

**INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD DE LA ACTIVIDAD MINERA
CON BASE EN EL ORDENAMIENTO DEL TERRITORIO: CONFLICTOS
ENTRE EL SUELO - SUBSUELO Y CAPACIDAD DE ACOGIDA DEL
TERRITORIO PARA LA MINERÍA**

*Alejandra Ortega
Colombia*

INTRODUCCIÓN

Ante la importancia que representa la industria minera para el desarrollo de Colombia y de Iberoamérica, y dada la tendencia expansiva del sector, las autoridades ambientales y territoriales y el sector minero demandan herramientas que aporten criterios para la toma de decisiones con relación a la planificación y ordenación de zonas con potencial minero. De tal manera, la actividad minera puede incorporarse y articularse a los procesos de planeación del desarrollo y ordenamiento del territorio, de modo que genere menor conflicto con los usos del suelo y con otro tipo de actividades económicas.

En este estudio se presenta un instrumento metodológico para la planificación y ordenación de territorios con potencial minero, constituido básicamente por dos análisis, el de Conflicto entre el suelo y subsuelo, y el de Capacidad de acogida del territorio para la minería; y el resultado de su aplicación en la zona minera de la empresa Mineros S.A., en el Municipio de El Bagre (Antioquia, Colombia).

La propuesta metodológica se basa en la aplicación de técnicas de Análisis Multiobjetivo –AMO– (Método de las Jerarquías Analíticas y Método de los Promedios Ponderados) y de Sistemas de Información Geográfica –SIG–. Con el primer elemento (AMO) se facilita la evaluación de alternativas a la luz de múltiples criterios en conflicto, y la incorporación de la estructura de preferencias de varios actores. El segundo instrumento (SIG) permite la consideración de atributos espaciales, lo que hace de la metodología una herramienta para la planificación de procesos de naturaleza espacial como es la ordenación del territorio.

CONFLICTOS DE USO ENTRE EL SUELO Y SUBSUELO

El proceso de ordenación del territorio que considere los recursos minerales se enfrenta a un conflicto entre los distintos intereses y demandas sociales que se plantean sobre estos bienes (Ver Figura 1). Sobresalen los intereses del sector minero por explotar tales recursos; los del Estado como propietario del subsuelo y regulador de la explotación minera; y los de la comunidad que tiene una identidad propia con los recursos y ve en su extracción, además de un medio de subsistencia, una acción predatoria de la base natural de su territorio. Por añadidura, existen intereses por parte de grupos al margen de la ley que pugnan por su control y explotación.

Se establece también que de la relación entre la minería y el ambiente surgen otro tipo de conflictos: los de los impactos que afectan al medio natural y socioeconómico. Resultan impactos positivos como la generación de empleo, de impuestos, y mejoramiento de infraestructura; y efectos negativos como la contaminación de los cuerpos de agua, degradación de los suelos, alteración del paisaje, entre otros.

También, están los conflictos entre el suelo y el subsuelo, los cuales se presentan entre los usos actuales o proyectivos del suelo y el potencial geomínero. En este caso, el nivel de conflictividad es mayor cuando zonas con importante potencial minero se traslapan con territorios indígenas o de comunidades negras; áreas de manejo especial como los parques nacionales naturales; y centros poblados; entre otros.

Es relevante mencionar que en Colombia la resolución de algunos conflictos, como el que se presenta entre la minería y los humedales, se dificulta por la incoherencia entre la normatividad minera y la legislación ambiental y territorial. De igual manera, la desarticulación institucional entre el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial obstaculiza la resolución de conflictos de intereses.

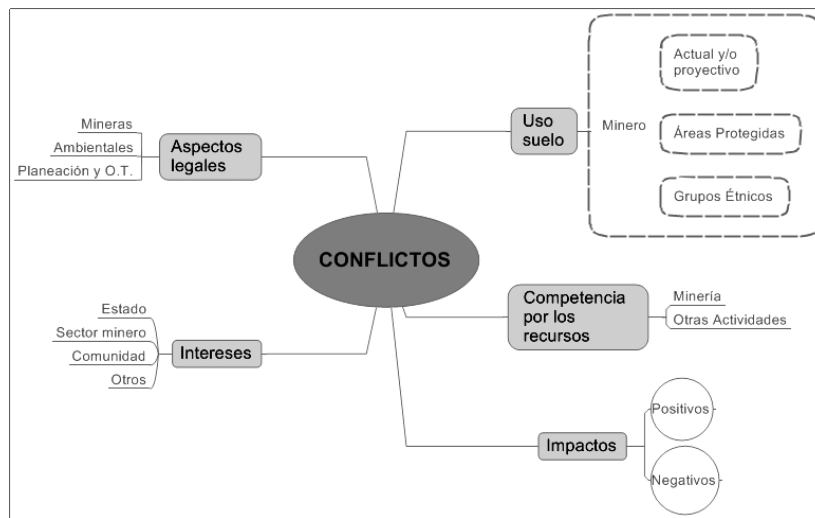


Figura 1 - Conflictos de la ordenación territorial de zonas mineras

Entre las herramientas básicas para la ordenación de zonas mineras, está el análisis de los conflictos entre el suelo y el subsuelo, análisis que conduce a la identificación y selección de las variables "contradictorias" del proceso, las cuales serán utilizadas en el modelo de evaluación multicriterio.

Para este análisis existen varios escenarios relacionados a los posibles conflictos del subsuelo con los usos del suelo. Estos escenarios son bastante dinámicos porque dependen de variables como el potencial minero, cuyas categorías cambian con las fluctuaciones en los precios de los minerales y con el conocimiento que se va adquiriendo del depósito mineral.

Es así como el mapa de conflictos se construye a partir de la combinación del mapa de potencial minero y el mapa de usos del suelo mediante la aplicación de reglas de decisión (funciones heurísticas). Estas reglas permiten valorar la información en función del nivel/grado de conflictividad. Es posible definir, según el criterio de los analistas, distintas reglas de decisión que producirán, a su vez, distintos escenarios de conflicto. Este mapa será de gran interés para detectar un *primer nivel de conflictos*.

Para el *área de estudio* se construyen tres escenarios de conflicto entre el suelo y el subsuelo: Conflictos con el uso proyectivo del suelo, con el uso actual del suelo y el escenario de conflicto con el uso potencial del suelo. Las categorías usadas para definir el nivel de conflicto son: Muy alto, alto, medio, moderado, bajo, muy bajo, no existe, y no aplica.

Por ejemplo, para determinar la conflictividad de la actividad minera frente a los usos actuales del suelo, se identifican dos grupos: El primero que corresponde al uso que se da a la cobertura; y el segundo, a la cobertura como tal.

Para definir el grado de conflictividad se tienen en cuenta los siguientes criterios: Para el primer grupo, la vocación de la zona: Protección o producción; y el tipo de suelo: Urbano o rural; y para el segundo, el potencial biótico de la cobertura, cuya escala de valoración propuesta para este estudio es:

Tabla 1 - Valoración del potencial biótico de la zona de estudio

Tipo de cobertura	Valor del potencial biótico
Cuerpos de agua	5
Bosque natural maduro intervenido	5
Rastrojo alto	3
Rastrojo bajo	3
Pastos manejados	1

En este sentido, el mapa de conflictos con el uso actual del suelo (Figura 2) se construye a partir de la superposición de los mapas de potencial minero y de uso actual del suelo, siguiendo las reglas de decisión presentadas en la Tabla 2. Por ejemplo, las zonas con vocación conservacionista, como las áreas de protección y recuperación de suelos,

agua y flora (RBBPT) que se traslapan con zonas de potencial alto de oro, tienen un uso actual caracterizado por su alta conflictividad con el uso minero.

Tabla 2 - Reglas de decisión para la definición de los conflictos con los usos actuales del suelo

POTENCIAL MINERO DE ORO	USO ACTUAL DEL SUELO													
	Uso que se da a la cobertura													
	RABPDT	RBBPT	RATP	RBTP	PNMEGE	CNNCMU	MAEAM	MPPEFM	SDAEMMI	BNMI	RA	RB	CA	PM
Alto	alto	alto	muy bajo	muy bajo	moderado	alto	no existe	no existe	no aplica	alto	medio	alto	muy bajo	
Medio alto	medio	medio	bajo	bajo	no existe	medio	no existe	no existe	no aplica	medio	moder.	medio	muy bajo	
Sin potencial	no existe	no existe	no existe	no existe	no existe	no existe	no aplica	no aplica	no existe	no existe	no existe	no existe	no existe	

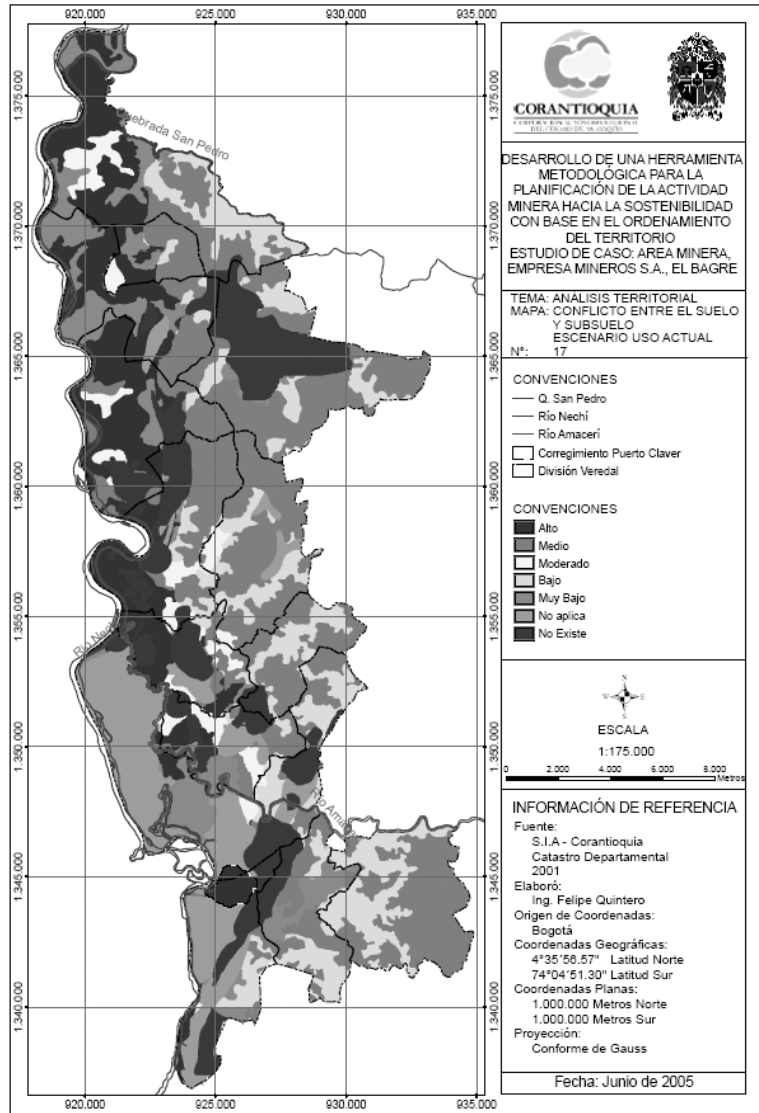


Figura 2 - Conflicto entre el suelo y subsuelo. Escenario uso actual

CAPACIDAD DE ACOGIDA DEL TERRITORIO PARA LA MINERÍA

Otro indicador que soporta la toma de decisiones en la zonificación de áreas mineras es la evaluación de la capacidad de acogida. Esta cualidad define la idoneidad del territorio con respecto a la minería, integrando variables como los impactos generados por ella, los factores que determinan la aptitud del medio para la minería y las restricciones del territorio para que se lleve a cabo esta actividad. La capacidad de acogida expresa la relación actividad-territorio y proporciona un método para lograr la integración de ambos aspectos; en otras palabras, indica y representa el mejor uso que puede hacerse del territorio desde la perspectiva de las actividades que en él se pueden dar y la del medio mismo. Ésta es la acepción que de capacidad de acogida se asume en el presente trabajo.

La determinación de la capacidad de acogida del territorio respecto a la actividad minera se lleva a cabo aplicando un modelo Impacto/Aptitud, ya que éste ofrece la posibilidad de considerar ambos elementos en un mismo proceso. Se logra así una evaluación integral del problema y, como valor agregado, dicho modelo es desarrollable en un entorno SIG apoyado por técnicas de análisis multicriterio. Los dos elementos que definen el modelo representan, por un lado, el efecto de una actividad sobre el territorio, o sea el *impacto*; y por otro, la medida en que el medio cubre los requisitos de localización de una actividad, es decir, la aptitud (Gómez, 1994).

Así, a partir del objetivo único, *delimitar aquellas zonas más aptas, menos aptas y no posibles para el desarrollo de la minería*, se definen cada una de las variables a ser tenidas en cuenta para este modelo de evaluación multicriterio: Las restricciones¹⁶ y criticidades¹⁷ ambientales, los factores de aptitud y los factores del medio susceptibles de recibir impactos. Las restricciones y criticidades ambientales de la zona de estudio para la minería son: Como restricciones, las ciénagas; y como criticidades, la reserva forestal del Magdalena (criticidad alta) y el corregimiento de Puerto Claver (criticidad media alta). Los criterios considerados para la evaluación del impacto son: El uso potencial del suelo analizado desde la productividad agrícola, la cobertura vegetal desde la biodiversidad, y el uso actual del suelo estudiado desde el índice de conflictividad. Por otra parte, el factor tenido en cuenta para la evaluación de la aptitud es el potencial minero.

Una vez definidos los factores de aptitud y de impacto se procede a valorar las categorías inventariadas de cada factor. Para establecer estos valores se aplica el Método de las Jerarquías Analíticas (AHP: The Analytic

¹⁶ Para este estudio se entiende por restricción, una serie de circunstancias que hacen imposible la realización de un proyecto minero en una región dada.

¹⁷ Para el presente proyecto se entiende por criticidad, aquellos aspectos que dificultan en mayor o menor grado la implementación de un proyecto minero en una determinada zona.

Hierarchy Process), método que consiste en construir para cada criterio (de impacto o aptitud) una matriz donde el número de filas y columnas está definido por el número de clases del criterio a valorar; así se establece una comparación entre parejas de clases, valorando en términos relativos la aptitud de un territorio para acoger una determinada actividad, o el impacto que se produciría sobre el territorio con la implantación de ésta.

Como ilustración, se presenta la *valoración del criterio de uso actual del suelo* según el índice de conflictividad, el cual es producto del análisis de los conflictos entre el suelo y subsuelo. En la Tabla 3, se presenta la escala de valoración de las clases del mapa de uso actual de la zona de estudio, en función del nivel de conflicto.

La determinación del impacto de las categorías del mapa de uso actual se basa en la consideración de que cuanto mayor es el índice de conflictividad, mayor será el impacto generado por la actividad minera. A partir de esto se puede establecer la matriz de comparación entre pares de clases para obtener los valores (Xij) de impacto en esta capa (ver Tabla 4).

Tabla 3 - Valoración de las clases del mapa de uso actual del suelo en términos del índice de conflictividad

Uso actual del suelo	Índice de conflictividad
RESERVA FORESTAL	Alto
CNNCMU	Alto
RABPDT	Alto
RBBPT	Alto
BNMI	Alto
RA	Medio
RB	Medio
PNMEGE	Moderado
RATP	Muy bajo
RBTP	Muy bajo
PM	Muy bajo
MAEAM	No existe
MPEFM	No existe

Tabla 4 - Matriz para la valoración del impacto de las clases del criterio uso actual del suelo para el uso minero a través del AHP (CR = 0,03)

Clases	RABPDT	RBBPT	CNNCMU	BNMI	RA	RB	PNMEGE	RATP	RBTP	PM	Res. For.	MAEAM	MPEFM	Xij
RABPDT	1													0,1023
RBBPT	1	1												0,1023
CNNCMU*	2	2	1											0,1747
BNMI	1	1	1/2	1										0,1023
RA	1/2	1/2	1/4	1/2	1									0,0652
RB	1/2	1/2	1/4	1/2	1	1								0,0652
PNMEGE	1/3	1/3	1/5	1/3	1/2	1/2	1							0,0436
RATP	1/4	1/4	1/6	1/4	1/3	1/3	1/2	1						0,0286
RBTP	1/4	1/4	1/6	1/4	1/3	1/3	1/2	1	1					0,0286
PM	1/4	1/4	1/6	1/4	1/3	1/3	1/2	1	1	1				0,0286
Res. For.*	3	3	2	3	4	4	5	8	8	8	1			0,2336
MAEAM	1/7	1/7	1/8	1/7	1/6	1/6	1/5	1/4	1/4	1/4	1/9	1		0,0125
MPEFM	1/7	1/7	1/8	1/7	1/6	1/6	1/5	1/4	1/4	1/4	1/9	1	1	0,0125

Ya definidos los valores de impacto y de aptitud, se procede a transformar los mapas de los criterios en mapas de impacto y de aptitud, por medio de la reclasificación de las categorías nominales en datos ordinales correspondientes a estos valores, los cuales son resultado de la comparación de importancias relativas entre las categorías lingüísticas.

Para cada uno de estos mapas de aptitud e impacto, se plantean dos evaluaciones distintas, una para el desarrollo de la capa de aptitud global y otra para la de impacto global. La construcción de estos mapas de valores *agregados* implica una *evaluación multicriterio*, cuyo objetivo, en el caso del mapa de impacto global, es determinar el efecto general que produciría la implantación de la minería en los factores del territorio evaluados.

El método utilizado para la asignación de los pesos de los factores/criterios es el de las Jerarquías Analíticas (AHP), el cual ya fue descrito como una técnica para la valoración de las clases de los criterios. En este caso, la matriz de comparación se construye entre pares de factores, confrontando la importancia de uno sobre cada uno de los demás.

Para la integración de las variables se usa el método de los promedios ponderados, que es el de más amplio uso entre los métodos de análisis multiobjetivo. Este procedimiento consiste en la sumatoria de los valores de los criterios multiplicados por su importancia relativa.

Una vez generadas las capas globales de aptitud e impacto, el siguiente paso es integrarlas. En este caso, la capa de aptitud y la de impacto se expresan como criterios de una nueva evaluación: La capacidad de acogida, cuyo objetivo es clasificar el territorio en distintos niveles de idoneidad para la localización de la actividad minera (ver Figura 3:

Diagrama del análisis de la capacidad de acogida, estudio de caso). Por ejemplo, para la zona de estudio se construyen tres escenarios de capacidad de acogida: Escenario intermedio, donde la aptitud y el impacto tienen el mismo nivel de importancia; Escenario productivo, donde se asigna el mayor peso a la aptitud, 70%, y 30% al impacto; y Escenario conservacionista, cuyos pesos de los criterios son 70% impacto y 30% aptitud.

Toda esta evaluación permite construir un mapa donde se zonifica el territorio en función de su capacidad de acogida para la minería. Para este mapa (Mapa de Ordenamiento Minero) se proponen tres categorías: Zonas explotables, son aquellas áreas que presentan capacidad de acogida alta y media; Zonas explotables con limitantes, definidas con base en el criterio de zonas de capacidad de acogida baja y muy baja; Zonas no explotables, son aquellas áreas donde no es recomendable la explotación minera: Zonas que presentan alta incompatibilidad con otros usos del suelo (zonas restrictivas) y zonas sin potencial aurífero.

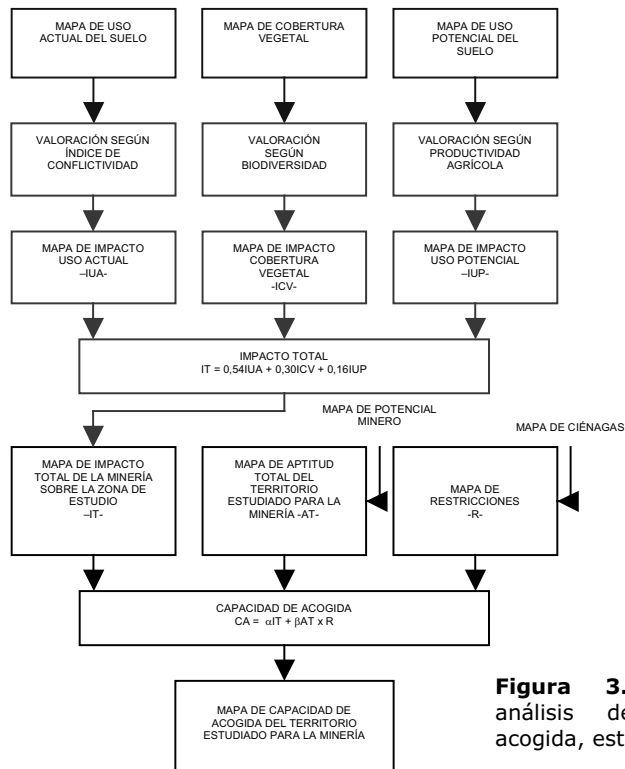


Figura 3. Diagrama del análisis de capacidad de acogida, estudio de caso

CONCLUSIONES

1. Los indicadores: Conflictos de uso entre el suelo y el subsuelo, y Capacidad de acogida del territorio para la minería; aportan criterios para la toma de decisiones sobre el *aprovechamiento sostenible* de los recursos mineros, ya que resultan de un análisis integral del territorio donde se evalúan, respectivamente, los niveles de conflicto con la industria minera, y las potencialidades y restricciones para que se lleve a cabo dicha actividad. Estos indicadores sirven de apoyo al proceso de toma de decisiones de las empresas mineras, la autoridad ambiental, y la autoridad territorial.
2. El análisis de los conflictos de uso entre el suelo y el subsuelo de una zona minera o en territorios con potencial geológico para su desarrollo, permite identificar aquellas áreas más conflictivas con la minería, frente a las cuales se deben tomar medidas que permitan, hacia el futuro, desarrollos mineros de *menor impacto ambiental* reflejado en la disminución de estos conflictos.
3. El mapa de ordenación de zonas mineras constituye un instrumento básico para la incorporación de los recursos minerales y la actividad minera en los planes de ordenamiento territorial, ya que permite diferenciar y delimitar, en función de la *capacidad de acogida del territorio para la minería*, áreas donde no es recomendable la extracción minera y áreas con diferentes prioridades para la explotación de los recursos minerales.