

VALORACIÓN DE COSTES EN EXPLORACIÓN MINERA UTILIZANDO SIG

M. Chica Olmo, J. P. Rigol

Laboratorio RSGIS "Teledetección, SIG y Geostatística". Dpto. Geodinámica. Universidad de Granada. Avda. Severo Ochoa s/n. Granada. 18071. España. Email: rsgis@carpanta.ugr.es

RESUMEN: Se ha desarrollado un prototipo de sistema de información para exploración minera, GEIS (Geological Exploration Information System). El sistema permite simular diversos escenarios de exploración, y permite la optimización de la recogida de datos de prospección. También permite simular el "efecto de información", contribuyendo a reducir los costes de prospección y facilitando la selección óptima de áreas prioritarias para prospección minera. Mediante la reducción de áreas prioritarias en las sucesivas etapas, e incluyendo la posibilidad de simular escenarios de exploración en los que se ha suprimido ad hoc ciertas capas de información, se puede llegar a una reducción de costes entorno al 20%, respecto a la metodología tradicional.

INTRODUCCIÓN

En los sectores primarios relacionados con los recursos naturales, como es la minería, en la que las inversiones que intervienen son muy elevadas y conllevan un elevado riesgo, el uso de técnicas que permitan la reducción de los costes de producción es un aspecto muy importante. 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 sólo se conoce de una forma aproximada su posible rentabilidad. Por tanto, al inicio del proceso, cuando el riesgo de fallo es elevado y en áreas donde los datos son escasos, el principal objetivo es la selección de los sectores potenciales prioritarios, ya que las fases avanzadas de exploración implican grandes volúmenes de trabajo y gastos muy elevados.

El razonamiento anterior destaca el papel relevante que juegan las técnicas actuales utilizadas para procesar e interpretar los datos experimentales, junto con los métodos clásicos utilizados para medir las variables de interés prospectivo. Así, el riesgo de fallo puede ser disminuido verificando que el número de elementos de información extraídos de los datos exploratorios de campo han sido maximizados o y que el proceso de interpretación de los datos ha sido optimizado. Esto destaca el papel complementario, junto con los métodos utilizados para medir las variables de interés prospectivo, de las técnicas adoptadas para procesar e interpretar los datos muestreados. De este modo, los SIG se han convertido en una herramienta tecnológica muy importante en los últimos años, ya que su utilización permite integrar y analizar espacialmente el gran volumen de datos de distintas fuentes de manera conjunta, rápida y económica [3].

Esta idea es la que ha promovido el desarrollo de un prototipo de sistema de información geográfica para exploración minera GEIS (Geological Exploration Information System) en el área volcánica de Cabo de Gata (Almería), donde se localizan yacimientos de oro, sulfuros polimetálicos y bentonitas [1]. Este sistema es capaz de manipular toda la información a través de algoritmos diseñados para operar con estructuras de datos complejas e incorporando funciones de análisis potentes para resolver problemas espaciales [5]. El objetivo es evaluar y/o ponderar la importancia de cada uno de los elementos que integran el sistema de información para de esta forma tener otro factor a tener en cuenta en la toma de decisiones. Mediante la simulación de escenarios es posible analizar la variable o variables que tienen mayor o menor relevancia en la exploración minera, pudiendo de esta forma conseguir una importante reducción de costes en esta complicada fase de búsqueda de recursos minerales.

EL PROTOTIPO GEIS

GEIS es un prototipo de software de ayuda a la toma de decisiones en exploración minera, implementado sobre el SIG ARC/INFO. Para su construcción se ha realizado una interpretación de todas las variables de exploración (geognósticas) disponibles, con objeto de elegir las más adecuadas y proceder a su categorización [4]. Esta labor se ha repetido para las tres etapas de exploración que clásicamente se distinguen en una campaña tipo de exploración minera: preliminar, reconocimiento, detalle. Las diferentes capas de información se han agrupado de acuerdo al esquema organizativo que puede establecerse en una situación real o bien en una simulación de cada una de las etapas de exploración:

1. Etapa Preliminar: Geología a partir de Fotointerpretación TM/SPOT; Geología a partir de Clasificación TM; Geología a escala regional (1:200,000); Lineamientos a partir de teledetección; Geoquímica de suelos/rocas; Mineralogía; Indicios mineros (densidad media).
2. Etapa de Reconocimiento: Geología a escala 1:50,000; Fracturación; Estructuras volcánicas; Aeromagnetometría; Geoquímica de reconocimiento; Indicios mineros (densidad alta).
3. Etapa de Detalle: Geología de detalle; Clasificación de imágenes ATM; Magnetometría; Gravimetría; Geoquímica de detalle; Radiometría; Indicios (alta densidad).



FIG. 1) - Simulación de la etapa de Detalle (sulfuros polimetálicos). Los tonos claros indican mayor potencialidad.

Hay que señalar, que en las sucesivas etapas de exploración siempre se dispondrá de la información propia de cada una de ellas más la información adquirida en las etapas anteriores.

Todas las variables de GEIS han sido categorizadas en cuatro niveles de interés minero, de tal manera que la variable en cuestión es tratada como un parámetro indicando un rango de idoneidad o favorabilidad desde el punto de vista minero, concretamente se han utilizado los niveles Muy Poco Favorable, Poco Favorable, Favorable y Muy Favorable [5]. La implementación de GEIS se ha realizado asignando pesos (2, 4, 8, 16) a los mapas predictores en base a la opinión de expertos en exploración minera. Se ha escogido la ponderación multiclasa como método de combinación de los mapas, en el que las diferentes clases que aparecen en cada uno de los mapas se le asigna un peso diferente, al igual que se le asigna un peso diferente a cada uno de los propios mapas [2]. Todo el proceso de simulación ha sido implementado en el lenguaje de macros AML, y asistido por un interface gráfico de usuario (IGU). El IGU está dividido en dos módulos principales, uno dedicado a la gestión de cubiertas y grids, y otro al análisis espacial. En el primero se incluyen utilidades como consulta de tablas de atributos, ponderación, etc., incluyendo conversiones entre formato vectorial y raster. El módulo dedicado al análisis espacial consta de varios niveles de menús, partiendo de un menú principal en que se selecciona el tipo de yacimiento y la fase de exploración minera que se quiere modelizar. Dependiendo de la selección se entra en un menú en el que se detallan los parámetros o capas disponibles en esa etapa de exploración, y en el que es posible especificar interactivamente los parámetros que se hacen intervenir en el análisis, así como el peso asignado a cada uno de ellos.

El resultado de la simulación con GEIS expresado en forma gráfica, es un mapa temático en el que cada pixel toma un valor (Índice de Favorabilidad Minera), que en algunos casos varía entre 0 y 16 (0 Muy poco favorable; 16 Muy favorable), o entre 2 y 16 dependiendo del método elegido para tratar las áreas parcialmente informadas. Este valor puede ser interpretado como un Índice de Favorabilidad Minera (IFM), que indica las zonas más idóneas o más importantes en cuanto al posible existencia de un depósito mineral del tipo en cuestión.

SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE EXPLORACIÓN

Se ha utilizado GEIS para simular distintos escenarios de exploración correspondientes a las etapas de una campaña de exploración tipo. Así, cada escenario de simulación va a suponer un grado de conocimiento geológico-minero diferente del área de estudio. La metodología es calibrada a través de la identificación de las áreas mineras conocidas, puestas de manifiesto por los métodos convencionales. De esta forma, la calidad de GEIS es evaluada en función del grado de correlación entre ocurrencias mineras conocidas (minas, indicios, etc.) y el valor temático de interés minero dado por el sistema. Además, la metodología tratará de poner de manifiesto nuevas áreas de interés prospectivo.

En la simulación de la fase de exploración Preliminar el IFM toma valores bajos, en términos absolutos, pero resaltan muy bien aquellas áreas de interés sobre las cuales sería interesante desarrollar las siguientes etapas de exploración. En la etapa de Reconocimiento el resultado de las simulaciones muestra ahora un IFM, con un rango de valores entre 1 y 12. En la etapa de Detalle el IFM toma valores entre 1 y 16. En la Fig. 1 se muestra el resultado de una simulación de la etapa de Detalle para los depósitos de sulfuros polimetálicos.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Uno de los puntos fundamentales es la comparación de los resultados de las simulaciones correspondientes a las etapas de exploración en el área de Cabo de Gata, vistas anteriormente, para poder llegar a una valoración económica de los costes de exploración minera. El análisis puede abordarse tanto desde el punto de vista puramente visual, mediante la comparación visual de los mapas de IFM correspondientes a las distintas etapas, como desde el punto de vista numérico-estadístico, mediante la comparación de los distintos valores temáticos en cada uno de los mapas obtenidos. En ambos casos el objetivo final es determinar la influencia del "nivel de información" disponible en cada una de las etapas sobre la delimitación de las zonas con mayor potencial minero (target).

Así, para la mineralización de sulfuros polimetálicos, el resultado de la simulación correspondiente a la etapa preliminar, permite delimitar fácilmente las zonas más interesantes para ser estudiadas en la siguiente etapa. Si se utiliza un valor de corte temático de 3 (IFM=3), el área inicial de 312 km² se reduce a 98 km², lo que supone una reducción de la superficie a investigar entorno al 69%. En la etapa de reconocimiento, la simulación realizada permite restringir de nuevo el área de interés de 98 km² hasta 34 km² (IFM=7). En la simulación realizada en la etapa más avanzada, si utilizamos un valor temático de corte igual a 9 podemos reducir el área más interesante de cara a realizar futuras investigaciones, de 34 km² a 8 km² (Fig. 2), lo que supone una reducción del 76% aproximadamente. Por tanto, la superficie seleccionada tras todo el proceso de simulación supone algo menos del 3% de la superficie total inicial de Cabo de Gata (Fig. 2).

La Fig. 2 muestra el histograma acumulado de la superficie de las áreas de interés en función de valor del IFM, y de ella se desprende una conclusión que puede ser interesante, ya que se observa que entre la etapa preliminar y de reconocimiento hay una gran diferencia en la distribución de las áreas, indicando una gran ganancia de información, mientras que entre la etapa de reconocimiento y de detalle las diferencias son menores, indicando que la ganancia de información es proporcionalmente menor al pasar de una fase a otra. Esta circunstancia apunta la posibilidad de que se puede llegar a unos resultados equiparables a los de la etapa de detalle utilizando fundamentalmente la información de la etapa de reconocimiento más algún tipo de información más avanzada. Esta circunstancia podría traducirse en una inmediata reducción de los costes de exploración.

De este análisis comparativo cabe destacar que uno de los puntos fuertes de GEIS lo constituye la posibilidad de hacer intervenir o eliminar distintos tipos de información correspondiente a distintas fases de la exploración minera, de forma interactiva. De esta forma se obtienen mapas de IFM para cada ensayo, que pueden ser comparados estadísticamente con la información de indicios mineros disponible, y así ir ajustando escenarios de exploración teóricos, de manera que nos permita llegar a unos resultados óptimos tanto desde el punto de vista prospectivo como económico.

Para verificar el grado de ajuste entre las variables número de indicios e IFM se ha calculado el coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman R, que presenta un valor de 0,54, indicando que existe una correlación positiva, aceptable, entre indicios e IFM. También, se ha calculado el número de indicios medio que hay para cada valor de IFM (E[Indicios/IFM]), de manera que aparece una relación mucho más clara entre ambas variables. Se ha podido así ajustar una función ponderada por la varianza de los indicios correspondientes a cada valor de IFM, que explica muy bien la relación existente.

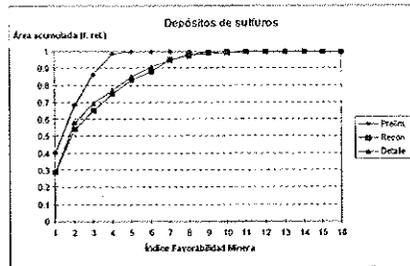


FIG. 2) - Gráfico binario IFM frente a área acumulada (sulfuros polimetálicos).

La comparación entre los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones nos ha permitido evaluar el efecto que tiene el nivel de información en la identificación/selección de las áreas de mayor interés minero. Esto ha sido posible gracias al uso de GEIS como herramienta de toma de decisiones.

También se ha realizado una valoración aproximada y general en términos técnicos y económicos de la metodología implementada en GEIS y la metodología tradicional. La finalidad ha consistido en poder realizar un supuesto, que nos permita hacer una valoración preliminar sobre la viabilidad técnica y costes económicos de la aplicación de GEIS. Estos primeros cálculos se han realizado sobre el área Cabo de Gata-Rodalquilar y para la búsqueda de mineralizaciones de oro, sulfuros polimetálicos y bentonitas. Como elementos básicos de este análisis comparativo utilizaremos el efecto de reducción de superficie a investigar y el efecto producido por la posibilidad de eliminación de información en las diferentes etapas de prospección. Estos dos aspectos son los que consideramos como aportaciones más importantes de GEIS.

Empleando la metodología GEIS se ha conseguido reducir el área de interés para la realización de futuras investigaciones mineras (como sondeos o geofísica eléctrica) de forma significativa. La reducción de costes que se produciría como consecuencia de la reducción del área de interés mediante la metodología GEIS puede suponer un punto importante dentro del capítulo de gastos en las fases iniciales de un proyecto de exploración minera. Concretamente, esta reducción puede estimarse en un 20 % respecto a la metodología tradicional, de acuerdo a los costes unitarios estimados. Hay que tener en cuenta que también se produce una reducción importante en el área a estudiar en futuras fases de exploración más detalladas (sondeos, etc.) que, aunque no han sido evaluadas en detalle, podrían suponer también una reducción significativa.

En la Tabla 1 se muestran las áreas seleccionadas con GEIS y con la metodología tradicional, para el caso de la mineralización de oro. En la Tabla 2 se detallan los costes aproximados que supondrían ambas metodologías, teniendo en cuenta la reducción del área prioritaria en cada una de las etapas de prospección.

TABLA 1) - Áreas seleccionadas con los métodos tradicional y GEIS (depósitos de oro).

Fase Prosp.	Depósitos de oro		
	Áreas seleccionadas (km ²)		
	Tradicional	GEIS	Reducción
Preliminar	312	312	0 %
Reconocim.	120	90	25 %
Detalle	60	30	50 %
Siguiente	16	9	44 %
Fase Expl.			

TABLA 2) - Comparación de costes de los métodos tradicional y GEIS (depósitos de oro)

Fase Prosp.	Depósitos de oro		
	Inversión (miles pta.)		
	Tradicional	GEIS	Reducción
Preliminar	9,225	9,225	0 %
Reconocim.	16,155	14,000	13 %
Detalle	25,735	17,437	32 %
Siguiente			
Fase Expl.			

De todo lo anterior se deduce que la reducción de costes que puede producirse por la utilización de GEIS es muy variable dependiendo del escenario de exploración que se simule. Así, hemos visto que mediante la reducción de áreas prioritarias en las sucesivas etapas de la exploración, se podría llegar a una reducción de costes del 15-20 %, respecto a la metodología tradicional. Si en las simulaciones se eliminan capas de información, y/o se sustituyen capas por sus correspondientes menos detalladas, la reducción se puede incrementar en un buen porcentaje, aunque es difícil cuantificarlo debido a la incidencia que tendría en la siguiente fase de exploración minera, en la que se incluyen sondeos mecánicos, calicatas, etc.

En definitiva el sistema GEIS es una herramienta de simulación espacial versátil e interactiva, que permite simular diversos escenarios de prospección minera, y ayuda a la optimización de la recogida de datos de prospección. También permite simular el "efecto de información", contribuyendo a reducir los costes de prospección y facilitando la selección óptima de áreas prioritarias para prospección minera. Así, se puede establecer un Índice de Favorabilidad Minera de carácter espacial para cada tipo de depósito mineral del área de estudio

REFERENCIAS

- [1] ARRIBAS ROSADO, A. Y A. ARRIBAS MORENO. "Caracteres metalogénicos y geoquímica isotópica del azufre y del plomo de los yacimientos de minerales metálicos del sureste de España". 1995. Boletín Geológico y Minero, Vol. 106-1, pp. 23-62.
- [2] BONHAM-CARTER, G. F. "Geographic Information Systems for Geoscientists: modelling with GIS". 1994. Computer methods in the geosciences. Volume 13. Pergamon. 398 pp.
- [3] BURROUGH, P. "Principles of Geographical Information Systems for Land resources assessment". 1988, Oxford. Oxford University Press.
- [4] CHICA OLMO, M. Y RIGOL SÁNCHEZ, J.P. "Desarrollo de un Sistema de Información para exploración de recursos minerales". Teledetección: Usos y Aplicaciones, 1997, Editores: J. L. Casanova J. Sanz Justo, Valladolid: Secretariado de publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Valladolid, 540 p.
- [5] CHICA OLMO, M. ; RIGOL SÁNCHEZ, J.P. ; ABARCA, F. Y DELGADO J. "Development of Advanced Remote Sensing Technology in the Initial Phases of Mineral Exploration", Informe técnico Programa BRITE/EURAM C.E., 1996, (Inédito), 650 p.