, especialmente en los de influencia germano-soviética, se entiende por exploración (prospecting) el conjunto de trabajos -geológicos, geoquímicos, geofísicos, etc.- encaminados a la búsqueda de yacimientos minerales. La investigación (exploration) comprende todas las labores relativas al conocimiento exacto de los yacimientos ya localizados, previas a su puesta en explotación.

Esta separación en dos grupos, exploración e investigación, se ha mostrado tan difícil que en los últimos años se ha creado un nuevo término para los estudios que bordean ambas fases: la fase exploración-investigación ó, en términos anglosajones, el prospecting-exploratory stage.

Sin embargo, debido a la separación que el Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Minerales no energéticas (PNAMPM) impone entre ambas etapas, exploración e investigación, el presente proyecto se dirige, fundamentalmente, a los sistemas seguidos en la exploración minera, esto es, en la búsqueda y localización de nuevos yacimientos, dejando de lado la metodología utilizada en la investigación minera, entendiendo ésta como las labores que deben seguirse sobre un yacimiento, ya localizado, con el fin de obtener un buen conocimiento del mismo, de tal forma que sea posible su puesta en explotación con rendimiento económico.

Bajo la denominación "mena" (en inglés "ore"), se entiende el conjunto de las mineralizaciones, incluidas en un yacimiento que son susceptibles de explotar, en las condiciones presentes

.../...

de mercado y tecnología, con rendimiento económico. La parte del yacimiento que contiene a las menas, es la que desde antiguo se ha denominado en España como criadero.

Tradicionalmente, el sistema seguido por la humanidad, desde los tiempos más remotos, para la búsqueda de minas, ha sido la localización y estudio de los afloramientos minerales. Ahora bien, en la actualidad, salvo en algunas regiones remotas y en países en vías de desarrollo, este método no da resultado, debiéndose investigar con el fin de encontrar los yacimientos ocultos que puedan existir.

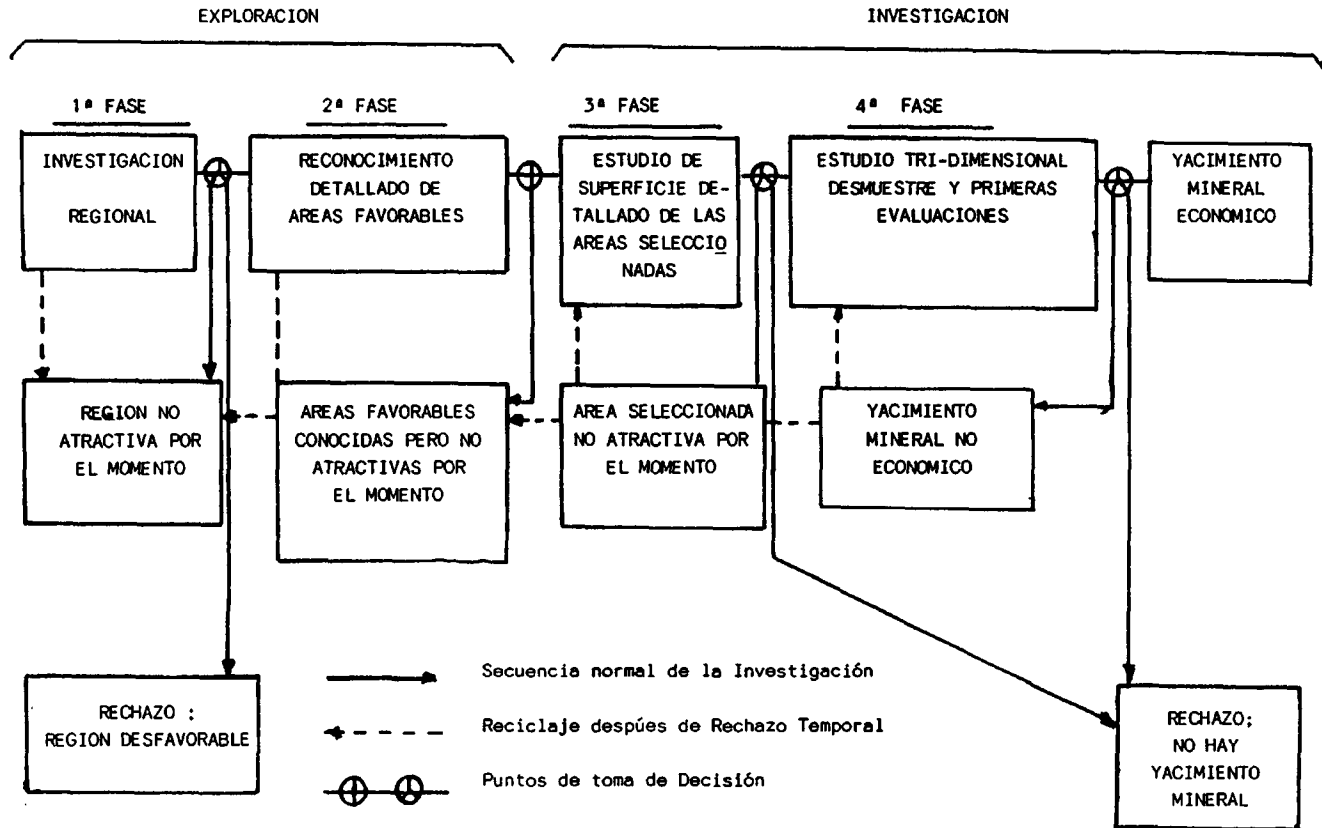
Sin embargo, en la localización de estos criaderos ocultos, fin último de la exploración minera, es imposible examinar con detalle cada km^2 de un país, por ejemplo, mediante sondeos, ya que esto sería demasiado caro y el tiempo necesario inalcanzable.

En consecuencia, los sistemas de exploración minera, en las últimas décadas, se han ido haciendo cada vez más sofisticados y costosos, complicando en los mismos diversos tipos de técnicas: Geología, Química, Físicas, Matemáticas, Economía, Ingeniería de Minas, etc.

En la figura nº 1 se representa esquemáticamente el proceso seguido en la actualidad dentro de la Investigación minera. En ella puede verse como la consecuencia completa se inicia con la investigación de grandes regiones para seleccionar dentro de ella aquellas áreas favorables a la existencia de indicios minerales de interés (1ª Fase). Este estudio continúa con el reconocimiento de estas áreas favorables en búsqueda de zonas concretas, en las cuales se dan las características necesarias para que exista un depósito mineral (2ª Fase). Sobre tales zonas o áreas concretas se realiza una investigación en detalle, primero superficialmente (3ª Fase) y después, si el resultado lo recomienda, en tres dimensiones con desmuestre en profundidad (4ª Fase).

Sin embargo, aún cuando a nivel teórico la diferencia entre las distintas fases está perfectamente clara, no ocurre así en la realidad del proceso investigador, de tal forma que el final de una etapa coincide en mayor o menor medida con el inicio de la siguiente.

De cara a los planteamientos de este trabajo, dirigido a los métodos utilizados para la búsqueda y localización de yacimien-



tos minerales, únicamente queda claramente fuera de la 4ª Fase ya que la misma tienen lugar sobre un yacimiento cuya existencia se conoce aún cuando no se tiene suficiente información sobre el mismo como para tomar una decisión sobre su explotación. La 3ª Fase queda incluida dentro del estudio ya que, al menos en teoría, al término de la misma es cuando se conoce o no la existencia de un posible criadero.

1.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO

La moderna investigación minera formada por un proceso que combina muchas actividades profesionales y una gama de métodos y experiencias, de tal forma que, de acuerdo con un plan secuencial preestablecido, se llegue a descubrir un criadero.

Como ya se ha dicho, en la actualidad la secuencia completa de un proceso de búsqueda de un yacimiento parte de una región, suficientemente grande, para, mediante los adecuados estudios, utilizando las técnicas y métodos apropiados, reducir el espacio físico a explorar, hasta llegar a la localización del yacimiento explotable con rendimiento económico sobre el cual se asentará una nueva mina.

Las técnicas a utilizar, dentro de las distintas fases, constituyen los métodos de investigación, los cuales a nivel global pueden agruparse de la siguiente forma:

- a) Métodos geológicos
- b) Métodos geoquímicos
- c) Métodos geofísicos

.../...

d) Métodos mineralométricos

e) Métodos mineros u obras

Cuando la investigación está encaminada a la búsqueda y localización de: una sustancia y/o un tipo de yacimiento preestablecido, en una zona o región prefijada, las técnicas de investigación se utilizan, en las distintas fases, de una forma secuencial prefijada, que constituyen el sistema de investigación a seguir en el proceso establecido.

En este sentido el presente trabajo, dirigido al estudio de las siguientes menas: Oro, Plata, Platino, Estaño, Volframio, Cobre, Cinc, Plomo, Feldespatos y Pizarras de techar, se ha desarrollado con el fin de alcanzar los siguientes objetivos:

a) Recopilación de las técnicas habituales, a nivel mundial, para la detección de cada tipo concreto de yacimiento, y capacidad intrínseca de las redes empleadas para su localización.

b) Establecimiento de la red óptima de investigación a utili-

zar de acuerdo con el coste de cada tipo de red y su capacidad localizadora.

En resumen se trata de conocer:

- 1) La capacidad intrínseca de cada sistema utilizado para la localización de yacimientos desconocidos.
- 2) Fijar la red óptima que, de acuerdo con el coste de las operaciones, y teniendo en cuenta la relación que guardan la red de observaciones practicadas y el tamaño geométrico de las manifestaciones buscadas, haga máxima la posibilidad de que un hallazgo, técnicamente viable, se realice.

1.3. METODOLOGIA DEL TRABAJO

La planificación de los trabajos a realizar para conseguir los objetivos previstos en este trabajo para el "Análisis básico para la optimización en la utilización de los sistemas de explotación minera", se realizó efectuando las tres fases indicadas en el proyecto.

Cada una de las tres fases se desarrollan de acuerdo con las siguientes operaciones:

1ª Fase.- Recopilación de información

Como es habitual en cualquier trabajo, la primera fase consistió en una recopilación y selección básica de datos que permitió el posterior desarrollo del proyecto.

Al haberse realizado el trabajo en el mismo plazo y en paralelo que otros trabajos del IGME, la mayoría de los informes relativos a la tipología de los yacimientos en los cuales aparecen estos materiales se ha tomado de ellos.

Se ha trabajado con información bibliográfica general y específica para las sustancias seleccionadas. A la hora de conseguir información sobre las últimas técnicas empleadas, se ha recorrido a información contenida en revistas periódicas, tales como:

- Engineering and Mining Journal
- Mining engineerin
- Mining Anual review
- Industrial Minerals

Al final del estudio se incluye una relación de la principal bibliografía. ubicada.

2ª Fase Estudio de los sistemas de exploración seguidos para la búsqueda y detección de yacimientos

En esta fase primera del trabajo en concreto elaborada, se estudia el proceso típico de una exploración primera. Los trabajos se han realizado en dos etapas.

La primera se ha dedicado a un "estudio del proceso global de una exploración minera". En ella se ha examinado:

.../...

- La programación secuencial en la exploración minera. Las fases en que la misma se divide. Los objetivos perseguidos con cada fase. El riesgo que cada vez comporta. La reducción del territorio que se suele producir al término de la fase.

- Los métodos y técnicas empleados en la exploración minera. Donde es habitual emplear cada técnica. Su capacidad intrínseca para la detección de yacimientos minerales, tanto directos como indirectos, en este caso su capacidad de discriminación. El trabajo concluye con un cuadro resumen en el que se recoge en síntesis este valor.

La segunda fase ha servido para estudiar la "exploración minera específica", relativa a la búsqueda y localización de depósitos minerales de las distintas sustancias objeto de examen, también se ha dividido en dos apartados, cada uno de los cuales están dedicados a:

- Estudio de la tipología de los yacimientos seleccionados, desde el punto de vista del sistema de exploración y, más comunmente desde el tipo de roca en que suelen aparecer los distintos metales. Se estudian estos tipos para cada una de

las diez sustancias seleccionadas, agrupándose el plomo y cinc. Se compendia el trabajo en un cuadro-resumen.

- Estudio de los programas seguidos habitualmente para la detección de yacimientos de las sustancias seleccionadas. Su análisis, sustancia a sustancia, las técnicas empleadas. Se valora cualitativamente la capacidad de cada método, cuando es posible , se indican las técnica señalada.

3ª Fase Estudio de optimización de las redes de investigación
===== a utilizar.

Como conclusión de las etapas anteriores se ha efectuado el estudio de optimización de las redes de investigación a utilizar. Este trabajo se ha basado sobre criterios económicos puros estableciendo la relación entre el objetivo de la investigación (valor del yacimiento a investigar), el riesgo de la exploración y la cantidad máxima de dinero que debe invertirse en la realización del trabajo.

.../...

De acuerdo con la tendencia más moderna, se establece, en todos los casos el valor de los recursos, contenidos en un criadero descubierto, como el "valor actual neto" que podría asignársele a la inversión necesaria para su puesta en explotación.

Para los fines de este proyecto, que no se necesita una idea muy exacta de este valor, el mismo se ha calculado bajo unos parámetros medios tales como:

- La inversión oscila entre 1 y 3 veces el valor de la producción anual.
- La tasa de actualización exigida para el cálculo del VAN ha sido del 10%.
- Los años de vida mínimos del yacimiento serán de 20, salvo indicaciones en contra.
- Los costes de operación, se han tomado los existentes en los distintos "inventarios de recursos", realizados por el IGME
- Los costes indirectos oscilan alrededor del 30% del valor de los ingresos, dependiendo.

.../...

Por otra parte el porcentaje de riesgo aplicable a una operación de búsqueda de yacimientos se ha extraído de los datos obtenidos en la realización del "Estudio de las bases para fijar una probabilidad de éxito a una investigación minera".

El conjunto de los datos así obtenidos y el tipo de trabajo a desarrollar, programa de exploración, ha permitido, en cada caso elaborar una sistemática que optimice las pautas o normas de investigación bajo el ángulo estrictamente minero.

2.- ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE EXPLORACION SEGUIDOS PARA LA
BUSQUEDA Y DETECCION DE YACIMIENTOS

Aún cuando el título del proyecto no deja lugar a dudas sobre el objetivo global que pretende el mismo, para lograrlo es preciso, como primer paso, conseguir disponer de una base documental e informativa suficientemente amplia sobre la cual desarrollar los cálculos de optimización.

Así pues, en el presente capítulo se realiza un examen bibliográfico de los sistemas seguidos, a nivel mundial, para la detección de yacimientos, en los que puedan encontrarse las sustancias objeto de estudio, (oro, plata, metales del grupo del platino, cobre, plomo, cinc, estaño, volframio, feldespatos y pizarras de techar).

El trabajo se ha dividido en dos partes diferenciadas de acuerdo con la óptica seguida para la valoración del poder de detección de cada técnica.

Así, en el primer capítulo, se ha analizado el proceso global seguido en una exploración minera, examinándose, para cada una de las fases en que puede dividirse el proceso de exploración,

las técnicas más comunmente utilizadas, así como su capacidad localizadora.

En la segunda etapa, se ha estudiado el sistema seguido para la búsqueda de yacimientos que contengan los minerales objeto de estudio a nivel mundial, estudiando el problema desde la propia morfología del yacimiento. Estableciéndose la capacidad localizadora del sistema o malla seguido como consecuencia de los resultados obtenidos en los últimos años.

2.1. ESTUDIO DEL PROCESO GLOBAL DE UNA EXPLORACION MINERA

En los últimos años, a partir de la 2ª Guerra Mundial, se ha incrementado a nivel mundial la demanda y el consumo de materias primas minerales, lo que ha motivado una intensificación de la búsqueda de nuevos yacimientos susceptibles de ser explotados con beneficio económico.

Prácticamente , hoy en día, la búsqueda de depósitos mediante la técnica del "saltamontes" (explorador de campo que se limita a la búsqueda de afloramientos minerales) es imposible en los países de amplia tradición minera, como es el caso de España.

De acuerdo con la moderna definición de exploración minera, recordada en el apartado 1.1. de este trabajo, en la actualidad, la detección de un posible yacimiento mineral suele llevarse a cabo mediante el desarrollo de un programa, en el cual se incluye una secuencia de operaciones, y en el que a lo largo de sus distintas etapas, utilizando los métodos y las técnicas apropiadas, se obtienen unos resultados concretos, que pueden traducirse en mayores conocimientos e información.

El objetivo global de la investigación es único: la detección de un nuevo depósito mineral explotable con rendimiento económico, pero los objetivos parciales seguidos en cada etapa son distintos y, por tanto, aún cuando las técnicas de investigación sean iguales, su capacidad localizadora dependerá de la etapa de la investigación en la que la misma se emplee, o lo que es lo mismo de:

- a) el número y grado de conocimientos previos existentes, y
- b) la intensidad o la extensión superficial sobre la cual es aplicada cada técnica.

En resumen, puede establecerse que la posibilidad de localizar un yacimiento mineral mediante el desarrollo de un programa de exploración minera, por lo que se refiere al programa en sí, dependerá de dos factores independientes:

- 1º La secuencia de operaciones que constituyen las distintas fases o etapas del programa, y
- 2º La capacidad para localizar los yacimientos minerales de las técnicas y los métodos empleados en cada etapa.

A continuación se estudian por separado cada uno de estos factores:

.../...

2.1.1. La programación secuencial en la exploración minera

Con el fin de minimizar el riesgo inherente a toda inversión en investigación, y teniendo en cuenta la relativa desproporción de tamaño existente entre los ámbitos mineralizados y los estériles, así como la probabilidad de que yacimientos desconocidos permanezcan ocultos sin reflejo aparente en la superficie, una exploración minera siempre se plantea en varias fases sucesivas; en cada etapa, las áreas estudiadas y objetos buscados serán cada vez de menor extensión, y su ejecución resultará más onerosa, por lo que la misma, dependerá de que los resultados favorables, alcanzados en la etapa anterior, aconsejen proseguir con el problema.

Así, en líneas generales, la culminación de una fase no siempre conducirá a la iniciación de la siguiente, sino que también puede proporcionar información que obligue a revisar la etapa anterior e incluso todo el trabajo desarrollado, llegando, en muchas ocasiones a terminar con un rechazo total del programa, proporcionando, como único beneficio, los datos recogidos durante la investigación.

Este flujo de posibilidades de actuación que encierra la secuencia de una exploración minera ha sido representado geográficamente en multitud de ocasiones. A continuación en la Figura nº 2, se incluye uno de los diseños más conocidos a nivel mundial, originariamente presentado por W.L.G. Muir, en 1976, en un trabajo presentado al Primer Simposium Internacional sobre Exploración de Carbones, celebrado en Londres, Reino Unido.

A lo largo del desarrollo de un programa de exploración, tal y como se ha definido, el principio y el fin de la secuencia de trabajos a desarrollar depende fundamentalmente de dos parámetros:

- i) El volumen de información previa de que se dispone (grado de conocimiento geológico y metalogénico, cartografía existente, historia minera, trabajos de exploración e investigación previamente efectuados, etc), y
- ii) El objetivo final que se pretende alcanzar con el desarrollo del programa (localización de yacimientos minerales, búsqueda de criaderos, puesta en explotación de nuevas minas, ampliación de los recursos disponibles en instalaciones actuales, etc).

También, debe de tenerse en cuenta que, para la solución de cada problema concreto, pueden seguirse, con mayor o menor grado de eficacia, varios criterios de prospección o guías geológicas, con sus correspondientes métodos de detección.

Por lo tanto, aunque raramente un programa se lleva a cabo con una secuencia ordenada en la cual se contemplan todas las fases, para conocer la influencia en la capacidad de localizar depósitos minerales de los trabajos que como norma más común, suelen efectuarse durante el desarrollo de las mismas, es preciso examinar brevemente la totalidad de las etapas, de acuerdo con la división establecida en el apartado 1.1.

2.1.1.1. 1ª Fase. Investigación regional o prospección general.

La primera fase, la investigación regional o prospección general, tiene como objetivo el seleccionar, dentro de un territorio suficientemente amplio, aquellas áreas favorables a la existencia de mineralizaciones de interés, y constituye el periodo que, en terminología francesa se denomina de operaciones estratégicas.

Su interés, profundidad, duración y coste depende, fundamental-

.../...

mente, del territorio sobre el cual se pretende efectuar el programa de exploración minera, de los conocimientos documentales preexistentes y de la historia minera de la región.

Los trabajos a desarrollar, algunas veces denominados "Estudios básicos", metodológicamente se estructuran de la siguiente forma:

- 1.- Análisis documental
- 2.- Estudios fotogeológicos y de restitución fotogramétrica
- 3.- Trabajos de análisis y síntesis geológico-metalogénicos.
- 4.- Estudios de yacimiento-tipo. Análisis de estructuras
- 5.- Estudios económicos-mineros
- 6.- Definición de la metodología de prospección a emplear
- 7.- Primeros trabajos de campo. Selección de áreas favorables

La primera etapa del proceso es la que representa un mayor riesgo económico, "extremadamente alto", y las inversiones en la misma suelen representar alrededor del 0,5% de las necesarias para la construcción de una nueva mina.

Al término de esta etapa, el territorio a explorar se habrá reducido a un máximo de varias decenas de km². En este punto es preciso revisar, con criterios económicos serios, la planificación de las inversiones.

2.1.1.2. 2ª Fase. Reconocimiento detallado de áreas favorables.

Durante el reconocimiento detallado de las áreas seleccionadas como favorables, de acuerdo con la tipología de yacimientos que se pretende encontrar, el tipo de sustancia buscada y el número mínimo de recursos, que se considera de interés de acuerdo con los objetivos de la exploración, se pretende localizar unas áreas o zonas donde existan anomalías que indiquen la presencia de cuerpos mineralizados. En resumen se trata de reducir la extensión objeto de estudio.

Es lógico que en España, con una tradición minera de siglos,

este nivel sea muy raramente considerado por haberse superado sus objetivos desde antaño.

Sin embargo, la naturaleza despoblada de algunas comarcas, la reciente puesta a punto de nuevas tecnologías, y los objetivos perseguidos con este estudio de las fases que constituyen un programa de exploración minera, obliga a considerar esta etapa como una más dentro de los trabajos a realizar.

El objetivo fundamental del trabajo es la detección de indicios o anomalías. Constituye la fase llamada de prospección sistemática o de operaciones fácticas. Los trabajos a llevar a cabo suelen efectuarse sobre grandes redes o mallas y prácticamente la totalidad de los mismos se efectúa en el campo.

Metodológicamente las labores se estructuran o dividen de la siguiente forma:

1º- Trabajos de cartografía geológico-minera y metalogenética (escala aprox. 1:10.000).

2º- Desarrollo de perfiles petrográficos.

.../...

3º- Investigación con lampara ultravioleta (cuando se aconseja).

4º- Barridos geoquímicos de grandes redes.

5º- Teledección.

6º- Geofísica aerotransportada.

7º- Geoquímica de suelos.

El riesgo que representa el desarrollo de esta etapa, aunque se reduce en función de una adecuada planificación, todavía suele ser calificado como "muy alto", y las inversiones en la misma nunca pasan de duplicar las realizadas en la etapa anterior, que presenta el 1% de los gastos para la iniciación de una mina.

Al término de esta etapa, el territorio se habrá reducido sensiblemente, quedando delimitado por la extensión, de aquellas anomalías: geofísicas, geoquímicas, mineralógicas, etc., que se hayan detectado, así como por los posibles afloramientos. Las zonas a explorar en etapas sucesivas se habrán reducido a un máximo

de 3 o 4 km². En este punto es preciso empezar a considerar la conveniencia de adquirir, la propiedad de las concesiones sobre las que se investigará en fases sucesivas. Sin embargo, todavía no es imprescindible.

2.1.1.3. 3ª Fase. Estudio de superficie detallado de áreas seleccionadas.

Esta tercera etapa de un programa de exploración minera es la más importante del mismo. Al término de los trabajos se habrá puesto de manifiesto la existencia de un yacimiento mineral susceptible de, ser explotable (en el caso de que el programa se desarrolle con éxito).

Los trabajos de esta etapa, encaminados al reconocimiento de cuerpos mineralizados, constituyen lo que se denomina "estudio de indicios" o etapa de operaciones puntuales.

Las labores que contribuyen al desarrollo de esta fase, metodológicamente se estructuran de la siguiente forma:

- 1º- Estudios geológicos de afloramientos y labores. Desarrollo de cartografía de detalle.
- 2º- Estudios geoquímicos de rocas y suelos.
- 3º- Estudios geofísicos de subsuelo.
- 4º- Desarrollo de labores de reconocimiento. Sondeos y calicatas.
- 5º- Desmuestres y análisis.
- 6º- Estudios económicos de pre-factibilidad en la explotación.

Evidentemente, no todas las anomalías detectadas en la etapa anterior llegan a determinar la existencia de un cuerpo mineralizado que pueda constituir un criadero, por tanto el riesgo económico derivado de la ejecución de esta fase, todavía, se considera "alto". Esta circunstancia se agrava por el mayor coste de las inversiones necesarias para el buen desarrollo de la misma, las cuales, al incluir labores mineras, como sondeos y calicatas, cuatriplican las realizadas en la etapa anterior, y llegar a al-

canzar el 4% del total a invertir para una nueva mina.

Al término de esta fase, se habrá puesto de manifiesto la existencia de un yacimiento mineral. La zona sobre la cual deberá continuar la investigación minera se reduce, en principio a menos de 1 km², y empieza a hablarse de hectáreas.

En este punto, se habrá terminado la exploración minera y se iniciará la investigación, cuyos objetivos se salen del marco de este proyecto. En este punto se considera absolutamente imprescindible poseer algún tipo de control sobre la propiedad de las concesiones mineras dentro de las cuales se encuentra el posible criadero.

2.1.1.4. 4ª Fase. Estudio tri-dimensional. Evaluación del yacimiento.

Esta cuarta y última etapa del proceso secuencial de un programa de exploración minera constituye la fase de "investigación minera" propiamente dicha, en la misma se procede a evaluar el yacimiento localizado en la etapa anterior y de su resultado depende la exis

tencia de un "criadero", esto es la delimitación de zonas del yacimiento (que pueden abarcar la totalidad del mismo) que son susceptibles de aprovechamiento económico con carácter inmediato.

Durante esta fase, aún cuando se realizan algunos estudios geológicos, especialmente en las calicatas, zanjas, túneles, etc, que puedan realizarse los trabajos principales son los encaminados a calcular las reservas existentes en el criadero. Metodológicamente estos filones se clasifican en tres grupos:

- 1º- Estudios de evaluación: sondeos, trabajos mineros, estudios geoestadísticos, etc.
- 2º- Ensayos semi-industriales de tratamiento mineralúrgico: definición del diagrama de flujo, ley del todo-uno media y recuperabilidad, etc.
- 3º- Estudio económico de viabilidad en la explotación: definición de un método de explotación; estudio de mercado; cálculos de rentabilidad; etc.

Naturalmente, es posible que durante el desarrollo de esta etapa llegue a establecerse que el yacimiento localizado en la etapa anterior no puede ser explotado con rendimiento económico en las circunstancias presentes de tecnología y mercado, ninguna de sus partes constituyen un criadero, por lo tanto el riesgo económico de esta fase se considera que oscila de "moderado" a "bajo", dependiendo del tipo de mineral que constituye el cuerpo mineralizado. En contrapartida, las inversiones son las más elevadas del proceso de exploración minera, llegando a duplicar el coste de todas las fases anteriores, por lo que oscilan alrededor del 10% del total a invertir en una nueva mina.

Al término del proceso de investigación, si el éxito ha acompañado al trabajo desarrollado, existe un criadero mineral cuya puesta en explotación debe ser considerado en función de criterios económicos y financieros.

Si la construcción de esta nueva mina requiere una inversión I , que se estima del orden de 2 veces el valor de la producción anual, el total gastado en el proceso de exploración oscilará alrededor de un 15% de I , esto es un 30% del valor de la producción vendible anual.

.../...

2.1.1.5. Cuadro resumen
- - - - -

A continuación se incluye un cuadro en el que se resume la secu
en
cia de un programa de exploración e investigación minera detallán
dose los aspectos más representativos de esta secuencia que deben
ser tenidos en cuenta a la hora de desarrollar un sistema para
optimizar los métodos aplicables en la investigación minera. (ver
cuadro nº 1).

CUADRO Nº 1

SECUENCIAS DE UN PROGRAMA DE EXPLOTACION Y DESARROLLO DE UN CRIADERO

Estado	Fase del Programa	Tipo de Trabajo	Principales métodos y Técnicas	Extensión Superficial	Escala de Trabajo	Riesgo económico	% Coste inversión	Control de las concesiones
EXPLORACION	Investigación Regional	Reconocimientos previos	Documentación Fotogeología Síntesis geológico-minera Estudios económicos Reconocimientos de campo	Centenares de km ²	1/200,000 a 1/50,000	Extremadamente alto	0,5	Indiferente
	Reconocimiento detallado de áreas favorables	Búsqueda de anomalías	Cartografía geológica Pérfiles petrográficos Geoquímica barridos Geodetección Geofísica aerotransportada Geofísica de suelos	Decenas de km ²	1/25,000 a 1/10,000	Muy alto	1,0	Indiferente
	Estudio de superficie detallado de áreas seleccionadas	Reconocimiento de anomalías	Estudios geológicos Trabajos geoquímicos Geofísica de subsuelo Primeros sondeos y calicatas Desmuestres y análisis Estudios económicos	Centenares de ha	1/10,000 a 1/ 5.000	Alto	4,0	Deseable
INVESTIGACION	Estudio tridimensional y evaluación yacimiento	Evaluación de yacimiento	Sondens y obras de evaluación Ensayos semi-industriales de concentración Estudio de viabilidad económica	Decenas de ha	1/5,000 a 1.000	Moderado a Bajo	10,0	Imprescindible
DESARROLLO	Construcción de mina y desarrollo	Preparación e iniciación de la explotación	Labores de Minas Mineralúrgia Construcción	Algunas ha	1/1,000 a 1/100	Bajo	100,0	Imprescindible

FUENTE: Elaboración propia con datos de diversas fuentes bibliográficas

2.1.2. Métodos y técnicas de exploración minera

En términos absolutos, un programa de exploración minera consiste en un cumulo de trabajos geológicos, geoquímicos, geofísicos, etc que, con sus complementarios estudios de laboratorio, conducen al descubrimiento de yacimientos minerales y a la delimitación de criaderos explotables.

Una vez seleccionados los tipos de minerales y de depósitos que son objeto de la exploración, existen una serie de criterios que facilitan la localización de los trabajos. Estos criterios: estratigráficos, litológicos, estructurales, magmatogénicos, etc, constituyen los llamados "criterios de prospección" y deben ser tenidos en consideración cuando se plantea el programa y los objetivos para el mismo y las zonas más adecuadas para el desarrollo de los trabajos de campo.

Los distintos métodos y técnicas que pueden ser empleados para la detección de yacimientos minerales proporcionan el sistema que debe seguirse para el desarrollo de los trabajos.

Sin embargo, para la solución de cada problema concreto, existen

una serie de "guias geológicas" que conducen a la detección de la mena. Cada guía exige un método o una técnica para su seguimiento y la "capacidad de detección" de esa técnica es diferente según sea la fase de la secuencia de exploración en la que la misma se aplique.

A continuación se estudian cada método o técnica por separado tratando de establecer su valor a la hora de determinar la existencia de un depósito y las fases en las que la misma suele aplicarse.

2.1.2.1. Estudios geológicos

La exploración de yacimientos minerales siempre utiliza como base para el desarrollo de sus trabajos los mapas geológicos, son por tanto estas labores fundamentales dentro de la secuencia de un programa de trabajo y prácticamente forman parte de todas las etapas del proceso de exploración.

En líneas generales salvo que el estudio de campo proporcione el conocimiento de algún afloramiento, o se puedan encontrar

.../...

antiguas labores o arrastres de materiales, la capacidad de detección directa de los métodos geológicos es bajo e incluso dudosa.

Si embargo su capacidad de detección indirecta, esto es: de sugerir la existencia de depósitos minerales es elevada, aún cuando su poder de discriminación no siempre es alta, dependiendo del tipo de depósito y de los materiales objeto de la investigación.

2.1.2.2. Geoquímica

La prospección geoquímica esta basada en el conocimiento de la existencia de unas aureolas mineralizadas envolviendo a los depósitos minerales. Estas aureolas, que producen las llamadas "anomalías", pueden ser de dos tipos:

- a) Aureolas primaria, que producen una envolvente de mineralización primaria alrededor del depósito mineral, y
- b) Aureolas secundaria, producidas por la dispersión química, meteorológica y de la economía del depósito primario.

La geoquímica, como método para la búsqueda de estos halos o aureolas es utilizada en gran medida como sistema para reducir los terrenos a emplear. Su uso fundamental en la 2ª etapa de los programas de exploración y sirve para detectar anomalías.

Su capacidad de detección es indirecta pero, en general su poder de discriminación es alta, especialmente cuando la anomalía es detectada por una geoquímica de rocas y se puede interpretar que se trata de una aureola primaria.

Unicamente puede establecerse una capacidad de detección directa, que oscile de dudosa a buena a los trabajos de síntesis y valoración que deben efectuarse con todos los resultados obtenidos.

En algunos casos, también se emplea la geoquímica en las fases 1ª y 3ª de la exploración minera. En la primera fase, en forma de estudios de redes de drenaje, etc., y con amplias mallas se usa para reducir la extensión. En la tercera fase como geoquímica de rocas y suelos, se utiliza para contar con mayor exactitud la ubicación del posible yacimiento, durante la investigación de los indicios, reduciendo de esta forma el número de sondeos a efectuar.

2.1.2.3. Geofísica aerotransportada

Los métodos de prospección geofísicos, que han tenido un amplio, desarrollo en las últimas décadas, están basados en el estudio de ciertos campos físicos naturales y artificiales (gravimetría, magnético, eléctrico...), los cuales corresponden a la distribución de rocas con propiedades físicas definidas, tales como densidad, susceptibilidad magnética y conductividad.

Los métodos geofísicos pueden localizar directamente depósitos minerales en los poquísimos casos en que estos poseen una propiedad física anómala y están situados a un ambiente geológico y geofísico apropiado.

En general, estos métodos sirven para la detección indirecta, e incluso su capacidad de discriminación es baja. Los métodos geofísicos aerotransportados son precisamente los de discriminación más baja, con la excepción de los métodos radiométricos utilizando en la localización de ciertos tipos de minerales, pero presentan la ventaja de permitir cubrir grandes extensiones a bajo coste.

En consecuencia, son usadas principalmente estas técnicas aerotransportadas en las primeras fases del proceso de una exploración.

2.1.2.4. Geofísica de suelo

Estos métodos, de una precisión superior a las técnicas aerotransportadas tienen una capacidad de detección ligeramente superior a estas. Se aplican durante el desarrollo de los trabajos de campo y tienen como objeto el localizar zonas anómalas. Por tanto su aplicación más importante es en las dos primeras fases de un programa, especialmente en la segunda, durante el reconocimiento de áreas favorables,

La única excepción a esta norma la constituye la aplicación de técnicas en el subsuelo que, con mayor función se utilizan en la tercera fase para facilitar la mejor ubicación, de los sondeos de reconocimiento.

2.1.2.5. Estudios tridimensionales o labores mineras

Estos trabajos son los de mayor coste en una exploración minera.

Sirven, fundamentalmente, para, el reconocimiento final de indicios para confirmar la existencia de yacimientos y en la evaluación de estos de cara a establecer su explotabilidad económica.

Estas técnicas son las que tienen mayor capacidad de detección, naturalmente directa, pero, como ya se ha dicho resulta muy onerosa su aplicación indiscriminada.

2.1.2.6. Cuadro_Resumen

A continuación se incluye un cuadro (cuadro nº 2) en el que se resume todos los datos anteriormente señalados. Este gráfico fue elaborado originariamente por Paul A. Saily en 1972 y modificado y actualmente por el mismo autor para el Congreso de Geología del París.

FASES DE LA EXPLORACION MINERA

Métodos y técnicas empleados

METODOS Y TECNICAS	Aplicación en las etapas				Capacidad de Detección *			
	Investigación Regional	Reconocimiento detall. Areas favorables	Estudios de superficie Areas seleccionadas	Estudios específicos Tridimensionales	Detección Directa		Detección Indirecta	
					Dudosa	Buena	Baja Discriminación Capacidad	Alta Discriminación Capacidad **
Geología								
- Recopilación bibliográfica	X							
- Interpretación geológica regional	X							
- Estudios fotogeológicos	X	X						
- Observación aérea	X	X						
- Examen de afloramientos		X	X					
- Examen de labores		X	X	X				
- Estudio de arrastres	X	X						
- Cartografía geológica	X	X	X	X				
- Análisis de recubrimientos			X					
Geoquímica								
- Estudio de redes de drenaje	X	X						
- Estudio de aguas	X	X						
- Estudio de rocas		X	X					
- Estudio de suelos		X	X					
- Estudio geobotánico		X						
- Estudios especiales	X	X						
- Síntesis y valoración de datos	X	X	X	X				
Geofísica aerotransportada								
- Aeromagnética	X	X						
- Radiométrica	X	X						
- Radiométrica	X	X						
- Sensores remotos	X							
Geofísica de suelo								
- Gravimétrico	X	X						
- Sísmico	X	X						
- Resistividad	X	X						
- Polarización inducida	X	X						
- Magnético	X	X						
- Electromagnético	X	X						
- Radiométrico	X	X						
- Técnicas en subsuelo	X	X		X				
Estudios tridimensionales								
- Alaratas			X	X				
- Perforación a rotación				X				
- Perforación a percusión			X	X				
- Sondeos con recuperación de testigos				X				
- Trabajos en túneles y galerías				X				

* Detección: Se refiere a la posibilidad de detectar un depósito. Directo: El depósito puede ser demostrado directamente. Indirecta: Geoquímica, geofísica, geología sugiere la existencia de un depósito.

** Discriminación: Posibilidad de que un método indirecto determine si es posible la existencia de un depósito.

2.2. EXPLORACION MINERA ESPECIFICA

Como ya se sabe, la búsqueda y detección de un yacimiento está basada en el seguimiento de una serie de "guias" que indican la posible presencia del depósito mineral. Sin embargo cada tipo de sustancia mineral se presenta en la naturaleza en agrupaciones que reúnen características específicas y cuyas "guias" pueden ser varias y los métodos a emplear para su detección distintos.

Así, los programas de exploración específicos, encaminados a la localización de depósitos de sustancias concretas, parten del conocimiento del tipo de yacimiento, en que este material se encuentra en la naturaleza. Posteriormente, según sean las características de la sustancia será posible establecer el programa secuencial de los trabajos a realizar y la selección de las guías que deben seguirse, así como los métodos y técnicas que deben emplearse.

Un estudio a nivel sustancia permite centrar con mayor exactitud que tipo de programa debe seguirse y cual es la capacidad localizadora del mismo.

Este proyecto pretende, como objetivo, desarrollar sus conclusiones, sobre la exploración minera de diez sustancias minerales: cobre, plomo, cinc, estaño, wolframio, oro, plata, platino, feldespatos, y pizarras de techar, por tanto previamente a la realización de un estudio que optimice las técnicas de investigación a seguir se deberá conocer:

- a) La tipología de los yacimientos en que aparecen en la naturaleza los elementos anteriormente citados, y
- b) Las redes habitualmente seguidas para su detección.

A continuación se examinan cada uno de los apartados anteriormente indicados:

2.2.1. Tipología de los yacimientos de las sustancias seleccionadas.

El tipo de yacimiento que se pretende descubrir, así como las sustancias que son objeto de búsqueda, constituyen la base de todo programa de exploración.

Sin embargo, existen multitud de sistemas o métodos para clasificar los yacimientos en los que aparecen en la naturaleza los materiales objeto de este estudio. Un estudio profundo de estos métodos de clasificación se sale por completo del marco de este trabajo y, por otra parte, un análisis somero ya ha sido efectuado en el trabajo, realizado en paralelo, denominado "Estudio de las bases para fijar la probabilidad de éxito en una investigación minera", que también estudia las mismas sustancias minerales.

Se trata ahora de establecer una ordenación o agrupación de carácter eminentemente práctica y que sirva de base para el desarrollo de programas de exploración.

En este sentido, y aún a riesgo de presentar ciertas controversias, especialmente en el campo de la génesis, a continuación

se examinan los principales tipos de depósitos, que actualmente sirve de base a la producción minera, para cada una de las sustancias seleccionadas, como de interés, agrupadas según la clase de roca en que los mismos se encuentren.

2.2.1.1. Cobre

Se puede establecer que el cobre aparece en cinco tipos de depósitos, cuyas características principales a continuación se examinan:

a) En rocas sedimentarias.-

- Forma: capas con impregnaciones, filoncillos, disseminaciones, etc.
- Mineral económico más común: bornita y calcopirita
- Leyes medias: entre 0,5 y 5% de Cu
- Ejemplos: Zambia, Zaire, White Pine, Michigan (EE.UU), Uclakan (URSS), etc.

b) En rocas ígneas ácidas

b-1) Diseminaciones

- Formas: impregnaciones, pequeños filones, rocas intrusivas.
- Mineral económico más común: calcopirita
- Leyes medias: 0,5-2,2% Cu (en EE.UU., 0,5% Cu)
- Ejemplos: Bingham Utah (EE.UU.), El Teniente (Chile), etc.

b-2) Filones

- Formas: filones en Cu
- Mineral económico más común: sulfuros de cobre
- Leyes medias: 1 a 10% Cu
- Ejemplos: Butte, Montana (EE.UU.)

c) En rocas Volcánicas

- Formas: grandes masas en rocas volcánicas
- Mineral económico más común: calcopirita diseminada en
pinta.
- Leyes medias: 15-5% Cu (en España, 0,7%)
- Ejemplos: Rio Tinto (España), Urales (URSS), Canadá y -
Japón.

d) En rocas básicas y ultrabásicas

- Formas: impregnaciones, filones y mesas en rocas básicas y ultrabásicas
- Mineral económico más común: calcopirita
- Leyes medias: 0,26% Cu
- Ejemplos: Sudbury (Canadá), Nolvilsk (URSS)

e) En rocas metamórficas

- Formas: Stockworks, filones, estratos de granitos y calizas
- Mineral económico más común: calcopirita
- Leyes medias: 2-8% Cu
- Ejemplos: Bisbee, Arizona (EE.UU.), Area de Minusinsk (URSS).

2.2.1.2. Plomo y cinc

Existen cuatro tipos principales de depósitos en los que aparecen estos metales de características principales que los definen son las siguientes:

a) En rocas sedimentarias

- Formas: Capas estratos y lentejones, principalmente en rocas carbonatadas
- Minerales económicos más comunes: galena y esfalerita
- Leyes medias: 6-12% en Pb, 5-12% en Zn
- Ejemplos: Sulliran (Canadá), Broka Hill (Australia)

b) En rocas ígneas ácidas

- Formas: filones polimetálicos, con fluorita, barita, etc.
- Minerales económicos más comunes: galena y esfalerita, con plata
- Leyes medias: 5-20% en Pb, 12-25% en Zn
- Ejemplos: Butte, Montana (EE.UU), Sadon (URSS), etc

c) En rocas volcánicas

- Formas: filones, mantos u disseminaciones, lentejones, etc
- Minerales económicos más comunes: galena y esfalerita, con plata y cobre
- Leyes medias: 2-25% de Pb, 3-12% de Zn
- Ejemplos: Altai, Salair (URSS), Freiberg (R.D Alemana), etc.

d) En rocas metamórficas

- Formas: filones, disseminaciones, stocks, en depósitos metamórficos de contacto (Skarn)
- Minerales económicos más comunes: galena, esfalerita, calcopirita
- Leyes medias: 2,5-20% en Pb, 5-15% en Zn
- Ejemplos: Cerro del Pasco (Perú), Santa Eulalia (Méjico), etc

2.2.1.3. Estaño

Este metal aparece en cuatro tipos de depósitos, que pueden resumirse en tres, pero que por interés del tipo de sustancia seleccionadas se mantienen sus características principales, son las siguientes:

a) En rocas ígneas ácidas

- Formas: filones de cuarzo
- Minerales económicos más comunes: casiterita
- Leyes medias: 0,05-5% Sn
- Ejemplos: Bolivia

b) En placeres

- Formas: depósitos aluviales, coloidales y eluviales
- Mineral económico más común: casiterita
- Leyes medias: 0,02-0,8% Sn
- Ejemplos: Malasia, Indonesia, Zaire, etc.

c) En greissen

- Formas: disseminaciones y en filoncillos de cuarzo existentes
- Mineral económico más común: casiterita
- Leyes medias: 0,08-4% Sn
- Ejemplos: Cornwall (U.K.), China, Indonesia, etc

d) En pegmatitas

- Formas: en diques pegmatíticos y aplíticos
- Mineral económico más común: casiterita
- Leyes medias: 0,05-3% Sn
- Ejemplos: es una fuente menor de estaño

2.2.1.4. Volframio

Existen cuatro tipos fundamentales, aunque se sabe que se han encontrado algunos pequeños yacimientos en rocas sedimentarias. Las principales características de los mismos son las siguientes:

a) En rocas ígneas ácidas

- Formas: filones de cuarzo con mineralizaciones
- mineral económico más común: wolframita
- Leyes medias: 0,08-4% WO_3
- Ejemplos: Borneo, China, etc.

b) En rocas metamórficas

- Formas: filoncillos, rellenos masas, etc. en depósitos de tipo skarn
- Mineral económico más común: Scheelita
- Leyes medias: 0,05-6% WO_3
- Ejemplos: Sang Dong (Corea del Sur), EE.UU., Méjico, Brasil, etc.

.../...

c) En placeres

- Formas: depósitos de tipo eluvional-coluvional o aluvional
- Mineral económico más común: Wolframita
- Leyes medias: mínimo 0,01% WO_3
- Ejemplos: China, Dahida (URSS)

d) En greisen

- Formas: disseminaciones y en los filoncillos de cuarzo existentes
- Mineral económico más común: Wolframita
- Leyes medias: 0,09-2% WO_3
- Ejemplos: Dahida (URSS)

2.2.1.5. Oro

Existen cuatro tipos de depósitos cuyas características más comunes se examinan a continuación:

.../...

a) En rocas sedimentarias

- Forma: diseminado en conglomerados de cementación de antiguos placeres (placeres fósiles)
- Mineral económico más común: oro nativo
- Leyes medias: 6 a 10 gr/t
- Ejemplos: Witwerersrand (Rep. Sudáfrica), Canadá, Brasil

b) En rocas ígneas ácidas

- Forma : filones de cuarzo, stockwork y filoncillos
- Mineral económico más común: oro nativo
- Leyes medias: 1 a 25 gr/t
- Ejemplos: Alaska (EE.UU.), Urales (URSS), Zaire, Australia

c) En rocas volcánicas

- Forma: acompañado a sulfuros es en gossans
- Mineral económico más común: oro nativo y teluratos de oro
- Leyes medias: 0,5 gr a 5 gr/m₃
- Ejemplos: Alaska (EE.UU), Australia, Lena (URSS), etc

2.2.1.6. Plata

La plata es un metal que raramente aparece en la naturaleza sino que acompaña a otros: cobre, plomo, cinc y oro. Por tanto los depósitos en que la misma aparece son típicos de estos metales. Así aparece con Cu, Pb y Zn en: depósitos de rocas sedimentarias en filones en rocas ígneas ácidas y en rocas volcánicas; y, con oro, en: depósitos masivos de tipo gossan y en depósitos de placer.

A continuación se examina el único tipo de depósito en que la plata es el metal principal de la mena, apareciendo este metal en forma de sulfosales de plata.

a) En rocas ígneas ácidas

- Forma: filones y filoncillos
- Mineral económico más común: argentita, proustita, pirargirita
- Leyes medias: 300 a 500 gr/t
- Ejemplos: Pachuca (Méjico)

2.2.1.7. Platino y metales de su grupo

El platino, los metales de su grupo y sus aleaciones aparecen en la naturaleza en dos tipos de depósitos, uno de los cuales se divide en dos subgrupos y que a continuación se examinan:

a) En rocas básicas y ultrabásicas

a-1) En impregnaciones

- Forma: masas de sulfuros de níquel y mica
- Mineral económico más común: metales nativos y sus aleaciones en sulfuros
- Leyes medias: 1,5 gr/t de mena de sulfuros
- Ejemplo; Sudbury (Canadá)

a-2) En rocas ultrabásicas

- Formas: stocks, filoncillos, etc.
- Mineral económico más común: metales nativos y sus aleaciones en cromo-espinelas
- Leyes medias: 1-15 gr/t
- Ejemplos: Bushveld (R? Sudáfrica), Urales (URSS)

b) En placeres

- Forma: depósitos de aluviales
- Mineral económico más común: metales nativos y sus aleaciones.
- Leyes medias: 0,2 gr/m³ como mínimo
- Ejemplos: Choco (Colombia), Urales (URSS), Goadnews Bay Alaska (EE.UU.)

2.2.1.8. Feldespatos

Existen en el mundo 3 tipos fundamentales de depósitos en los que aparece el feldespatos que a continuación se examinan:

a) En rocas sedimentarias

- Forma: depósitos detríticos
- Mineral económico más común: ortosa
- Leyes medias: 14 a 25% de Ortosa/t de arena
- Ejemplos: Oberplaz (R.F. Alemana)

b) En rocas ígneas ácidas

- Forma: filones y masas
- Mineral económico más común: ortosa, albita
- Leyes medias: 50 a 60% de ortosa ó de albita
- Ejemplos: ortosa: OTEVI (R. Sudáfrica), albita, Pirineos Occidentales (Francia)

c) En pegmatitas

- Formas: diques pegmatíticos y aplíticos más o menos disgregados
- Mineral económico más común: ortosa, albita
- Leyes medias: min 7% de alcalis
- Ejemplos: Suecia, Noruega, EE.UU

2.2.1.9 Pizarras de techar

Sólo existen en la naturaleza un tipo de depósitos en los que se dan este tipo de rocas ornamentales, evidentemente, en rocas metamórficas. Las características más relevantes que pueden señalarse son las siguientes:

a) En rocas metamórficas

- Formas: paquetes pizarrosos
- Mineral más común: silúrico
- Elementos masivos: piritita
- Ejemplos: Angers (Francia), Orense (España)

2.2.1.10. Cuadro. Resumen

A continuación se incluye el cuadro nº3 , en el que se resumen todos los aspectos anteriormente señalados. De su examen pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- a) La investigación de yacimientos en rocas sedimentarias tiene principal interés para la localización de plomo, cinc y cobre que también aparecen con plata.

Depósitos detríticos de arenas feldespáticas por importaciones como fuente de este material

- b) En rocas ígneas ácidas aparecen filones que pueden contener

CLASIFICACION DE LOS YACIMIENTOS DE LAS SUBSTANCIAS OBJETO DE ESTUDIO

TIPO DE DEPOSITO	1.-ROCAS SEDIMENTARIAS	2.-IGNEAS-ACIDAS	3.-ROCAS VOLCANICAS	4.-BASICAS Y ULTRABASI.	5.-ROCAS METAMORFICAS	6.- PLACERES	7.- EN GREISSEN	8.- PEGMATITAS
COBRE	Grandes depósitos estratiformes de esquistos y areniscas (0,5 a 5% de Cu)	Depósitos de baja ley en porphyry -- copper asociados con granodioritas y cuarzo. (0,2 a 1% de Cu) Filones de cobre	Depósitos de sulfuros masivos (piritas) (0,5 a 2,0% de Cu)	Calcopiritas con pirrotinas y petlandita en segregaciones magmáticas tipo Subbury.	Depósitos de sulfuros en yacimientos de tipo Skarn alrededor de intrusiones ígneas pequeñas e irregulares.			
PLOMO	Yacimientos en sedimentos carbonatados con alguna diseminación en areniscas. (6,5% de Pb)	Filones de galena argentífera. Filones de varios sulfuros y depósitos de reemplazamiento.	Pequeñas cantidades de plomo aparecen en algunos depósitos masivos de sulfuros.		La galena puede aparecer en depósitos metamórficos de contacto con otros sulfuros -- del grupo G-B-Py-CalPy			
CINC	Yacimientos estratiformes en rocas carbonatadas.	Filones asociados con Pb,Zn y Cu Filones de reemplazamiento en rocas carbonatadas (5% de Zn)	La esfalerita aparece acompañada a sulfuros masivos. (2% de Zn si existen otros metales)		La esfalerita aparece en depósitos metamórficos de contacto -- (importante fuente de cinc).			
ESTAÑO		Existen en pórfidos asociados con otros metales. (Cu,Pb,Zn,Sb,Bi,Au y W) (0,5% SnO ₂)				Casiterita en depósitos aluviales o eluviales formados por desgaste de filones y pegmatitas (0,05% SnO ₂)	Casiterita en filones de cuarzo y greisem -- asociado con intrusiones graníticas.	Casiterita asociada a tantalita, columbita, berilo y minerales de litio, -- aparece en pegmatitas (fuente menor del Sn)
VOLFRAMIO	Se han encontrado algunos pequeños yacimientos origen sedimentario.	Wolframita filoniana en filones asociados con casiterita y otros minerales (0,5% WO ₃)			Schellita en depósitos skarn	Wolframita y shellita (en menor grado) -- en depósitos eluviales y aluviales procedentes del desgaste de depósitos primarios (0,1% WO ₃)	Wolframita con casiterita en algunos filones greisificados asociados con intrusiones graníticas.	
ORO	Manifestaciones de oro en conglomerados antiguos (placers fósiles) (10g/t de Au)	El oro aparece en filones de cuarzo. Oro con sulfuros de tipo porphyry copper (0,5 g/t de Au)	Oro acompañado de sulfuros masivos en gossans			Depósitos eluviales de oro son fuentes importantes de este metal.		
PLATA	Subproducto de yacimientos de Cu ó Pb-Zn	Principal fuente de plata en filones de Pb-Zn, o de Cu y Oro	Algunas veces es un subproducto en yacimientos de sulfuros masivos.			Asociada con el oro en placeres eluviales.		
PLATINO				Los MGP aparecen diseminados en depósitos de rocas básicas y ultrabásicas tipo sudbury. (4-12 gr/t de MGP)		Importante fuente -- en algunos países -- (URSS y Colombia)		
FELDESPATO	Yacimientos de arenas cuarzo-feldespáticas	Filones asociados a rocas plutónicas graníticas.						Yacimientos de pegmatitas y - aplitas.
PIZARRAS					Formaciones metamórficas.			

la casi totalidad de los metales estudiados, sin embargo se exigen leyes, más altas para su explotabilidad.

- c) En rocas volcánicas aparecen yacimientos importantes con sulfuros polimetálicos: cobre, plomo y cinc, así como con oro y plata.
- d) En rocas básicas y ultrabásicas aparecen el cobre y los metales del grupo del platino, junto con el níquel y el cromo
- e) Los depósitos de tipo skarns son fuente importantes de estaño y volframio, también aparecen en rocas metamórficas el cobre, el plomo, y el cinc.
- f) La explotación de placeres e importación en los metales preciosos, pero también en el estaño y, en mayor medida, en el volframio.
- g) Los depósitos en greissen de casiterita y wolframita son fuente importante de estos materiales a nivel mundial.
- h) Las pegmatitas, compactas o disgregados son fuente importante

de materiales feldespáticos, pero también pueden constituir una fuente menor de estaño.

2.2.2. Estudio de los programas seguidos habitualmente para la detección de yacimientos de las sustancias seleccionadas

Del estudio efectuado en el apartado anterior se deduce que, en resumen, los materiales objeto de estudio que pueden encontrarse en diez tipos fundamentales de depósitos. Los programas comunmente utilizados para su detección se reducen a una combinación de las siguientes técnicas:

- a) Cartografía geológica y estudios petrográficos
- b) Campañas mineralométricas
- c) Estudios geoquímicos
- d) Prospección geofísica
- e) Trabajos tecnológicos y mineros

A continuación, y para cada sustancia mineral, se analizan las técnicas que suelen utilizarse, así como, donde es posible, las redes empleadas, etc.

2.2.2.1. Cobre

Para la búsqueda y localización de yacimientos de cobre, las téc-

nicas se emplean de la siguiente forma:

a) Cartografía geológica y estudios petrográficos

Esta técnica no presenta aparentemente ningún interés en la búsqueda de grandes yacimientos diseminados de tipo - "porphyry copper" o similares.

Tiene un interés fundamental en la búsqueda de yacimientos de cobre en rocas básicas y ultrabásicas, así como en yacimientos filonianos.

- Escala de trabajo habitual: 1:10.000 a 1:5.000
- Realización de estudios petrográficos para determinar la variabilidad de los tipos de rocas y las alteraciones en los entornos de las zonas mineralizadas.

- . Pauta entre perfiles: 1.000 m.
- . Longitud de perfiles: aprox. 4.000m., de los que 1.000 m. serán en la roca de caja y unos 3.000 m. en las rocas de la aureola.
- . Número de muestras por perfil: 40

.../...

. Estudio a realizar con las muestras petrográficos y mineralográficos

b) Estudios geoquímicos

Estos trabajos se consideran, a nivel mundial como los más importantes y primarios para la localización de yacimientos de cobre. Se considera importante un área donde existen más de 10 mineralizaciones.

- El método de estudio de redes de drenaje está valorado como el de mayor interés en la mayoría de los terrenos.
- La "geoquímica de suelos" se suele realizar para el estudio detallado de zonas anómalas y el trazado de partes para sondeos.
- La "geoquímica de rocas" resulta indispensable a la hora de la búsqueda de yacimientos en zonas de glaciares.

Para la definición de la red óptima a emplear, en cada caso, es preciso realizar una serie de estudios de ensayo o prue-

.../...

bas en la zona donde el método debe ser empleado.

c) Prospección geofísica

Su utilización esta ligada al tipo de depósitos y de rocas a localizar.

El método "aeromagnético" se utiliza para la delimitación de las rocas máficas y ultramáficas.

- El método "electromagnético" se utiliza para delimitar depósitos de sulfuros masivos.
- "Polarización inducida" se utiliza para la búsqueda de rocas que contienen sulfuros diseminados.

En general, existen especialistas en cobre que sostienen que estos métodos tienen poco o ningún valor.

2.2.2.2. Plomo y cinc

En la localización de yacimientos que contengan plomo y/o cinc,

las técnicas explorativas se emplean, en términos generales, tal y como a continuación se indica:

a) Cartografía geológica y estudios petrográficos

Tiene por objeto señalar áreas favorables. La cartografía es el primer paso, siempre, a las escalas apropiadas; - 1: 10.000 a 1:5.000; para yacimientos sedimentarios 1:25.000. Se han descubierto por este sistema yacimientos nuevos o continuación de antiguos. Es muy importante.

También son importantísimos la realización de estudios petrográficos, especialmente para la determinación de: estructuras, formaciones y alteraciones de las rocas de caja.

La pauta para la realización de estudios petrográficos - sería similar a la empleada en el caso del cobre.

b) Estudios geoquímicos

La aplicación de estas técnicas es de uso reciente en la búsqueda de yacimientos de cinc, y algo anterior en la loca-

lización de plomo. Se suele utilizar en conjunto con la geología y se aplica eliminar zonas, o para señalar halos dispersos en rocas ó para delimitar áreas de interés.

Se aplica, fundamentalmente, la "geoquímica de rocas" y en mucha menor importancia, la de suelos y la de redes de drenaje.

Las redes a emplear deben de ser estudiadas localmente y no existe ningún tipo de bibliografía sobre el tema pues, como ya se ha dicho es reciente su utilización y no se considera básica.

c) Prospección geofísica

En la búsqueda de plomo, se utilizan estas técnicas, fundamentalmente, para la detección de la existencia de galena. En el caso del cinc, se aplica para saber si otros minerales o condiciones especiales se dan en las zona mineralizada (eje.: existencia de magnetita y/o pirrotina).

Es una técnica considerada como muy importante.

Las distintas técnicas se emplean para localizar distintos tipos de depósitos:

- Métodos electromagnéticos para la búsqueda de sulfuros masivos.
- Polarización Inducida o Provocada para localizar sulfuros diseminados.
- Audiofrecuencia Magnética para localizar Fallas y capas
- Metros magnéticos y electromagnéticos para depósitos sedimentarios.

2.2.2.3. Estaño

Las conclusiones del 1er Simposium Internacional sobre el Estaño, celebrado en 1967, recoge la siguiente conclusión: "Importantes programas de exploración diseñados para la búsqueda de nuevos

.../...

yacimientos primarios de estaño están, generalmente, basados, en no poco porcentaje, sobre la experiencia del "diseñador" sobre la relación entre tales depósitos y las rocas graníticas". A partir de esta conclusión resulta difícil establecer una teoría general sobre el método más apto para la búsqueda de depósitos que contengan este metal. Sin embargo, a continuación se recogen algunas indicaciones obtenidas de diversas fuentes bibliográficas:

a) Cartografía geológica y estudios petrográficos

La cartografía geológico-minera, a escala 1:10.000, se utiliza fundamentalmente para la localización de puntos concretos que presenten interés, y de unidades clásticas.

Los estudios petrográficos pueden ser considerados como muy importantes para completar la información geológica. La red con la que se realizan estos trabajos es la descrita en el caso del cobre.

b) Campañas mineralométricas

La investigación de estaño en campañas mineralométricas de prospección a la batea, es el método fundamentalmente empleado. A continuación se describe una parte para la realización de estas campañas:

- Tipo de desmuestre: Lado vivo
- Unidades clásticas a desmostrar: gravas, gravillas y arenas.
- Implantación de puntos de desmuestre sobre fotogramas aéreos y base geológica.
- Volumen de muestras: 10 litros
- Pauta de desmuestre: 1 km, equivalente a 1,5 muestras /km² aproximadamente.
- Bateado "in situ"

- Estimaciones residuales y ponderales de los concentrados en laboratorio volante
- Estudio semicuantitativo polimineral del 25% de los concentrados en laboratorio central.
- Análisis químico de control (Sn y W) sobre el 10% de los concentrados.
- Minerales a detectar: casiterita, prestando atención a la wolframita, scheelita e ilmenita.
- Toma de muestras de sedimento de la red de drenaje en las proximidades de cada uno de los puntos de desmuestre, mineralometría para eventual estudio geoquímico.
- Interpretación de resultados sobre base cartográfica geológica-minera. Determinación de anomalías y zonas anómalas.

.../...

c) Estudios geoquímicos

Se utilizan, en algunos casos, la geoquímica de redes de drenaje o sobre la fracción fina de la proyección mineralométrica, pero siempre da resultados.

Para la localización de depósitos de sulfuros que contengan casiterita, también se aplica la geoquímica de redes de drenaje, pero en este caso se analiza la existencia de materiales tales como el Litio, el Boro, el Brumato o el flúor que son indicadores de la presencia de estaño.

El valor localizado de estas técnicas es en general muy bajo.

2.2.2.4. Volframio

Para la localización de depósitos que contengan volframio, las técnicas empleadas son, en general, similares al caso del estaño. Existen, sin embargo diferencias que a continuación se examinan:

a) Cartografía geológica y estudios petrográficos

Como en el caso del estaño, no se ha definido claramente la labor cartográfica a realizar, se hará aquí:

- Definición petrográfica y cartográfica de las diferentes rocas intrusivas presentes en la zona.
- Establecimiento de la época de emplazamiento de los — cuerpos ígneos y de sus relaciones con las rocas de su periferia.
- Distinción en las aureolas de contacto, de posibles niveles pelítico-carbonatados, calco-silicatados, calizos y dolomíticos.
- Estudio de zonalidades metamórficas, señalando aureolas con diferentes grados de metamorfismo.
- Zoneografía de alteraciones autometasomáticas, hidrotermales o supergénicas en las rocas intrusivas y en las de su periferia.

- Presencia de minerales de metamorfismo térmico en las rocas intrusivas y en las de su aureola, con especial atención a los silicatos de Ca-Fe-Al y otros minerales de skarn, tales como pirrotina, magnesita, scheelita, sulfuros metálicos, etc.
- Localización de estructuras mineralizadas en W (o Sn): stockworks, greissen, pegmatitas, aplitas, chimeneas, diques y filones.
- Cartografía de indicios minerales.

La escala habitual de trabajo será, como en el caso del estaño, de 1:10.000. También tienen interés la realización de estudios petrográficos, según la pauta descrita en el cobre, y que se realizarán como apoyo a los trabajos cartográficos y de investigación de minerales fluorescentes.

- b) Investigación de minerales fluorescentes con lámparas ultravioletas

El volframio, especialmente la scheelita, en uno de los minerales cuya presencia mejor se detectó gracias a la aplicación de la lámpara U.V. La técnica para su aplicación, podrá ser, por ejemplo, la siguiente:

- Perfiles normales al contacto para rocas intrusiva-roca encajante.
- Preparación diurna de recorridos y ejecución nocturna del perfil.
- Pauta entre perfiles : 1.500 m.
- Longitud del perfil: 4.000 m., de los que 1.000 m. serán en la roca intrusiva y unos 3.000 m. en las rocas de la aureola.

La aplicación de esta técnica se considera fundamental en el caso de la búsqueda de depósitos de este material.

.../...

c) Campaña mineralométrica

Como en el estaño, la prospección a la batea es la base para la localización de depósitos de volframio.

No se repite la práctica que habitualmente se sigue porque es similar a lo detallado anteriormente.

d) Estudios geoquímicos

La aplicación de la geoquímica para la localización de depósitos de volframio es muy reciente y sus resultados no están contrastados.

El volframio no emigra, por lo que es difícil la localización de depósitos mediante la búsqueda de este material, sin embargo la existencia de otros puede ser indicación de su presencia cercana,

Se utiliza, por este orde:

1º Geoquímica de redes de drenaje: buscando Flúor, Arsénico y/o Fósforo.

2º Geoquímica de rocas : buscando Molibdeno, Cobre, Bismuto, Antimonio y/o Estaño.

e) Prospección geofísica

Tienen poco interés, algunas veces se utilizan estas técnicas para la selección de entornos geológicos de interés. Se aplican:

1º Métodos magnéticos : cuando se supone que en el depósito existe pirrotina.

2º Métodos gravimétricos : para la localización de pequeños plutones profundos.

2.2.2.5. Oro

Poco puede decirse de las técnicas empleadas para la localización

de depósitos de oro. El método más empleado ha sido la "prospección a la batea" para la localización de placeres explotables.

En estos casos su presencia sólo puede obtenerse por métodos analíticos. Sin embargo, otros sistemas se emplean, con mayor o menor fortuna, de la siguiente forma:

a) Cartografía y estudios geológicos

Se emplea como trabajo de base. Debe establecerse zonas propicias y zonas aflorantes. Se emplea la escala: 1:10.000

b) Estudios geoquímicos

La prospección geoquímica de los hidróxidos de hierro de las monteras ferruginosas es importante. También se ha utilizado, a veces con éxito, el mercurio como elemento guía de metalizaciones auríferas, así como el Sb, el As y la Ag, si el oro y la plata van asociados.

c) Prospección geofísica

Pocos métodos geofísicos han ido aplicando en la búsqueda del oro. Filones de cuarzo aurífero, por su mayor circulación acuosa, han podido a veces ser detectados por métodos eléctricos; estos métodos son sobre todo aplicados si el filón muestra recubrimiento y no aflora.

d) Trabajos mineros

La realización de sondeos mecánicos, calicatas, etc., y análisis de las muestras es el sistema más comunmente empleado en la localización de depósitos de oro primarios.

2.2.2.6. Plata

En líneas generales, debe señalarse que es notablemente difícil identificar los minerales de plata, tanto en el campo como por los métodos tradicionales mineralógicos. Por lo común, la presencia de este metal suele detectarse por métodos analíticos.

Ahora bien, en la búsqueda de yacimientos que contengan plata, los distintos metales suelen ser utilizados en la forma que a continuación se indica:

a) Cartografía geológico-minera y estudios petrográficos

En general se utiliza como base una cartografía a escala 1:10.000, desde la zona objeto de estudio.

Se realizan estudios y perfiles petrográficos siguiendo la pauta habitual, que sirve para determinar los tramos litológicos principales.

Es importante proceder a una cartografía de detalle, a escala 1:2.000 ó 1:1.000 de las zonas donde se utilizan filones e indicios antiguos que sean conocidos.

Durante la ejecución de esta cartografía de detalle se toman muestras, para analizar el contenido en plata, de las distintas formaciones filonianas.

b) Estudios geoquímicos

Aunque suelen ser de poca importancia y sus resultados bajos, se han aplicado alguna vez los tres métodos tradicionales: geoquímica de suelos, de redes de drenaje y de rocas, por este orden. Siendo el primero el más utilizado, especialmente para detectar la presencia de galena, así como de Sb y As.

c) Prospección geofísica

La aplicación de la geofísica está ligada a la localización de la presencia de galena y esfalerita.

Así se suelen utilizar los métodos típicos para la detección de estos materiales: prospección eléctrica y electromagnética, fundamentalmente, y con más frecuencia una combinación de ambas.

Estos métodos se suelen aplicar, con frecuencia sobre obras y calicatas, para señalar la ubicación más propicia de sondeos mecánicos.

d) Realización de obras y trabajos mineros

Los sistemas típicos de realización de calicatas y rocas, así como de sondeos mecánicos a rotación, con ejecución de desmuestres y análisis de los mismos, es el método más empleado en la localización de la plata.

La ubicación de las obras, y de los sondeos se apoya, - siempre, en las conclusiones de los trabajos anteriores, pero muy especialmente en la información geológica y de resultado de análisis.

2.2.2.7. Platino y metales de su grupo

Los metales del grupo del platino se dan en la naturaleza en formaciones básicas y ultrabásicas. La detección de su presencia dentro de este tipo de complejos se realiza por medio de desmuestre y análisis que, en la mayoría de los casos, van ligados a complicados sistemas capaces de establecer la presencia de estos metales en prospecciones de mg/t.

Las técnicas de prospección generales, se utilizan, para la loca

lización y determinación de los complejos ultrabásicos y básicos, así como para el estudio de su origen, etc. En general se aplican de la siguiente forma:

a) Estudios geológicos, cartográficos y petrográficos

Se realizan estudios, mapas y perfiles petrográficos para lograr la perfecta delimitación de las zonas de rocas básicas y ultrabásicas.

Tienen interés los estudios litológicos que establecen la edad y génesis de las rocas.

b) Estudios geoquímicos

Aunque su aplicación casi limitada, en ciertas ocasiones se ha ensayado la realización de una geoquímica de suelos, fundamentalmente buscando Osmio, Rodio, Iridio y Rutenio. Algunas veces se realiza una geoquímica de redes de drenaje buscando, Ni, Cu, Co y Cr.

c) Prospección geofísica

Se aplica, como complemento de los estudios geológicos en la delimitación de las zonas de rocas básicas y ultrabásicas. El método más empleado es el eléctrico y el de polarización inducida.

e) Trabajos de desmuestra y análisis

Es el principal sistema válido para el establecimiento de la presencia de platino en la zona.

Las técnicas de análisis más sofisticadas suelen emplearse sobre muestras grandes, cuarteadas, concentrando a la batea los materiales pesados y tras copelación se aplican sobre un botón obtenido por perlado al fuego.

2.2.2.8. Feldespatos

Los feldespatos se presentan en la naturaleza en dos tipos de depósitos, principalmente, los diques y filones en pegmatita,

aplitas y otros granitoides, y los depósitos de arenas con contenido elevado en feldespatos. Su proceso de búsqueda y localización presenta peculiaridades que a continuación se estudian:

a) Estudios geológicos

Se realizará en la fase de prospección una cartografía, 1:25.000, con estudio de los afloramientos.

En la fase de estudio de detalle, se efectúa una cartografía a escala 1:50.000 ó 1:2.000.

Se realizan estudios petrográficos para determinar las rocas de caja, etc.

Se efectúan estudios tectónicos:

b) Prospección geofísica

Se utiliza la geofísica, sondeos eléctricos, fundamentalmente, en el caso de arenas cuarzo-feldespáticas para esta-

blecer la profundidad y forma del depósito detrítico.

c) Desmuestre y análisis. Pruebas tecnológicas

Es la etapa fundamental del proceso de investigación. En la fase preliminar se realizan desmuestres de las distintas variedades encontradas, analizando los contenidos en -- SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; Na_2O ; K_2O ; CaO ; MgO . Se efectúan ensayos preliminares de separación de los minerales coloreados sobre la fracción 0,08-1 mm.

En la fase de estudio de un posible criadero se efectúa un desmuestre sistemático con una malla que oscila de 20 a 100 m., dependiendo del tamaño del yacimiento.

Se efectúan ensayos y análisis, como en la fase preliminar sobre las muestras antes señaladas.

d) Obras. Calicatas y sondeos

La ejecución de obras, calicatas y sondeos se efectúa como complemento al sistema de desmuestre.

Los sondeos mecánicos suelen efectuarse sobre depósitos detríticos, con el fin de establecer la profundidad de los mismos, así como el contenido en feldespatos recuperable a distintas profundidades.

2.2.2.9. Pizarras de techo

La localización de depósitos explotables de pizarras de techo, se ha efectuado siempre en base a los conocimientos de los explotadores. Trabajos sistemáticos de búsqueda de yacimientos se realizan raramente. A continuación se describe la sistemática más comunmente empleada en estos últimos casos:

a) Estudios geológicos

En las primeras fases de la investigación se utiliza la fotografía aérea para: definir los principales elementos estructurales (fallas, pliegues, etc.); buscar las posibles continuaciones de las zonas actualmente en explotación o que ya han sido explotadas.

Sobre el terreno suele efectuarse una cartografía geológica y estructural de síntesis, a escala 1:25.000, estudiando al mismo tiempo: la orientación de los distintos elementos estructurales presentes; la edad de la formación; la geometría de la misma; toma de muestras.

b) Análisis y ensayos de laboratorio

Sobre las muestras tomadas en el trabajo de campo se efectuarán los siguientes datos:

- Estudios petrográficos de lamina plegada para definir la mineralogía (búsqueda de piritas y carbonatos, en particular) y la textura de la roca (dimensiones de los minerales, tipología de la esquistosidad).
- Análisis mineralógico por difracción de rayos X, a fin de precisar la composición mineralógica de la roca (las pizarras explotables deben de tener una composición media del 50% clorita, 30% mica, 20% cuarzo).
- Estudio goniométrico de textura: para estudiar sobre

.../...

las caras de las pizarras, la orientación de los minerales en el plano de esquistosidad.

c) Obras y trabajos mineros. Ensayos tecnológicos

Cuando existe localizado un depósito y se quiere establecer si hay un criadero, si es explotable con rendimiento económico, se realizan una serie de pruebas y ensayos, entre los cuales los principales son:

- Realización de calicatas y rocas que son desmustradas.
- Ejecución de sondeos mecánicos para determinar la profundidad del paquete pizarroso.
- Ejecución de los ensayos de laboratorio antes descritos sobre las muestras de calicatas y sondeos.
- Separación de bloques de pizarras y ejecución de ensayos tecnológicos de: densidad, porosidad, heladicidad, resistencia a la flexión, etc.

3.- ESTUDIO DE OPTIMIZACION DE LAS REDES DE INVESTIGACION A
UTILIZAR

Como ya se ha dicho en otras ocasiones a lo largo del presente trabajo, resulta imposible, en el tiempo y en lo económico, realizar la búsqueda y localización de yacimientos minerales, por ejemplo, mediante la realización de un sondeo mecánico por cada km de terreno.

La realización de un programa para detectar esos yacimientos minerales que puedan llegar a constituir un criadero explotable, debe estar basada en una red ó sistema de trabajo que reúna la condición de estar avalada por la experiencia y que optimice la aplicación de los recursos económicos.

Así, aunque sobre este tema tan importante en la literatura mundial existen pocos datos, puede establecerse que "La cantidad total de dinero a invertir en una exploración debe estar en general, determinada por dos parámetros: 1º) el valor del yacimiento que se pretende encontrar y 2º), la probabilidad de éxito derivada del proceso de exploración e investigación minera".

.../...

Evidentemente, establecido un programa de exploración minera, la probabilidad de que, caso de existir un yacimiento explotable dentro de la zona, el mismo fuese detectado con el cumplimiento del programa, aumentaría si se utilizase una red más cerrada : una geología de más detalle, una red de muestras geoquímicas o de determinaciones geofísicas más cerrada, mayor número de sondeos mecánicos, etc.

Sin embargo, en este último caso aumentaría sensiblemente el coste de la exploración de tal forma que podría llegar a tenerse la certeza de descubrir el posible yacimiento en un corte del porceso investigador superior incluso al valor del yacimiento encontrable.

En resumen, la pauta y densidad de los reconocimientos, que forman la red de investigación a utilizar, constituyen evidentemente el factor más fácil de modificar de acuerdo con los planteamientos del personal que programe el trabajo a realizar. Sin embargo, los deseos de alcanzar los más elevados niveles de seguridad estarán siempre mediatizados por el equilibrio económico entre la mejora del estudio y el aumento consiguiente de los costes.

A continuación se estudian, para cada una de las sustancias seleccionadas las condiciones que optimizan las redes de investigación a utilizar. En todos los casos, a la hora de establecer el posible valor de los yacimientos, a encontrar en España, se van a utilizar datos contenidos en el "Estudio de las bases para fijar la probabilidad de éxito en una investigación minera".

3.1. COBRE

En el capítulo segundo de este trabajo se ha efectuado un estudio del tipo de técnicas habitualmente seguidas para la búsqueda y localización de yacimientos de cobre.

Durante esta etapa, la más básica del proceso de exploración minera, las técnicas empleadas suelen ser las más generales y están encaminadas a la determinación de ciertas "anomalías" que indiquen la presencia del yacimiento.

Por otra parte, en esta misma etapa, el riesgo derivado del proceso explorador es el mayor, por tanto, es en esta fase cuando con mayor cuidado deberá tenerse en consideración cual es el monto total del dinero que debe gastarse en el proceso.

Dos son los factores que definen fundamentalmente, como ya se ha dicho, esta cantidad a invetir:

- El objetivo que uno se impone como meta para el proceso de investigación que deberá establecerse en forma de un valor

.../...

asignable para el yacimiento que se quiere encontrar, y

- EL riesgo que indica la operación en sí, esto es la probabilidad de detección del yacimiento.

El primero de estos factores puede ser establecido, para el caso de España, dentro de unos límites para cada tipo de yacimiento. Este objetivo para la investigación ya representará un "tamaño mínimo de las anomalías" e incluso una pauta máxima para el proceso de exploración minera.

El segundo de los factores, es mucho más subjetivo y puede ser tomado, en cada caso concreto de distinta forma. Para su fijación se van a seguir las pautas medias obtenidas bibliográficamente.

Una vez conocidos estos dos factores resulta mucho más posible conocer un valor máximo para la inversión a realizar. La red de exploración óptima surge tomando como base el valor máximo que debe invertirse.

3.1.1. Cálculos del valor máximo a invertir en la exploración y localización de un yacimiento de cobre

Siguiendo la línea metodológica para el desarrollo de este trabajo, recogida en el apartado 1.3., para conocer el monto total de dinero disponible para la búsqueda de un yacimiento de cobre es preciso realizar una serie de pasos que a continuación se ejecutan.

3.1.1.1. Objetivos de la investigación. Valor asignable a los yacimientos que pueden encontrarse en España

El Inventario nacional de recursos de cobre, en vías de actualización, recoge en un cuadro información sobre el tipo de yacimientos, el tipo de explotación, los recursos mínimos exigibles y las leyes medias mínimas que definen la "economicidad" de los criaderos de cobre actualmente.

Aplicando sobre estos datos el sistema de establecimiento del valor del yacimiento, surge, para las posibilidades de detectar yacimientos en España, unos objetivos mínimos expresados en términos monetarios.

.../...

Como ya se ha indicado, los cálculos se realizan de acuerdo con los siguientes premisas:

- 1º Los datos de costes para cada tipo de yacimiento se han obtenido a partir de explotaciones activas de características similares e informaciones recogidas en el mencionado inventario.
- 2º El número de años mínimo de duración de la explotación se estima en 20 años. La Inversión es aproximadamente igual: 2 veces el valor de la producción. Los costes indirectos serán del 30% del valor de esa producción. El precio del cobre, tomado como base de cálculo es de 1.000 /t.

De acuerdo con esos planteamientos, y aceptando un amplio margen de error, los valores de los yacimientos, por tipos, que pueden darse en España son los representados en el cuadro nº 4.

ASIGNACION DE OBJETIVOS A UNA INVESTIGACION DE COBRE

(Valor de los yacimientos)

TIPO DE YACIMIENTO		TIPO DE EXPLOTACION		RESERVAS MINIMAS (millones de ton. de todo-uno)	LEYES MEDIAS (% Cu equivalente)	VALOR DEL YACIMIENTO (millones de pts)	
Menas Simples	filones	subterránea	pequeñas	1M - 2M	2.9	20-40	
	capas	cielos abierto	medianas	10M - 40M	1.4	350-1000	
			pequeñas	2M - 10M	1.7	75-350	
		subterránea	medianas	2M - 10M	2.5	40-200	
	masas	cielo abierto	pequeñas	1M - 2M	2.9	20-40	
			grandes	más de 40M	1.1	más de 1000	
			medianas	10M - 40M	1.3	200-1000	
		subterránea	pequeñas	2M - 10M	1.5	50-200	
			grandes	más de 10M	2.3	más de 500	
			medianas	2M - 10M	2.5	100-500	
	Menas Complejas	masas	cielo abierto	pequeñas	1M - 2M	2.7	50-100
				grandes	más de 40M	1.8	más de 1000
medianas				10M - 40M	2.0	250-1000	
subterránea			pequeñas	2M - 10M	2.2	50-250	
			grandes	más de 10M	3.0	más de 500	
			medianas	2M - 10M	3.1	50-500	
		pequeñas	1M - 2M	3.4	25-50		

Equivalencias utilizadas para minerales complejos

1% Zn ----- 0,5% Cu
 1 gr/t Au ----- 1 % Cu
 10 gr/t Ag ----- 0,2% Cu
 1% Pb ----- 0 % Cu

FUENTE: Elaboración propia con datos:

- Actualización del inventario de recursos de cobre
- Estudio de las bases para fijar la probabilidad de éxito en una investigación minera.

3.1.1.2. Estudio del riesgo. Análisis de la probabilidad de éxito en la investigación

El valor que mide la probabilidad de éxito en una investigación es un factor mucho más difícil de establecer que ningun otro. Depende de innumerables parámetros y, en general, se basa en criterios subjetivos relativos al éxito obtenido en programas de exploración anteriormente realizados ó en el grado de conocimiento que se disponga de la región.

En el caso del presente proyecto debe señalarse dos parámetros básicos. 1º) España es un país donde la actividad minera se ha desarrollado por muchos años, por lo que es muy difícil que se encuentran afloramientos y otros indicios de los que no exista noticia histórica, y, 2º), a pesar de esta amplia tradición, el desarrollo de auténticas campañas de exploración e investigación suficientemente ordenadas y programadas es muy reciente e incluso podría decirse que escaso.

Como medida para este riesgo, en una primera fase, en la que se

.../...

.../...

pretende la localización de yacimientos debería tomarse una proporción entre el número de campañas realizadas y el éxito obtenido en las mismas, tanto a nivel general como por tipos de yacimientos a investigar.

En esta línea, Brant (1968) y Morgan (1969) establecieron que como media mundial puede estimarse que alrededor del 1% de los programas de investigación dan lugar a la aparición de un yacimiento que puede ser considerado como de explotación económica.

En general, todas las opiniones y cálculos estadísticos conocidos están basados sobre él, los indicios, manifestaciones, ocurrencias, anomalías, etc., conocidas y el número de minas económicas descubiertas.

Los valores medios asignados, como medio mundial, en el momento presente son los siguientes:

Exploración regional.....	1/1000
Reconocimiento detallado de áreas favorables.	1/500
Estudio de superficie detallado de áreas....	1/100

.../...

En el caso de los trabajos que se realizan en el país, salvo para los programas de exploración sistemática de todo el territorio español, en general se trata de investigación de superficie de arenas seleccionadas: por conocimientos geológicos o por historia minera. Puede establecerse que siempre se trata de programas que parten de la tercera fase.

En este sentido, aunque podía tomarse 1/100 como medida del riesgo, resulta que cada zona a explorar presenta unas características concretas que indican la posible presencia de un tipo concreto de yacimientos, y que la relación entre el número total de indicios de ese tipo existentes en España y aquellos que constituyen depósitos explotables en la actualidad, es conocida.

Por tanto, aún a riesgo de incurrir en un error de bulto, al no disponer de datos mejores, se van a utilizar como datos para medir el riesgo geológico, los informes sobre el riesgo de explotabilidad económica, o lo que es lo mismo, la relación entre indicios conocidos y minas activas (ver cuadro nº 5). (Esta relación se ha obtenido del informe "Estudio de las bases para fijar la probabilidad de éxito en una investigación minera").

RIESGO DE LA INVESTIGACION DE INDICIOS DE COBRE

<u>TIPO DE YACIMIENTO</u>	<u>% MINAS/INDICIOS</u>
1.- Yacimientos Volcanogénicos.....	4,8%
a. Cinturón piritico	4,8%
b. Asoc. rocas anfibólicas	7,7%
c. Otros	0,0%
2.- En relación con rocas plutónicas	0,0%
a. Metasomáticos	0,0%
b. Filones relacionados a rocas graníticas.....	0,0%
3.- Sedimentarios.....	0,0%
4.- Filones con relación dudosa con - rocas plutónicas o volcánicas.....	0,0%
5.- Otros.....	0,0%
MEDIA DEL PAIS.....	0,0%

FUENTE: Estudio de las bases para fijar la probabilidad de éxito en una investigación minera.

3.1.1.3. Definición del valor máximo a invertir en un proceso de exploración minera de cobre

De la comparación entre los valores obtenidos como objetivos económicos para, el proceso de exploración de yacimientos de cobre en España, y de la medida del riesgo que el proceso investigador en sí conlleva, surge una cantidad máxima a invertir en cada caso

Esta cantidad, representada en el cuadro nº 6, deber ser matizada de la siguiente forma:

- Cuando existen indicios activos del tipo señalado se ha utilizado el % constante para ese tipo. En caso contrario se ha utilizado la media nacional (0,7%).
- Los valores calculables se refieren a la fase de "reconocimiento de áreas seleccionadas", ésto es a partir del "análisis de indicios". Para otras fases debe tomarse las relaciones medias mundiales: $\frac{1}{1000}$ y $\frac{1}{500}$.
- El monto total a invertir aumenta considerablemente al disminuir el riesgo en base al nivel de conocimientos geológicos-

COSTE TOTAL DE UNA EXPLORACION DE INDICIOS DE COBRE

LOCALIZACION DE LA INVESTIGACION TIPO DE ROCA	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION			INVERSIONES EXPLORACION (Millones/pts)
	TIPO EXPLOTACION	LEYES (% Cu equival.)	RESERVAS Millones de t/todo-uno	
1.- Rocas Sedimentarias	c.a.	1,4-1,7	10-40	7,0
	sub.	2,5-2,9	2-10	3,5
2.- Rocas ígneas				
2.1. Diseminaciones	c.a.	1,1-1,5	más de 10	7,0
	sub.	2,3-2,7	2-10	3,5
2.2. Filones	sub	2,9	1-2	0,5
3.- Rocas Volcánicas				
3.1. En el cinturón pirítico.	Min.Simp. c.a.	c.a.	más de 40	48,0
		sub	10-40	24,0
	Min.Comp. c.a.	c.a.	más de 40	48,0
		sub.	más de 40	24,0
3.2. En anfibolitas del N.O.	c.a.	1,1-1,5	más de 10	35,0
	sub.	2,3-2,7	2-10	17,5
3.3. En general	c.a.	1,1-1,5	más de 40	30
	sub.	2,3-2,7	2-10	15
4.- Rocas básicas y ultra-básicas	c.a.	1,5-1,8	más de 10	5
	sub.	2,5-2,7	2-10	2,5
5.- Rocas Metamórficas	c.a.	1,1-1,5	más de 10	5

FUENTE: Elaboración propia

mineros disponibles, pero en ningún caso debe sobrepasar el 5% del valor de la inversión necesaria para la puesta en explotación del yacimiento.

3.1.2. Establecimiento de la red óptima de investigación

A partir de las indicaciones relativas al volumen máximo de dinero que puede gastarse en un programa de exploración, establecido en el apartado anterior y de la sistemática que debe seguirse para la investigación, así como de los costes o baremos para la preparación de proyectos del IGME, es posible realizar una optimización de los recursos económicos disponibles, estableciendo de esta forma una red óptima que aumente la información disponible con el menor coste posible.

A continuación se definen estas redes por tipos de depósitos - ó, más exactamente, por el tipo de rocas sobre el cuál se va a realizar la prospección e investigación geológico-minera.

Estos cálculos se van a realizar para la fase de " exploración de indicios", ya que, como se ha dicho repetidas veces, las etapas o fases anteriores, en el proceso de una búsqueda y localización de yacimientos pueden suponerse sobradamente realizadas en un país como España, donde se ha trabajado en minería durante tantos años y se ha desarrollado durante los últimos años, suficiente cantidad de estudios generales.

3.2. PLOMO-CINC

A continuación se desarrollan los estudios que conducen a optimizar las redes a emplear en la búsqueda y localización de yacimientos que contengan estas sustancias, siguiendo la sistemática ya definida anteriormente en el cobre.

3.2.1. Cálculos del valor máximo a invertir en la exploración y localización de un yacimiento de plomo y/o de cinc

Para definir el volumen total de recursos económicos que puede razonablemente invertirse en la búsqueda y localización de yacimientos que contengan plomo y/o cinc en España, es preciso establecer unos objetivos económicos para el proceso investigador y definir el riesgo que implica el desarrollo de esa campaña.

3.2.1.1. Objetivos de la investigación. Valor asignable a los yacimientos que pueden encontrarse en España.

El Inventario nacional de recursos de plomo y de cinc, que también se encuentra en vías de actualización, proporciona los datos básicos

cos sobre el tipo de yacimientos, el tipo de explotación, etc. Afortunadamente estos datos son suficientemente recientes ya que la situación del mercado del plomo, en concreto, hace variar sensiblemente estos datos, en la actualidad.

Igual que en el caso del plomo, los cálculos sobre los valores exigibles a cada tipo de depósitos se calculan con premisas similares. Los resultados se recogen en el cuadro nº 7.

3.2.1.2. Estudio del riesgo. Análisis de la posibilidad de éxito en la investigación.

En el caso concreto de los yacimientos de plomo y/o de cinc, el problema de conocer la probabilidad de éxito en una investigación minera es mucho más difícil que en ningún otro caso de metales, ya que no se tienen noticias de ningún trabajo de exploración e investigación que se haya desarrollado, como programa nuevo, en los últimos diez años.

En consecuencia, aún a riesgo de incurrir en los errores ya señalados en el estudio del cobre, se van a utilizar para medir el

ASIGNACION DE OBJETIVOS A UNA INVESTIGACION DE PLOMO Y/O DEL CINC

(Valor de los yacimientos)

TIPO DE YACIMIENTO		TIPO DE EXPLOTACION		RESERVAS MINIMAS Millones de t. de de todo-uno	LEYES MEDIAS \$ Pb equivalente)	VALOR DEL YACIMIENTO Millones de pts.
Menas de plomo y/o cinc con posible plata, espato fluor ó pirita como subproductos o coproductos	filones	subterránea	Pequeñas	10 M - 2 M	14,7	50-100
	Capas	Cielo abierto	medianas	10 M - 20 M	10	más de 1000
			pequeñas	2 M - 10 M	11,5	250-1000
		Subterráneas	medianas	2 M - 5 M	14	120-300
			pequeñas	1 M - 2 M	15	70-120
	Masas y Mantos	Cielo Abierto	muy grandes	40 M - 60 M	6,8	910-1.360
			grandes	20 M - 40 M	7,6	500-1000
			medianas	10 M - 20 M	8,5	250-500
			pequeñas	2 M - 10 M	9,7	50-250
		Subterráneas	muy grandes	más de 15 M	12	más de 1000
			grandes	5 M - 15 M	13,2	350-1000
			medianas	2 M - 5 M	14,4	200-350
			pequeñas	1 M - 2 M	15,6	100-200

Equivalencias utilizadas

1% Zn	-----	1,6% Pb
10 gr/t Ag	-----	1,4% Pb
1% Py t	-----	0,04% Pb
1% F ₂ Ca	-----	0,36% Pb

FUENTE: Elaboración propia con datos de:

- Actualización del inventario de recursos de plomo y de cinc
- Estudio de las bases para fijar la probabilidad de éxito en una investigación minera.

riesgo geológico , los datos de inexplotabilidad económica o, lo que es igual, la relación entre indicios conocidos y minas activas (ver cuadro nº 8), obtenidos de la misma fuente.

3.2.1.3. Definición del valor máximo a invertir en un proceso de exploración minera de plomo y/o cinc

En el cuadro nº 9, se representan estos valores, obtenidos a partir de los datos de los dos cuadros anteriores. Esta cantidad máxima a invertir en cada caso se debe matizar con las mismas consideraciones globales que en el caso del cobre.

RIESGO DE LA INVESTIGACION DE INDICIOS DE PLOMO-CINC

<u>TIPO DE YACIMIENTO</u>	<u>% MINAS/INDICIOS</u>
A.- Estratiformes de Cobertera	
A.3.- Pene concordantes en rocas carbonatadas.....	5,48
B.- En relación estrecha con rocas volcánicas	
B.1- Rocas volcánicas postorogénicas.....	9,43
C.- En relación con rocas plutónicas	
C.2- Filones peribatolíticos.....	1,23
D.- Filones de Cobertera o de zócalo sin relación o con relación dudosa con plutonismo.....	0,81
E.- En zonas plegadas o metamórficas	
E.1- Relacionados con volcanismo preorogénico.....	1,92
E.2- En rocas filíticas (o carbonatadas) como ambiente volcánico más o menos claro.....	30,00
E.3- En rocas carbonatadas.....	1,84
F.- Otros yacimientos sin clasificar.....	0,00
MEDIA DEL PAIS.....	1,61%

FUENTE: Estudio de las bases para fijar la probabilidad de éxito de una investigación minera.

COSTE TOTAL DE UNA EXPLORACION DE INDICIOS DE PLOMO-CINC

<u>LOCALIZACION DE LA INVESTIGACION</u> <u>TIPO DE ROCA</u>	<u>OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION</u>			<u>INVERSIONES EXPLORACION</u> (Millones/pts)
	<u>TIPO EXPLORACION</u>	<u>LEYES (\$Pb equival)</u>	<u>RESERVAS Millones de t/todo-uno</u>	
1.- Rocas Sedimentarias (capas)	c.a.	10	10-20	15
	sub.	14-15	1- 5	5
2.- Rocas ígneas ácidas	sub.	12-15	1- 4	3
3.- Rocas volcánicas (tipo cartagena)	c.a.	8,5-6,5	10-40	10
	sub.	12-12,5	5-15	10
(tipo compleja)	<u>Se estudian en el cobre</u>			
4.- Rocas metamórficas 4.1. En rocas filonianas	c.a.	10-11,5	10-20	30
	sub.	12-15	10-20	30
4.2. En rocas carbonatadas	c.a.	11,5	2-10	10
	sub.	15	1-5	5

FUENTE: Elaboración propia

3.2.2. Establecimiento de la red óptima de investigación

En el apartado anterior se han establecido unas indicaciones relativas al volumen máximo de dinero que puede gastarse en un programa de exploración de un indicio de plomo y/o de cinc (preferiblemente de este segundo), con mayor o menor contenido en otros co--productos y subproductos.

Partiendo de estos datos, que en principio son altos (en porcentaje) porque en España existe una muy amplia información sobre los indicios de estas sustancias y no puede considerarse que se encuentre el trabajo en una fase muy general, siempre es posible definir el programa óptimo para la búsqueda de depósitos explotables, procurando lograr el máximo de información con el mínimo coste de inversión de acuerdo con la experiencia del equipo planificador.

A continuación se establecen estos programas, de acuerdo con el tipo de rocas sobre el cual se va a realizar el trabajo, y siempre sobre la base de que se trata de una "exploración de indicios".

3.3. ESTAÑO

Siguiendo con la norma establecida, a continuación se desarrollan los trabajos que conducen a determinar la red óptima a emplear en la búsqueda y localización de yacimientos de estaño.

3.3.1. Cálculos del valor máximo a invertir en la exploración y localización de un yacimiento de estaño.

A la hora de fijar la cantidad de dinero que es razonable invertir en un proceso de exploración que conduzca a la localización de yacimientos de estaño dentro del país, es preciso conocer previamente los valores que pueden asignarse a los yacimientos a descubrir y el riesgo geológico que la operación de búsqueda comporta.

Siguiendo la metodología ya impuesta a continuación se efectúan los pasos que conducen a definir este máximo a invertir.

.../...

3.3.1.1. Objetivos de la investigación. Valor asignable a los yacimientos que pueden encontrarse en España

A partir de los datos contenidos en el inventario del estaño y en diversos otros trabajos de actualización realizados posteriormente, por y para el IGME, se ha podido recoger información para establecer límites y valorar los tipos de yacimientos, que se pueden encontrar en España, y en consecuencia establecer objetivos al proceso de una investigación minera.(ver cuadro nº 10).

En este caso, las premisas básicas para establecer los cálculos han variado algo y son las siguientes:

- 1º Los datos de costes por cada tipo de yacimiento se han obtenido por información directa de algunas explotaciones.
- 2º El número de años mínimo de duración de la explotación depende del tipo de yacimiento , pero se exige, como media para estos cálculos 15 años. La inversión, también como media entre placeres y otros tipos de depósitos se estima de 1 vez el valor de la producción anual.

ASIGNACION DE OBJETIVOS A UNA INVESTIGACION DE ESTAÑO

(Valor de los yacimientos)

TIPO DE YACIMIENTO		TIPO DE EXPLOTACION		RESERVAS MINIMAS Millones de t. de de todo-uno	LEYES MEDIAS gr/t de todo-uno en Sn equivalente	VALOR DEL YACIMIENTO Millones de pts.
Menas	Placeres	Cielo abierto	grandes	más de 10 M	250	más de 500
			medianas	4,5 M - 10 M	375	200-500
			pequeñas	menos de 4,5 M	450	200
	Greisen	Cielo abierto	grandes	más de 7,5 M	900	más de 1000
			medianas	3 M - 7,5 M	1.000	500 - 1000
			pequeñas	menos de 3 M	1.100	menos de 500
Simples	Filones y diques	Cielo abierto	grandes	más de 3 M	1.000	más de 500
			medianas	1 M - 3 M	1.200	250 - 500
			pequeñas	menos de 1 M	1.400	250
	Filones y diques	Subterránea	grandes	más de 3 M	1.700	más de 650
			medianas	1 M - 3 M	1.900	200 - 650
			pequeñas	menos de 1 M	2.200	menos de 200

Equivalencias utilizadas

100 gr/t de WO_3 ----- 62 gr/t de Sn

FUENTE: Elaboración propia con datos de:

- Estudio básico de la infraestructura minera del estaño en España
- Estudio de las bases para fijar la probabilidad de éxito en una investigación minera.

3.3.1.2. Estudio del riesgo. Análisis de la probabilidad de éxito en la investigación

Siguiendo, en este caso, la norma establecida en las sustancias anteriores, se va a utilizar para medir el riesgo geológico, la medida establecida para la posibilidad de que el indicio sea inexplorable desde el punto de vista económico (ver cuadro nº 11), obtenido de la misma fuente que en el caso anterior.

3.3.1.3. Definición del valor mínimo a invertir en un proceso de exploración minera de estaño

En el cuadro nº 12 se recogen los resultados logrados mediante la combinación de los datos proporcionados, en los dos apartados anteriores. Las consideraciones que pueden matizar estas cantidades son las mismas que en los casos de los materiales anteriormente estudiados.

RIESGO DE LA INVESTIGACION DE INDICIOS DE ESTAÑO

<u>TIPO DE YACIMIENTO</u>	<u>% EXPLOTACIONES/INDICIOS</u>
1.- Placeres eluviales y aluviales.....	4,10
2.- Asociados a rocas graníticas.Intra y peribatolíticos.	
a. Filones de cuarzo.....	4,21
b. Diques pegmatíticos y aplíticos	0
c. Greisen	11,76
3.- Asociados a rocas volcánicas y sub volcánicas.....	0
4.- Otros yacimientos sin clasificar	0
MEDIA DEL PAIS	3,34%

FUENTE: Estudio de las bases para fijar la probabilidad de éxito en una investigación minera.

COSTE TOTAL DE UNA EXPLORACION DE INDICIOS DE ESTAÑO

<u>LOCALIZACION DE LA INVESTIGACION</u> <u>TIPO DE ROCA</u>	<u>OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION</u>			<u>INVERSIONES EXPLORACION</u> (Millones/pts)
	<u>TIPO EXPLORACION</u>	<u>LEYES (\$ Sn equival)</u>	<u>RESERVAS Millones de t/todo-uno</u>	
1.- Rocas igneas ácidas	c.a.	0,1 --- 0,12	más de 3	20
	sub.	0,17 -- 0,19	más de 3	20
2.- En placeres	c.a.	0,025 - 0,038	más de 10	20
3.- En greissen	c.a.	0,045 - 0,09	más de 7,5	40
4.- En pegmatitas	c.a.	0,1 --- 0,12	más de 3	20
	sub	0,17 -- 0,19	más de 3	20

FUENTE: Elaboración propia

3.3.2. Establecimiento de la red óptima de investigación

Siguiendo la norma o metodología que ya se ha desarrollado en --
otras sustancias, en el capítulo anterior se han definido unos vo-
lúmenes máximos de recursos económicos que deben servir de base pa
ra establecer un programa de exploración de un indicio de estaño.

La situación de la minería del estaño en el país, con su amplia --
historia y el elevado número de pequeña minería existente, con una
investigación mínima sobre las minas, hace que, aparentemente, el
porcentaje de éxito que podría esperarse del proceso de prospección
sea muy elevado.

Sin embargo, a la hora de establecer estos programas, de acuerdo -
con la roca de madre, deber tenerse en cuenta que la cifra resul--
tante es muy elevada, por lo que se ha aplicado un porcentaje de -
seguridad; con el cual, a continuación, se desarrollan las redes -
de trabajo.

BIBLIOGRAFIA

GENERAL

- AGTERBERG, F.P., 1974, Geomathematics: Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company.
- ALLAIS, M., 1957, Methods of appraising economic prospects of mining exploitation over large territories: Algerian Sahara case study: Management Sci., v.3.
- ALLUM, J. A. E., 1966. Photogeology and regional mapping: Oxford, England, Pergamon Press Ltd.
- ANDREWS-JONES, D. A., 1968, The application of geochemical techniques to mineral exploration: Colorado School of Mines, Mineral Industries Bull., v.II, n° 6.
- BAILLY, P. A., 1968, Exploration methods and requirements, in Pfleider, E. P., ed., Surface mining: New York, Am.Inst. Mining, Metall. Petroleum Engineers.
- BAILLY, P. A., 1972, Mineral exploration philosophy: Mining Cong. Jour., v. 58, n° 4.
- BAILLY, P. A., 1976, The problems of converting resources to reserves: Mining Eng., v.28, n° 1.
- BATES, R. L., 1960, Geology of the Industrial Rocks and Minerals.
- BERNER, H., EKSTROM, T., LILLJEQVIST, R., STEPHANSSON, O., and WIKSTROM, A., 1975, GEOMAP, in Hutchison, W. W., ed., Computer-based systems for geological field data: Canada Geol. Survey Paper 74-63.
- BERTON, Y. y LE BERRE, P., 1983, Guide de Prospection des Matériaux de Carrière. Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Manuels et Methodes, n° 5.
- BLAIS, R. A., and CARLIER, P. A., 1968, Applications of geostatistics in ore evaluation, in Ore reserve estimation and grade control: Canadian Inst. Mining Metall., Spec.Vol.9.

- CALLAHAN, W. H., "Planning and control of expenditures for exploration for solid mineral deposits in the United States and Canada, 35 th International Conference of the Financial Executives Inst., San Juan, Puerto Rico, 1966.
- CANAVAN, F., Organization of programmes of regional mineral exploration by mining companies. 8th Commonwealth Mining & Metallurgical Congress, Australia and New Zealand, 2, 1955.
- CHAUSIER, J. B. y MÖRER, J., 1981, Manuel du prospecteur Minier., Bureau de Recherches Geologiques et Minieres. Manuels et methodes. n° 2.
- CHAZAN, W., Motivations et cout de la Recherche miniere, Annales des Mines, Feb. 1970.
- COOK, D. R., Suggestions for increasing metalliferous ore discoveries by more effective use of exploration techniques and other considerations. Reprint 68-I-72, AIME, 1968.
- DERRY, D. R., Exploration expenditure, discovery rate and methods, CIM Bulletin, Mar., 1970.
- DESPUJOLS, P., TERMIER, H., 1946, Introduccion a l'etude de la metallogenie et a la prospection miniere. Imprimerie officielle, Rabat.
- DICKINSON, S. B., Mineral Exploration Costs, 8th Commonwealth Mining & Metallurgical Congress, Australia and New Zealand, 2, 1965.
- EMMONS, W. H., 1940, The principles of economic geology, McGraw-Hill, New York, London.
- GRIGORYAN, S. V., 1973, Primary geochemical aureoles in prospecting and exploration of hydrothermal deposits.
- HAWKES, H. E., and WEBB, J. S., Geochemistry in Mineral Exploration, Harper & Row, New York, 1962.
- KREITER, V. N., 1968, Geological prospecting and exploration.

- KOCH, S. G. y LINK, F. R., 1970, Statistical analysis of geological data. P.
- KUZVART, M., y BOHMER, N., 1978, Prospecting and exploration of mineral deposits.
- LEWIS, R. S., 1964, Elements of Mining.
- MCKINSTRY, H. E., Mining Geology, Prentice-Hall, 1948.
- MEGILL, R. E., 1971, Exploration Economics.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA. DIRECCION GENERAL DE INNOVACION INDUSTRIAL Y TECNOLOGICA., 1982, La Minería en España.
- NEYMAN, J., 1937, Outline of a theory of statistical estimation based on the classical theory of probability; Royal Soc. London Philos. Trans.
- PAYNE, A. L., 1973, S.N.E. Mining Engineering Handbook. vol.I, Secc.5, Exploration for Mineral Deposits.
- PEARL, R. M., 1973, Handbook for prospectors. McGraw-Hill Co., New York, Toronto and London.
- REEDMAN, J. H., 1979, Techniques in mineral exploration.
- ROUTHIER, P., 1963, Les gisements metalliferes., Tome I, II, Masson et Cie., Paris.
- ROUTHIER, P., BROUDER, P., FLEISCHER, R., MACQUER, J. C., PAVILLON, M. J., ROGER, G., ROUVIER, H., 1973, Some major concepts of metallogeny., Mineral, Deposita, 8, 237-258, Berlin, Heidelberg, New York.
- SAVINSKII, I. D., 1965, Probability tables for locating elliptical underground masses with a rectangular grid., New York, Consultants Bureau.
- SCHEFFÉ, HENRY., 1959, Analysis of variance., New York, John Wiley & Sons.

- SHEEHAN, ROBERT., 1964, Great day in the morning for Texas Gulf Sulfur, Fortune, v. 70, n° 7.
- SINGER, D. A., and WICKMAN, F. E., 1969, Probability tables for locating elliptical targets with square, rectangular, and hexagonal point-nets. Mineral Sci. Expt.Sta., Pennsylvania State Univ., Spec. Pub. I-69.
- SLICHTER, L. B., 1960, The need of a new philosophy of prospecting: Mining Eng., v. 12.
- TURNER, A. K., 1976, Computer aided environmental impact analysis: Colorado School of Mines, Mineral Industries Bull., v.19, n°s. 2 and 3.
- UNITED NATIONS, 1976, Engineering geological maps: a guide to their preparation: New York, United Nations, UNESCO.
- U. S. GEOLOGICAL SURVEY, 1958, Sugestions to authors of reports of the United States Geological Survey: Washington, U.S. Government Printing Office.
- U. S. GEOLOGICAL SURVEY, 1975, Mineral resource perspectives 1975: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 940.
- WARD, M. H., 1973, Engineering for in-situ leaching: Mining Cong. Jour., v. 59, n° I.
- WARD, S. H., 1967, The electromagnetic method, in Mining geophysics., Vol. 2, Theory: Tulsa, Society Explor. Geophysicists.
- WARD, S. H., and ROGERS, G. R., 1967, Introduction, in Mining geophysics, Vol.2. Theory: Tulsa, Oklahoma, Soc. Explor. Geophysicists.
- WRAY, W. B., Jr., 1970, FORTRAN IV CDC 6400 computer program for constructing isometric diagrams: Kansas Geol. Survey Computer Contr, 44.
- WYLLIE, R. F. M., and ARGALL, G. O., eds., 1975, World mining glossary of mining processing, and geological terms: San Francisco, Miller Freeman Publications, Inc.

- YARROLL, W. H., and DAVIS, F. T., 1975, The economics of small milling operations: Colorado School of Mines, Mineral Industries Bull., v. 18, n° 6.
- ZABLOCKI, C. J., 1966, Some applications of geophysical logging methods in mineral exploration drill holes : Soc. Professional Well Log Analysts Seventh Annual Well Logging Trans., Section U. p.1.
- ZENKOV, D. A., ZEMENOV, K. L., 1957, Vectorial method of delineation of mineral deposits.
- ZIMMERMAN, O. T., 1968, Elements of capital cost estimation.

COBRE

- COX, D. P., 1973, Copper United States Mineral Resources. U.S. Geological Survey Professional, Paper 820.
- GOOSENS, P. J., 1971, Les gisements du type "porphyry copper" (Deposits of the porphyry type): Mines Metall., n° 3661.
- GUILD, P. W., 1971, Metallogeny-a key to exploration : Mining Eng., v. 23.
- LOWELL, J. D., and GUILBERT, J. M., 1970, Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits: Econ. Geology, v. 65.
- SUMNER, J. S., 1970, Geophysical aspects of porphyry copper deposits : in L.W. Morley, ed., Mining and groundwater geophysics, 1967 : Canada Dept. Energy, Mines and Resources.

PLOMO Y CINC

- BERG, G., 1927, Zonal distribution of ore deposits in central Europe: Econ. Geology, v. 22. n° 2.
- BISCHOFF, J, L., and MANHEIM, F. T., 1969, Economic potential of the Red Sea heavy-metal deposits, in Degens, E. T., and Ross, D. A., eds., Hot Brines and recent heavy metal deposits in the Red Sea : New York, Springer-Verlag.
- MORRIS, H. T., 1973, Lead United States Mineral Resources. U.S. Geological Survey Professional. Paper 820.
- PEMBERTON, R. H., 1966, World geophysical discoveries bolster Future mineral needs : Eng. and Mining Jour., v.167, n° 4.
- BISHOP, O. M., 1960, Zinc, in Mineral facts and problems :U.S. Bur. Mines Bull. 585.

.../...

- CAMPBELL, NEIL, 1967, Tectonics, reefs, and stratiform lead-zinc deposits of the Pine Point area, Canada, in Brown, J. S., ed., Genesis of stratiform lead-zinc-barite-fluorite deposits (Mississippi Valley-type deposits) - A symposium, New York, 1966: Econ Geology Mon. 3.
- KIILSGAARD, T. H., 1965, Geologic mapping and mineral exploration research in the United States, in Seminar on field techniques for mineral investigation, Isfahan, Iran, September 1965: Ankara Central Treaty Organization.
- MASON, B. H., 1958, Principles of geochemistry, 2d ed.: New York, John Wiley & Sons, Inc., 276 p.
- MCCONNELL, R. H., 1958, Some basic considerations in mineral exploration, in Seminar on field techniques for mineral investigation, Isfahan, Iran, September 1965 : Ankara, Central Treaty Organization.
- WEDOW, H., 1973, Zinc. United States Mineral Resources. U.S. Geological Survey Professional. Paper 820.

ESTAÑO

- BRUNDIN, N. H., 1969, Some experiences in geochemical and heavy mineral prospecting : Colorado School Mines Quart, v.64,nº1.
- REED, B. L., and ELLIOT, R. L., 1970, Reconnaissance geologic map, analyses of bedrock and stream sediment samples, and an aeromagnetic map of parts of southern Alaska Range:U.S. Geol. Survey open-file report.
- SAINSBURY, C. L., 1973, Tin. United States Mineral Resources. U.S. Geological Survey Professional Paper 820.

.../...

- VARLAMOFF, NICOLAS, 1969, The bearing of tin minerals and ores in the weathering zone and the possibility of geochemical exploration for tin : Colorado School Mines Quart., v.64, n°1.

VOLFRAMIO

- BARABANOV, V. F., 1971, Geochemistry of tungsten: Internat Geology Rev., v. 13.
- HOBBS, S. W., 1973, Tungsten, United States Mineral Resources. U.S. Geological Survey Professional Paper 820.
- LARSON, L. P., and others, 1971, Availability of tungsten at various prices from resources in the United States : U.S. Br. Mines Inf. Circ. 8500.
- RUNNER, J. J., and HARTMANN, M. L., 1918, The occurrence, chemistry, metallurgy and uses of tungsten : South Dakota School Mines Bull. 12.

ORO

- EMMONS, W. H., 1937, Gold deposits of the world : New York, McGraw-Hill Book Co.
- INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 1930, The gold resources of the world : Internat. Geol. Cong., 15th, Pretoria, 1929.
- JONES, R.S., and FLEISCHER, MICHAEL, 1969, Gold in minerals and the composition of native gold : U.S. Geol. Survey.

- LEE, TAN, and YAO, CHI-LUNG, 1970, Abundance of chemical elements in the earth's crust and its major tectonic units: Internat. Geology Rev., v. 12, n° 7.
- SIMONS, S. T. y PRINZA, W. C., 1973, Gold. United States Mineral Resources. U.S. Geological Survey Professional Paper 820.

PLATA

- BACHAU, CHRISTIAN, 1971, Essai de typologie quantitative des gisements de plomb et de zinc avel la repartition de l'argent : Bur. Recherche de Geol et Mineralogie, thesis, Univ. de Lausanne, Faculté des Sci.
- BISCHOFF, J. L., and MANHEIM, F. T., 1969. Economic potential of the Red Sea heavy metal deposits, in Degens, E.T., and Ross, D.A., eds., Hot brines and recent heavy metal deposits in the Red Sea : New York, Springer-Verlag.
- CLARK, L.D., and MILLER, F. K., 1968, Preliminary geologic map of the chewelah Mountain quadrangle, Stevens County, Washington: Washington Div. Mines and Geology, Geol. Map GM-5.
- HEWETT, D.F., RADTKE, A.S., and TAYLOR, CHARLES, 1965, Black calcite -A source of silver?: Mining Cong. Jour., v.51, n° 6.
- HEYL, V. A., 1973, Silver. United States Mineral Resources. U.S. Geological Survey Professional Paper 820.

PLATINO

- PAGE, N.J., RILEY, L.B., and HAFFTY, JOSEPH, 1969, Platinum, palladium, and rhodium analyses of ultramafic and mafic rocks from the Stillwater Complex, Montana: U.S. Geol. Survey Circ. 624.
- PAGE, N. J., 1973. Platinum- Group Metals. United States Mineral Resources. U.S. Geological Survey Professional Paper 820.
- SPENCER, C. H., Jr., 1971, Statistical correlation of platinum metals with heavy minerals in stream sediments of the Klamath Mountains, California : California, San José State College M.S. Thesis.
- WRIGHT, T. L., and FLEISCHER, MICHAEL, 1965, Geochemistry of the platinum metals : U.S. Geol. Survey Bull. 1214-A.

FELDESPATO

- BASTIN, E.S., 1910, Economic geology of the feldspar deposits - of the United States, U.S. Geol. Survey Bull, 420
- BROBST, D.A., 1955, Guide to the geology of the Spruce Pine district, North Carolina, Geol Soc. Amer. Guidebook to southeastern geology.
- CAMERON, E.N. 1947, Applications of the concept of zonal structure in pegmatites to prospecting for feldspar (abstract), - Econ. Geology.

- LESURE, P.G., 1973, Feldspar. United States Mineral Resources. U.S. Geological Survey, Profesional Paper 820.
- NORTON, J.J. and Page, L.R. 1956, Methods used to determine grade and reserves of pegmatites; Mining Engineering, v.8, no 4.

PIZARRAS DE TECHAR

- BATES, R.I. 1969, "State" in Geology of the Industrial Rocks and Minerals, Dover Pub. Inc., New York.
- GEISER, P.A., 1975, "Slaty Cleavage and the Dewatering Hypothesis- an Examination of Some Critical Evidence", Geology, vol. 3, no. 12.
- ATSON, K.L. 1980, State Waste; Engineering and Enviromental aspects, Applied Science Publishers, Barking, Essex, England.