



La susceptibilidad minera en el contexto de la planeación regional de territorios extractivos

Profesor Antonio Romero H. Dr. Ing

Ingeniero Alejandro Delgado J. M Ing.

Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia

1. Introducción:

El término de susceptibilidad utilizado en las ciencias de la tierra tiene un amplio abanico de aplicaciones y abarcan aplicaciones predictivas para la gestión de deslizamientos, acuíferos, minerales, entre otros.

Su operación se basa en la captación de información localizada y la construcción de modelos matemáticos y estadísticos que predicen el comportamiento espacial de las variables de estudio y configuran diferentes zonificaciones que permiten anticiparse al comportamiento de las variables que constituyen el objeto de estudio.

Este artículo presenta algunas ideas generales sobre la susceptibilidad minera de los territorios, orientadas a la construcción e integración de diferentes herramientas matemáticas, estadísticas, geográficas, modelos algorítmicos y computacionales que integran las particularidades del negocio minero como reservas, condiciones de explotación y su actividad extractiva con el territorio, las dinámicas que genera, estimula y/o transforma.

2. El método GCI



El concepto de integración geoespacial correlativa, GCI por sus siglas en inglés (*Geospatial Correlative Integration*), es una propuesta contenida en el trabajo¹ de los investigadores Lee² y Ryu³. La integración espacial correlativa usa los sistemas de información geográfica y sensores remotos como herramientas básicas para crear mapas de susceptibilidad o mapas potenciales usando modelos probabilísticos, estadísticos y minería de datos para aplicaciones en Geo-Ciencias. Aunque el GCI no es un concepto nuevo, tiene similitud con la función de *overlay*, centro de la metodología de los sistemas de información geográfica; pero el GCI es una técnica más detallada que la función *overlay* de GIS. Los sistemas de Información Geográfica y los sensores remotos ha sido ampliamente utilizado en aplicaciones de modelación geoambiental relacionadas con:

1. Amenazas naturales: Deslizamientos, subsidencias, terremotos, inundaciones
2. Recursos geológicos: minerales, petróleo y otros hidrocarburos; aguas subterráneas, agregados
3. Contaminación ambiental: en aguas subterráneas y suelo
4. Ecología: uso del suelo, especies, evaluación del hábitat

Muchas fuentes de información espacial pueden ser usadas para la integración espacial correlativa, incluyendo mapas topográficos, geológicos, de suelo, forestales, de uso del suelo, entre otros.

La información espacial puede ser dividida en dos tipos: datos dependientes y datos independientes. Los dependientes hacen referencia a los datos relacionados con topografía, geología, entre otros. Los independientes hacen referencia a los datos relacionados con información de localización como recursos minerales, subsidencia, minas, entre otros.

La integración de los datos puede ser usada para generar mapas potenciales y de susceptibilidad, que integran y correlacionan los diferentes atributos, basados en un modelo operable. En estudios previos se han usado varios tipos de modelos que incluyen opiniones de expertos, y aproximaciones determinísticas, probabilísticas, estadísticas y de minería de datos.

¹GIS and Remote Sensing based Geo-Environmental Modelling

²Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

³Korea Ocean Research and Development Institute



El proceso que resume la integración geo-espacial correlativa, se presenta en la figura 1, traducida de la propuesta por Lee:

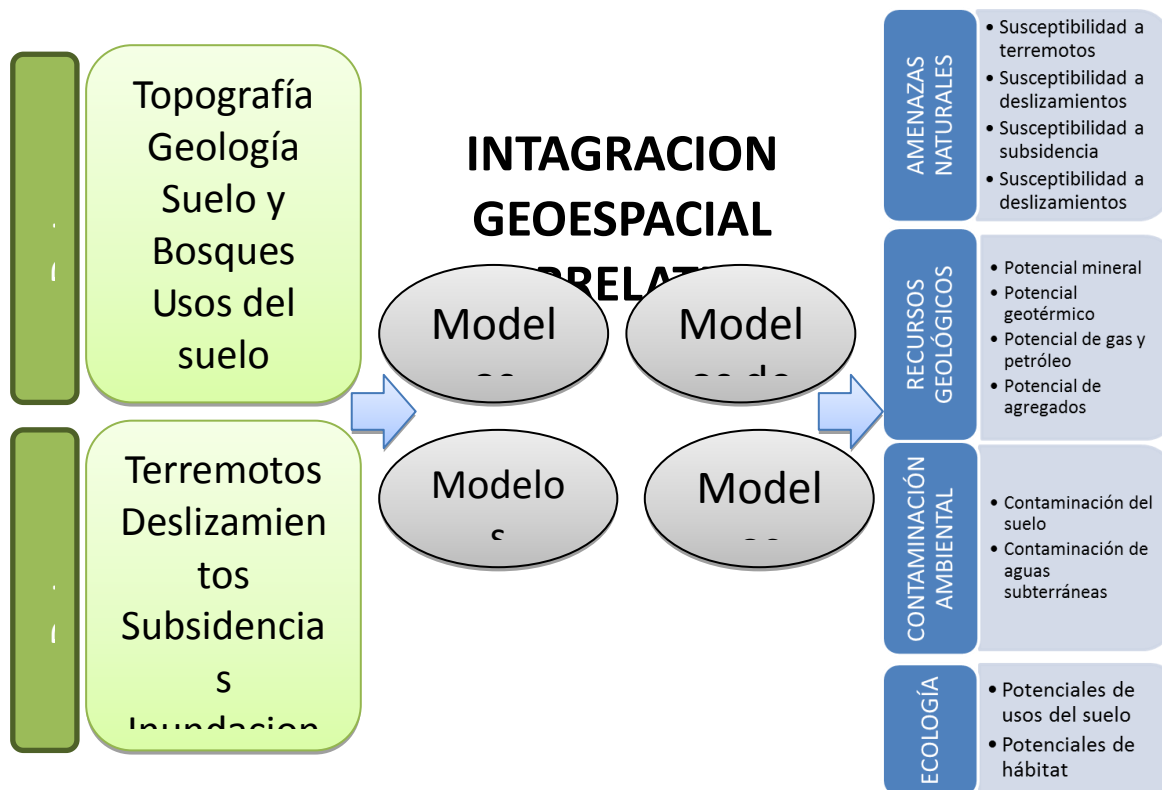


Figura 1. Proceso de la integración espacial correlativa

Fuente: Lee

3. Dinámica del negocio minero

Existen en el mundo algunas estadísticas que dan cuenta de cifras aproximadas para la cantidad de prospectos exploratorios que terminan en proyectos exitosos de mediana y gran escala en minería. La figura 1 es una propuesta por Spitz y Trudinger (2008).



Figura 2. Esquema de avance y maduración de los proyectos de exploración en minería.

Fuente: Traducido de Spitz y Trudinger (2008)

Estas cifras establecen que de cada 1000 prospectos de prospección general y exploración, 100 logran avanzar a una etapa de perforación de reconocimiento; de estos solo 10 llegan a ser prospectos de perforación de exploración y aproximadamente entre 3 y 10 terminan siendo mina. Algunas diferencias entre un proyecto de prospección general y de exploración, y una mina, es la construcción de factibilidad que incluye un mayor detalle de información y conocimiento geológico, el mercado, las condiciones geográficas y tecnología, entre otras.



Además, las cifras de éxito están asociadas a las bajas probabilidades de delinear reservas que den origen a proyectos de mediana y gran escala dado que no basta con encontrar una anomalía mineral, sino también, en lograr consolidar la factibilidad, el negocio y el desarrollo del mismo.

Para lograr una reserva, diferentes fases de exploración se desarrollan, que van desde levantamiento y tratamiento de imágenes satelitales, como primera etapa; prospección superficial y etapas más maduras derivarán en perforación y delineamiento de reservas en mayor detalle. El proceso de exploración evoluciona de indicios de mineral a una cuantificación de reservas condicionadas por el mercado, la concentración del mineral en el depósito, su distribución física, los posibles métodos de extracción, la posibilidad de beneficiarlos, las condiciones del entorno y en su conjunto, en el insumo del negocio que permitirá obtener los retornos de las inversiones; además, sus resultados y el conocimiento geocientífico acumulados, representan valor técnico y económico para un depósito que podría considerarse como una propiedad.

El avance y la maduración de un proyecto minero, podría explicarse a partir de la Figura 2, que ilustra la dependencia entre el conocimiento geológico y la economía de la producción. Esta figura es una representación del significado de la información, el conocimiento del depósito o anomalía mineral y la economía en la definición de recursos o reservas.

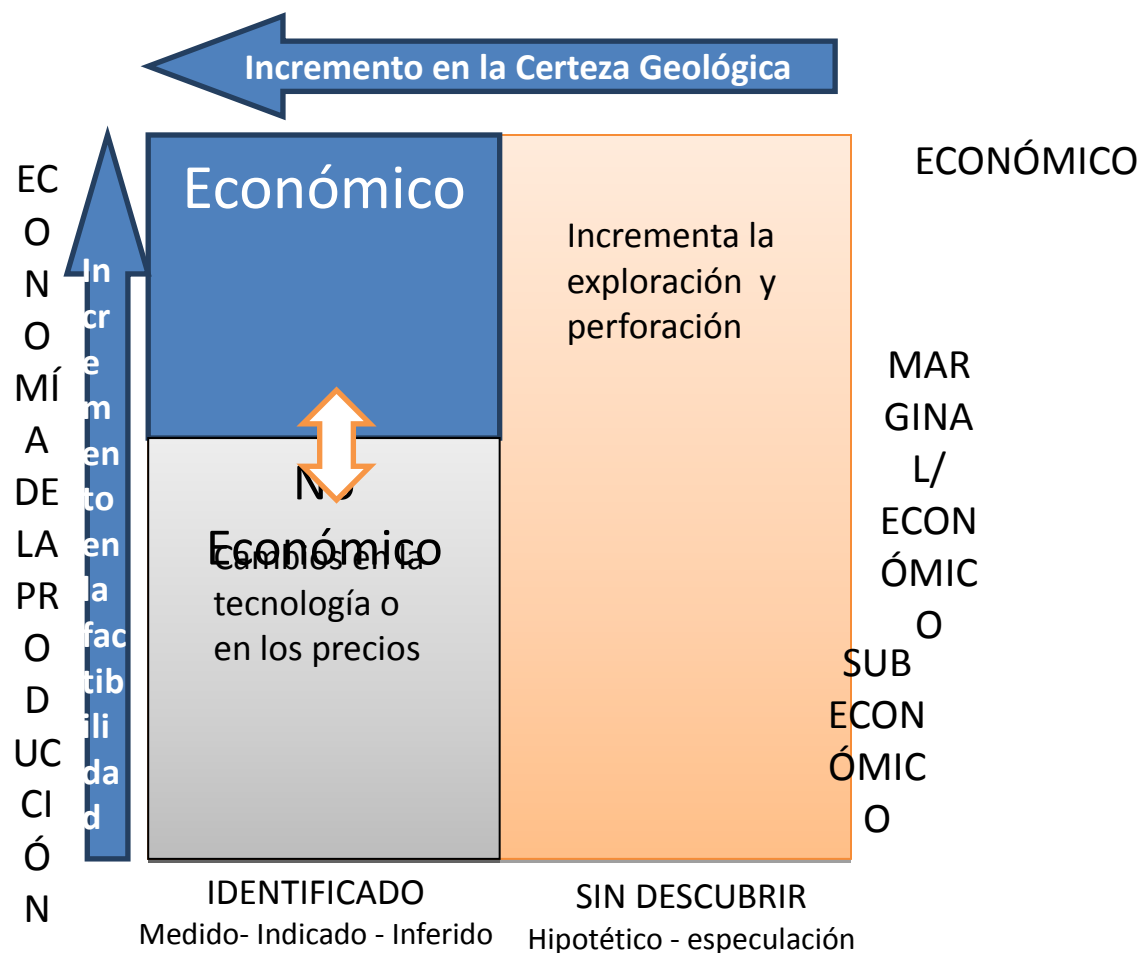


Figura 3. Maduración de un proyecto minero
 Fuente: Traducido y modificado de Spitz y Trudinger (2008)

En el eje horizontal, se observa el incremento de la certeza geológica, que da cuenta de la evidencia y la presencia del depósito mineral que se estudia. Esta certeza tiene una dependencia total del proceso de exploración que a medida que avanza, consolida la realización y el desarrollo de un negocio minero. El conocimiento geológico está relacionado con los avances exploratorios en función de información histórica, exploración superficial, perforaciones y delineamientos más finos de los depósitos objetos de estudio.

En el eje vertical, inicialmente se considera la economía de producción, asociado al tamaño, tecnologías y condición del subsuelo objeto de explotación. Además, consolida la factibilidad del



proyecto y combina la tecnología con los tenores presentes en el depósito de estudio y el modelo extractivo derivado del mismo.

El proceso de delineamiento de la factibilidad y desarrollo del negocio minero es un proceso que puede durar varias décadas, e inicia en un cambio en la demanda de mercado y termina en la modificación de dinámicas económicas, sociales, ambientales y físicas de un territorio desde diferentes modelos y perspectivas. Sin embargo, cada proceso condiciona una dinámica específica de trabajo y supone un trabajo continuo, secuencial, ó paralelo de un sistema extractivo específico.

Con esto, se entiende la dinámica del negocio minero como un proceso condicionado por el conocimiento geológico e histórico de la zona, el mercado, la economía y un contexto geográfico.

En una visión integral del negocio minero, la planeación, el aprovechamiento de las ventajas y la distribución de las ganancias derivadas de la explotación de los recursos naturales en los territorios, es una opción que configura un sistema integrado en varios decisores, diferentes criterios, varios actores, diversas escalas y la incertidumbre asociada al desempeño de las alternativas de proyectos desarrollados. Además incluye recursos, proyectos, impactos, retornos e incertidumbres derivados de los beneficios que pueden lograrse en cada operación.

Este ordenamiento y desarrollo debe de basarse en información adecuada, técnicamente calificada, y en la comunicación clara, que faciliten el conocimiento de todas las dimensiones integradas a este desarrollo. Además, deben involucrar a los actores adecuados, con definiciones más exactas, con menor incertidumbre y una comprensión más integral de los retos y oportunidades a los que enfrenta una región.

4. El concepto de susceptibilidad minera

La susceptibilidad minera se define como “la combinación de variables geológicas, ambientales, económicas y sociales, cuyo análisis y tratamiento, permite inferir condiciones favorables para que se desarrolle la minería en un territorio”.



La susceptibilidad minera indica una favorabilidad que posibilita la existencia de actividades mineras que están sujetas a características del negocio minero como: condiciones del mercado, estabilidad jurídica de la región, conflictos de diversa naturaleza, entre muchas otras. Esta favorabilidad, basada en el conocimiento de las potencialidades debe servir para preparar al territorio para controles y transformaciones, estar alerta sobre los cambios y las tendencias que puedan derivar en proyectos que se logren dirigir y aprovechar de manera adecuada.

La susceptibilidad minera es relevante y cobrará mayor importancia en la medida que permita focalizar los esfuerzos de planeación para dar respuesta a los cambios en la dinámica que imprime el negocio minero en los territorios que interviene.

Las fuentes e información geo referenciada, revelan atributos específicos en una zona con coordenadas y extensión conocidas, generalmente publicada por entidades estatales. La gran parte de los trabajos bibliográficos disponibles relacionados con la explotación minera y el potencial minero en una región específica son útiles y deben ser consultados.

También deben complementarse los datos con la consulta de expertos y la validación en campo. La consulta a expertos debe hacerse con el fin de validar la información relevante a los aspectos ambientales, como zonas de restricción ambiental e información geológica y minera de la zona de estudio. La validación en campo se hace cuando se han identificado las zonas que representaban mayor atractivo, y se visitan con el fin de contrastar la información disponible en las entidades públicas y aquella disponible en las zonas de estudio. También es posible, a través de entrevistas levantar información y elementos de orden social y económico que permite complementar el análisis y las recomendaciones.

En el ejercicio se consideran varios criterios de evaluación como líneas de orientación que permiten establecer los juicios para la interacción de las variables de estudio, como: restricciones, actividades mineras previas, solicitudes en diferentes estados y anomalías geoquímicas.

La integración de la información espacial puede hacerse mediante la utilización de una herramienta SIG (Sistema de Información Geográfica), para la georreferenciación, superposición y tratamiento de los datos pertenecientes a las variables de contexto y las variables de estudio. Para lograrlo, se



establecen 6 criterios de selección que permiten, en función de la información y el modelo disponible, determinar la susceptibilidad minera en el territorio. Estos criterios fueron los siguientes:

- C_R : Criterio de restricciones ambientales, tanto propuestas como declaradas.
- C_1 : Criterio de existencia de solicitudes de contrato de concesión, para cualquier mineral.
- C_2 : Criterio de existencia de anomalías geoquímicas de cualquier tipo e intensidad.
- C_3 : Criterio de existencia de títulos mineros en cualquier fase del proceso minero.
- C_4 : Criterio de superposición entre títulos mineros en cualquier fase y anomalías geoquímicas de cualquier tipo e intensidad.
- C_5 : Criterio de superposición entre títulos con licencia ambiental o PMA presentado y anomalías geoquímicas de cualquier tipo e intensidad.

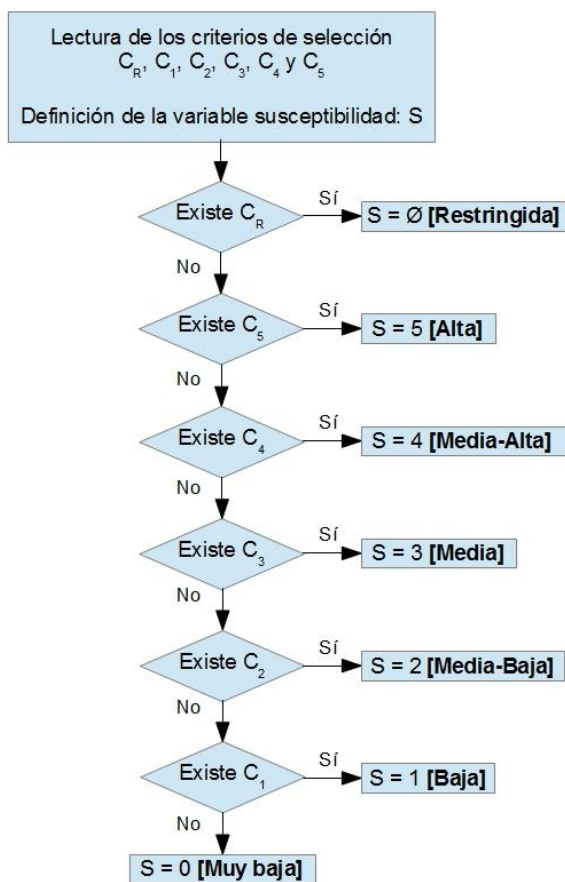
Mediante un proceso algorítmico de selección se establece el grado de susceptibilidad minera con una calificación de 0 a 5, siendo 0 la susceptibilidad más baja y 5 la más alta; se incluye además, una susceptibilidad de tipo ‘restringida’ en la que las restricciones ambientales impedirían cualquier tipo de desarrollo minero. De esta forma el proceso de selección es el siguiente:

1. Si en la zona hay presencia de restricciones ambientales, la susceptibilidad es “Restringida” y no se asigna ningún valor a este criterio, en el caso que no las haya se evalúa el C_5 .
2. Si en la zona hay presencia de títulos mineros con licencia ambiental o PMA presentado, que además se superponen con zonas de anomalía geoquímica, la susceptibilidad es “Alta” y se le asigna un valor de 5, en el caso que no exista dicho criterio se evalúa el C_4 .
3. Si en la zona hay presencia de títulos mineros en cualquier fase, superpuestos con anomalías geoquímicas de cualquier tipo e intensidad, la susceptibilidad es “Media-Alta” y se le asigna un valor de 4, en el caso que no exista dicho criterio se evalúa el C_3 .
4. Si en la zona hay presencia de títulos mineros en cualquier fase del proceso minero, la susceptibilidad es “Media” y se le asigna un valor de 3, en el caso que no exista dicho criterio se evalúa el C_2 .



5. Si en la zona hay presencia de anomalías geoquímicas de cualquier tipo e intensidad, la susceptibilidad es “Media-Baja” y se le asigna un valor de 2, en el caso que no exista dicho criterio se evalúa el C_1 .
6. Si en la zona hay presencia de solicitudes de contrato de concesión, la susceptibilidad es “Baja” y se le asigna un valor de 1, en el caso que no exista dicho criterio se establece que la susceptibilidad es “Muy baja” y se asigna un valor de 0 a este criterio.

Lo descrito anteriormente para la integración espacial, se esquematiza en la siguiente figura



La metodología de integración espacial arrojó como resultado el Mapa de Susceptibilidad Minera. Este mapa integra la información de potencial del territorio (anomalías geoquímicas), el interés minero del territorio (contratos de concesión y solicitudes de contratos de concesión) y las restricciones (cabeceras municipales y restricciones ambientales). El mapa de susceptibilidad minera permite identificar las áreas en las cuales las actividades mineras están restringidas y las áreas en las cuales la actividad minera se está desarrollando o existe una probabilidad de que se desarrolle.

La susceptibilidad es un ejercicio de mapeo múltiple y de análisis de condiciones de un desarrollo minero en una región, actuando

juntos bajo el procesamiento de modelos que permitan establecer zonas potenciales de alojar algún proyecto minero en el territorio.



Esta es una contribución a la construcción de factibilidades integrales, es decir, que considere la gran mayoría de dimensiones que entre otras incluyen las ambientales, sociales, económicas, técnicas y financieras. La factibilidad es un proceso de estudio detallado en el que se proyectan la mayor cantidad de variables involucradas en el desarrollo del negocio minero y permite la toma de decisiones que le dan vida al proyecto minero.

La susceptibilidad minera es un factor fundamental en la construcción de la sostenibilidad del negocio en todas las etapas posteriores de trabajo que incluyen condiciones endógenas y exógenas que comprometen la continuidad de la actividad minera y sus negocios asociados en la cadena de desarrollo. Debe entenderse la susceptibilidad minera como la orientadora de recomendaciones estratégicas que se derivan de cada contexto propio, de la naturaleza del negocio minero, de la dinámica económica y en general, de la combinatoria propia de cada particularidad regional – local.

Ella es un factor fundamental en la construcción de la sostenibilidad del negocio en todas las etapas posteriores de trabajo que incluyen condiciones endógenas y exógenas que comprometen la continuidad de la actividad minera y sus negocios asociados en la cadena de desarrollo. Debe entenderse la susceptibilidad minera como la orientadora de recomendaciones estratégicas que se derivan de cada contexto propio, de la naturaleza del negocio minero, de la dinámica económica y en general, de la combinatoria propia de cada particularidad regional – local.

La susceptibilidad minera es una función integradora (compleja, es decir de relaciones e interacciones no reduccionistas). Actores, recursos e intercambios en función del aprovechamiento de la riqueza contenida en el subsuelo y la minimización de los impactos negativos sobre el entorno intervenido.

5. Recomendaciones

Las recomendaciones estratégicas son derivadas del contexto propio de la región, de la naturaleza del negocio minero y de la dinámica económica que la misma puede generar. Estas recomendaciones son elaboradas en función de integrar actores, recursos e intercambios en función



del aprovechamiento de la riqueza contenida en el subsuelo y la minimización de los impactos negativos sobre el entorno intervenido.