

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACION PARA EXPLORACION DE RECURSOS MINERALES

M. Chica Olmo, J.P. Rigol Sánchez, F. Abarca Hernández y J. Delgado García
*G.I. Geoestadística, Teledetección y GIS. Dpto. Geodinámica. Universidad de Granada.
Facultad de Ciencias, Campus Fuentenueva. Avda. Severo Ochoa s/n. 18071. GRANADA.
Tel/Fax: 958-243363 Email: grsg@carpanta.ugr.es*

RESUMEN.- En este trabajo se expone el proceso de creación de un prototipo de SIG orientado a la Exploración de Recursos Minerales (SIERM). Se han utilizado como áreas de estudio dos zonas de gran interés minero como son la región de Cabo de Gata (España) y la de Iglesias (Italia). Se ha desarrollado una metodología multidisciplinar basada en tres técnicas modernas de tratamiento de la información geominera: la Teledetección espacial, los métodos geoestadísticos y los Sistemas de Información Geográfica. Esta metodología tiene como objetivo la reducción de los costes de exploración minera a través de la optimización del tratamiento de la información recogida durante los diferentes estudios geológicos y mineros.

ABSTRACT.- In this article we have explained the process of creation of a GIS prototype orientated to the Mineral Resources Exploration (SIERM). Two zones of great mining interest have been used as the study area: Cabo de Gata (Spain) and Iglesias (Italy). A multidisciplinary methodology has been developed based on three modern techniques of the treatment of geomining information: Remote Sensing, Geostatistic methods and Geographical Information Systems. The methodology has, as an objective, the reduction of mining exploration costs by means of optimizing the treatment of information collected during different geological and mining surveys.

1.- INTRODUCCION

Debido a la situación de crisis económica mundial, es cada día más importante el desarrollo de técnicas que permitan la reducción de los costes de producción para aumentar la rentabilidad de un proyecto. Esta premisa es especialmente importante en sectores productivos como la minería, en el que las inversiones que intervienen son muy elevadas y con elevado riesgo. Así, el riesgo potencial de un proyecto minero es especialmente elevado en las primeras etapas del estudio (Exploración), en las que se debe invertir gran cantidad de dinero en un proyecto del que en el mejor de los casos sólo se conoce de forma aproximada su posible rentabilidad.

Las compañías mineras suelen utilizar técnicas de exploración basadas en los últimos avances tecnológicos, a fin de disminuir el riesgo de fallo, verificando si el número de elementos de información extraídos de los datos ha sido maximizado o si el proceso de interpretación de los datos ha sido optimizado. Esto destaca el papel complementario, junto con los instrumentos utilizados para medir las variables de interés prospectivo, de las técnicas adoptadas para procesar e interpretar los datos muestreados. Así, la utilización de los SIG se ha convertido en un elemento tecnológico importante en los últimos tiempos, ya que su utilización permite analizar más fácilmente la numerosa información de distintas fuentes de manera conjunta (ITGE, 1991). Por otro lado hay que tener en cuenta que los sistemas

naturales, y por tanto las cuencas mineras, son objetos complejos en donde las hipótesis utilizadas por los métodos de tratamiento de la información clásicos como son los métodos estadísticos son a menudo demasiado simples.

Todo esto nos lleva a pensar que el procesamiento de los datos debería ser considerado una fase fundamental en el proceso de exploración industrial. En este contexto, el desarrollo tecnológico no debería estar limitado a las técnicas de muestreo sino también debería ampliarse a las técnicas para el procesamiento e interpretación de los datos. Es dentro de esta filosofía práctica en la que se enmarca el estudio que aquí presentamos.

2.- AREAS PILOTO

Para llevar a cabo el estudio se analizaron cuatro áreas piloto situadas en España y en Italia. La selección de estas áreas piloto se basó en la abundancia de datos geológicos y a la existencia de una importante actividad extractiva, además de tratarse de tipos de yacimientos de gran interés. Tras las primeras fases del estudio se seleccionaron dos de las cuatro zonas iniciales para proseguir con el mismo, una en cada país, de tal manera que se escogieron las zonas de Cabo de Gata-Nijar en España y de Iglesias en Italia como las más apropiadas, en base a la cantidad y calidad de la información disponible.

El área de Iglesias en Italia, con una extensión de 1400 km², está situada al suroeste de la isla de Cerdeña. Se trata de uno de los distritos mineros más importantes de Europa en cuanto a sulfuros de Pb-Zn se refiere. Las mineralizaciones aparecen en forma de sulfuros masivos estratiformes y diseminados, encajados en las rocas carbonatadas del Cámbrico. En España, el área de Cabo de Gata-Nijar se sitúa al sur de la provincia de Almería y abarca unos 800 km². Se trata de una zona con numerosos depósitos minerales asociados a rocas volcánicas neógenas. Estos incluyen arcillas industriales tipo bentonita por un lado, así como sulfuros de Cu, Pb, Zn y Ag, además de Au en forma de telururos y nativo. Ambos conjuntos de mineralizaciones están relacionados con procesos de alteración hidrotermal de las rocas volcánicas (Arribas et al., 1989).

3.- METODOLOGIA

El principal objetivo del estudio ha sido desarrollar un prototipo de Sistema de Información de Exploración de Recursos Minerales que integre datos de satélite con datos geológicos del terreno. De este modo, el Sistema de Información estará orientado al análisis geostadístico multivariante de datos de Teledetección y datos geológicos del terreno obtenidos en campañas de prospección, y a la planificación y evaluación de la viabilidad de un proyecto de exploración o una potencial zona minera. En la metodología que se propone la información

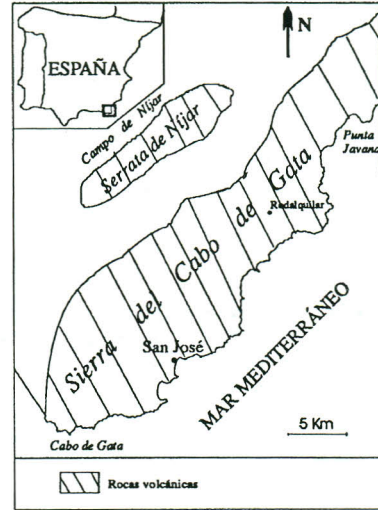


Figura 1.- Localización geográfica del área piloto española.

satelitaria es además utilizada para analizar su potencial uso para la identificación preliminar de áreas con alta probabilidad de contener depósitos minerales.

El desarrollo del Sistema de Información ha seguido varias etapas, que aparecen de forma simplificada en la Figura 2, y en él se aplican diversas técnicas con carácter multidisciplinar, como son el muestreo geológico, geoquímico, geofísico; métodos geoestadísticos avanzados de Análisis Espacial de Datos para mejorar el conocimiento geológico partiendo de todos los datos muestreados disponibles; así como métodos de modelización de los datos muestreados para trazar mapas temáticos utilizando estructuras de almacenamiento específicas (DBMS) y algoritmos algebraicos (SIG). El estudio se completa con el diseño de la Base de Datos de Exploración para almacenar imágenes de satélite, campañas de muestreo del terreno, mapas geológicos, indicios mineros, actividades mineras, etc, con toda la información georreferenciada, concretamente al sistema de coordenadas UTM.

El primer paso en la elaboración del prototipo ha consistido en la recopilación de los datos geológicos, mineralógicos y de exploración minera disponibles en las cuatro áreas piloto, derivados de las campañas de exploración previas. En base a esta información, se ha elaborado el marco geológico y la descripción mineralógica, así como los aspectos

relacionados con exploración minera en las áreas piloto (modelo geológico). En este contexto, el modelo geológico ha sido la referencia en base a la cual, y teniendo en cuenta los objetivos del estudio, se han seleccionado los datos de exploración que serán procesados en relación a cada área piloto. Así, se han recopilado datos geológicos y se han elaborado mapas temáticos de las litologías a escala 1:25,000, se han clasificado las fracturas y fallas en distintas clases, incluyendo tipos de fracturas, filones, etc (Tabla I). Se han recopilado datos de prospección geoquímica y se han interpretado las principales anomalías y valores de fondo, se han definido los metalotectos y se han localizado las principales áreas mineralizadas. También se ha incluido información de campañas geofísicas tanto terrestres como aerotransportadas, incluyendo gravimetría y magnetometría (Tabla I). A partir de los datos geoquímicos y geofísicos se han elaborado diversas cartografías de síntesis a escala 1:25,000. También se han recopilado datos morfológicos y orográficos de las áreas de estudio, incluyendo topografía, pendientes del terreno, usos del suelo, red hidrográfica, redes viarias, etc (Tabla I).

Las imágenes de Teledetección han supuesto un volumen importante de datos de entrada para el Sistema de Información, a la vez que han permitido derivar importante información adicional. Se seleccionaron imágenes de los satélites Landsat 5, SPOT y ERS-1, aunque de este último satélite sólo se ha dispuesto de imágenes del área piloto italiana, así como imágenes del sensor Airborne Thematic Mapper (ATM). Todas las imágenes han sido tratadas para eliminar las distorsiones radiométricas y geométricas, y han sido georreferenciadas al sistema de coordenadas UTM. Se ha realizado un procesamiento

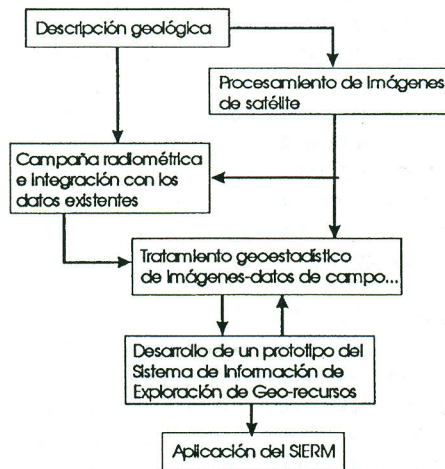


Figura 2.- Etapas del desarrollo del Sistema de Información de Exploración de Recursos Minerales.

estándar con el objeto de producir imágenes RGB para interpretación geológica. También se ha realizado un procesamiento digital para extraer la información espectral de interés para la discriminación de litologías, estos procedimientos han incluido cocientes de bandas, Análisis de Componentes Principales, técnicas de decorrelation stretch, integración de datos, técnicas estadísticas, etc, así como clasificaciones supervisadas y no supervisadas. La interpretación de las imágenes resultantes de estos tratamientos ha permitido obtener mapas geológicos de síntesis compuestos de diversas capas de información, incluyendo información de interés prospectivo, que también han servido de entrada para el Sistema de Información (Tabla I). De este modo uno de los objetivos principales ha sido analizar el uso potencial de los datos de satélite obtenidos de los distintos tratamientos, para identificar y llevar a cabo una delimitación preliminar de aquellas áreas donde hay una buena probabilidad de encontrar recursos minerales.

Es habitual que la información de que se dispone esté sesgada, ya que suele haber áreas interesantes que no han sido cubiertas por campañas anteriores o que nos han sido muestreadas uniformemente, de este modo se procedió a diseñar una campaña geoquímica para completar los datos de que se disponía. Del mismo modo se verificó el grado hasta el que se habían completado las campañas de campo geológica, geoquímica y geofísica a la luz de las necesidades del proyecto y de la escala de trabajo a llevar a cabo. En base a lo anterior se consideró de gran interés llevar a cabo una campaña radiométrica para completar e integrar los datos geofísicos y geoquímicos existentes, por lo que se procedió al diseño de la misma tomando como referencia los datos geológicos, la geometría de los datos de prospección geoquímica y la localización de las zonas de anomalías geofísicas y geoquímicas, de tal manera que uno de los objetivos fue obtener medidas radiométricas en los mismos puntos en donde se realizaron muestreos geoquímicos. Además, en los mismos puntos en donde se realizaron medidas radiométricas se tomaron muestras para análisis mineralógico. El tratamiento de la información disponible ha sido un aspecto primordial del estudio. Este tratamiento ha incluido el análisis geoestadístico (Chica-Olmo, 1987) de los datos de Teledetección y datos radiométricos de campo, sobre los que se ha realizado un análisis estructural y se ha desarrollado un modelo de corregeionalización, para su posterior interpretación. Se han aplicado también técnicas de Krigeaje Factorial para descomponer las variables espectrales en base al modelo de corregeionalización, y se ha realizado un procesamiento de imágenes para calibrar los datos espectrales de satélite teniendo en cuenta los datos radiométricos de campo. El tratamiento geoestadístico se ha extendido también a los datos de las diversas campañas de campo, sobre los que se ha realizado un análisis estadístico, así como un análisis estructural, y la elaboración de un modelo de corregeionalización teniendo en cuenta las propiedades de las correlaciones espaciales entre los constituyentes químicos y físicos de los suelos y rocas, El tratamiento conjunto de datos espectrales de satélite y de campañas geoquímicas de campo mediante algoritmos geoestadísticos es una de las aproximaciones más interesantes que se han realizado con el objetivo de estimar las variables geoquímicas de los suelos y tipos de rocas.

Una vez recopilada y tratada toda la información de que se ha dispuesto se ha realizado un análisis de los datos geológicos y se ha diseñado la estructura lógica de la Base de Datos de Exploración incluyendo los muestreos geoquímicos y geofísicos, escenas multispectrales de satélite y modelos grid de las variables geoquímicas y geomíneras. La estructura relacional de la base de datos se ha diseñado para permitir el almacenamiento de las geometrías de las entidades geológicas y mineras sobre una base topográfica georreferenciada, así como de los atributos que describen las características de dichas entidades. Los distintos tipos de información se han clasificado y han sido recogidos en la Base de Datos de Exploración utilizando el Sistema de Información Geográfica Arc/Info, sobre el que se ha implementado

el prototipo de SIERM. Por otro lado, la existencia de distintas fuentes de información ha hecho que la entrada de datos al Sistema de Información haya sido también diversa, como se muestra en la Tabla I.

| Nombre del mapa | Tipo | Adquisición | Escala | Atributos |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------|-----------------------------|
| Geología superficial | Poligonal, temático | Digitalización manual | 1:25,000 | Tipo litológico |
| Fracturas, filones y lineamientos | Líneas | Digitalización manual | 1:25,000 | Longitud, orientación, tipo |
| Litología fotointerpretada | Poligonal, temático | Digitalización manual | 1:50,000 | Tipo litológico |
| Alteraciones hidrotermales | Poligonal, temático | Digitalización manual | 1:25,000 | Tipo, grado |
| Indicios y explotaciones mineras | Puntos | Base de datos digital | - | Elemento, importancia |
| Estructuras volcánicas | Líneas | Digitalización manual | 1:25,000 | Longitud, tipo |
| Gravimetría | Puntos | Base de datos digital | - | Campo gravitatorio |
| Magnetometría | Puntos | Base de datos digital | - | Campo magnético |
| Geoquímica | Puntos | Base de datos digital | - | 32 elementos geoquímicos |
| Landsat TM, SPOT, ERS-1 y ATM | Raster, escala de grises | Cintas magnéticas compatibles | - | 1 a 12 bandas espectrales |
| Topografía, hidrología y carreteras | Líneas | Digitalización manual | 1:25,000 | Elevación; longitud |
| Pendientes y usos del terreno | Poligonal, temático | Digitalización manual | 1:50,000 | Pendiente; tipo |
| Poblaciones | Poligonal, temático | Digitalización manual | 1:25,000 | - |

Tabla I.- Fuentes y tipos de datos de entrada al SIERM: información geológica y minera, geofísica y geoquímica, de Teledetección y del territorio.

Tras el desarrollo del prototipo se ha procedido a su chequeo. Se ha procedido a experimentar el prototipo en las áreas italiana y española, con vista a integrar todo el conjunto de datos del terreno con las escenas de satélite. La aplicación terminará con la producción de mapas temáticos mostrando las correlaciones entre la información generada por el SIERM y las variables geognósticas identificadas en una etapa anterior.

4.- CONCLUSIONES

La disponibilidad y empleo de un gran volumen de información espacial, como es el caso de un estudio de exploración minera, requiere de la utilización de herramientas de gestión como

las implementadas en los Sistemas de Información Geográfica. Un aspecto fundamental lo constituye la elaboración de un marco geológico y de yacimiento, lo que ha constituido el primer paso en el desarrollo de el SIERM. Por otro lado, las imágenes de Teledetección han supuesto una fuente de información de primer orden. Así, a parte de la propia integración de las imágenes raster en la Base de Datos de Exploración, mediante el análisis y tratamiento de las imágenes ha sido posible derivar numerosas capas de información que han servido para ampliarla. Además el tratamiento conjunto mediante técnicas geoestadísticas de los datos de campo y los datos de Teledetección ha permitido la estimación de numerosas capas de información que también se han integrado en el SIERM. La utilización de estas técnicas ha permitido también el diseño de redes de muestreo para completar la información existente. La utilización de técnicas como la geoestadística espacial y la Teledetección permite por tanto mejorar el desarrollo del prototipo de SIG orientado a la Exploración de Recursos Minerales, SIERM, y permitirá la reducción de los costes de exploración minera a través de la optimización del tratamiento de la información recogida durante los diferentes estudios geomíneros.

5.- AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo ha sido posible gracias al Proyecto de I+D "DARSTIMEX" del Programa BRITE/EURAM de la CE y a la financiación recibida por la DGICYT correspondiente al proyecto PB92-0925-CO2-02.

6.- REFERENCIAS

- Arribas, A.Jr., Rytuba, Jj, Rye, R.O., Cunningham, C.G., Podwysocki, M.H., Kelly, W.C., Arribas, A., Mckee, E.H. And Smith, J.G. 1989. Preliminary study of the ore deposits and hydrothermal alteration in the Rodalquilar caldera complex, southeastern Spain. *U.S. Geol. Survey Open-File Report 89-327*, 39 p.
- Chica-Olmo, M. 1987. *Análisis Geoestadístico en el estudio de la explotación de los recursos minerales*. Ed. Chica-Olmo. 387 pp. Granada.
- ITGE. 1991. *Development of new multidisciplinary techniques for mineral exploration in several areas of the western Iberian Peninsula*. Servicio Publicaciones ITGE. Madrid. 109 pp.