

donde:

σ_v - Esfuerzo vertical promedio que se produce en el pilar por la carga que sobre él actúa.

$$\sigma_v = \gamma H \left(\frac{b+l}{b} \right)$$

b - Ancho del pilar, m

l - Distancia entre pilares, m

h - Altura del pilar, m.

μ_m y μ_p - Coeficiente de Poisson para el macizo y el pilar.

E_m y E_p - Módulo de elasticidad del macizo y el pilar.

L - Ancho de la zona explotada, m.

n - Número de pilares.

λ - Empuje lateral.

K_e - Coeficiente de extracción.

• Pronóstico de estabilidad de cámaras y pilares

Para hacer un pronóstico de la estabilidad de las cámaras se pueden emplear varios métodos. Para el caso de Mina Merceditas se emplearon los siguientes:

- Método basado en los datos estadísticos de la práctica Santana Maurell (Santana, 1994) a partir de la elaboración estadística de los resultados de ancho y longitud de las cámaras en Mina Merceditas que plantea como valores permisibles el de 26 m para el ancho y 42 m para el largo.

Este criterio se puede utilizar como un valioso elemento de partida precisando los valores obtenidos, teniendo en cuenta las características mecánico estructurales del macizo y las afectaciones técnicas en cada situación concreta.

- Otro criterio que se empleó para el pronóstico de techo estable es a partir de los valores de ancho permisible analizados anteriormente.

Según las expresiones analizadas el ancho estable se obtiene para valores que oscilan en un rango de 18 a 23 m según las condiciones concretas analizadas.

- Se emplea el método propuesto por Carter-Miller (1995), que parte de considerar los valores obtenidos de Q y RMR según Falero, 1996 y Guillermo, 1997, y las curvas de cálculo de Carter y Barton para definir los valores de ancho estable. Según este método el ancho permisible de las cámaras en Mina Merceditas oscila de 18 a 22 m.

CONCLUSIONES

- En el trabajo se plantea una metodología de análisis que permite dimensionar las cámaras y pilares.
- Se ofrecen resultados de las dimensiones de las cámaras y pilares para Mina Merceditas.

BIBLIOGRAFÍA

- BAKLASHOV I. V. y V. D. KARTOZIA: *Procesos mecánicos en macizos rocosos*, Moscú, Nedra, 1986.
- BLANCO T. R.: "Pilares", Curso de maestría. I. S. M. M., Moa, 1996.
- BORISOV A. A.: *Mecánica de rocas y los macizos*, San Petersburgo, Nedra, 1986.
- CARTER T. G. y R. I. MILLER: "Crown Pillar Risk Assessment-Planning Aid for Cost Effective Mine Closure Remediation". *Rev. Mining Industry - Section A*, enero-abril, 1995, pp. A-41, A-45, Instituto de Minas y Metalurgia, Londres 1995.
- FALERO S. R.: "Geometría del agrietamiento del macizo rocoso de Mina Merceditas y su estabilidad". Tesis de maestría, ISMM, Moa, 1996.
- GUILLERME A. R.: "Criterios para la construcción de las cámaras y pilares en Mina Merceditas". Tesis de maestría, ISMM, Moa, 1997.
- GÓMEZ H. J.: "Análisis crítico de la teoría del área tributaria en el diseño del método de explotación por cámaras y pilares", en *Revista Minería*, pp. 73-79, Zaragoza, Colombia, 1995.
- SANTANA M. O.: Consideraciones sobre el cálculo de los parámetros de las cámaras de Mina Merceditas, Informe Técnico, MinBas, La Habana, 1994.

Influencia de las líneas de transmisión eléctricas sobre el medio en la región minera de Moa

The Influence of Electric Transmission Lines on the Environment in the Mining Region of Moa

Gilberto Hurtado Freyre¹
Eulicer Fernández Maresma¹
José Israel Rodríguez Domínguez¹

¹Facultad de Metalurgia y Electromecánica. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

INTRODUCCIÓN

La región de Moa constituye un área de marcado interés económico por la presencia de uno de los mayores yacimientos de níquel del mundo, el cual representa el elemento que funciona como inductor del desarrollo socioeconómico regional. Paralelo a ello en el ámbito local, los efectos de este acelerado crecimiento y desarrollo socioeconómico ha incidido de forma directa y negativa -en algunos casos- en los índices de la calidad ambiental del territorio, con repercusiones ambientales desproporcionadas en relación con su tiempo de duración, ya que solo han transcurrido cuatro décadas desde el comienzo de la producción minero-metalúrgica, a partir de la explotación de los yacimientos de níquel asociados a las cortezas de intemperismo del nordeste oriental del país.

Desde entonces ha sido evidente la progresiva decadencia de la calidad ambiental, donde un papel determinante le corresponde al sector industrial que vincula a sus actividades principales la generación y consumo de energía eléctrica como factor imprescindible en el desarrollo productivo.

Por estas razones resulta evidente la necesidad de profundizar en los aspectos relacionados con la temática, no solo por la importancia de los impactos que produce, sino para adecuar sus actividades a la política ambiental de la Unión del Níquel (UNI), la Unión Nacional Eléctrica (UNE), el Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) y el país.

El objetivo general del trabajo consiste en evaluar los impactos ambientales que produce el sistema de transmisión eléctrica en la región minera de Moa, para establecer alternativas de mitigación dimensionadas en un Plan de Manejo Ambiental Territorial (PMAT) que promueva el desarrollo socioeconómico sostenible de la energética en el territorio.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología seguida no difiere en esencia de la metodología de investigación utilizada para los estudios de impacto ambiental, cuyas etapas de forma resumida se relacionan a continuación:

Primera etapa: Preliminar. En esta etapa se estableció el área de investigación, la cual estuvo en dependencia de la extensión que abarca la influen-

RESUMEN: En la presente investigación se realiza un estudio acerca de la influencia sobre el medio ambiente de las líneas de transmisión eléctricas en la región minera de Moa. A partir de la identificación y caracterización de los impactos ambientales se efectúa el proceso de evaluación con el empleo de metodologías de valoración novedosas, lo que permite establecer los lineamientos para el manejo ambiental, proporcionar el desarrollo de la energética en la región y garantizar el uso sostenible de los recursos minerales y forestales que contiene.

Palabras claves: Medio ambiente, desarrollo sostenible, ordenamiento ambiental.

ABSTRACT: A study about the influence of electric transmission lines on the environment in the mining region of Moa is carried out in the present investigation.

The evaluation process is made from the identification and characterization of the environmental impacts, using novel methodologies of valuation that allowed to set the limits for the environmental management, providing the energetic development in the region and guaranteeing the sustainable use of the mineral and forest resources that it contains itself.

Key words: Environment, sustainable development.

cia del objeto de estudio, incluyendo todas las zonas del territorio que son afectadas directa e indirectamente en los medios físico, biótico y socioeconómico. Se definió como objeto de investigación al sistema de transmisión eléctrica del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) localizado en el tramo desde la subestación eléctrica de Centeno hasta la subestación eléctrica de Punta Gorda.

Se determinaron el conjunto y combinación de métodos a aplicar tales como las listas de revisión, encuestas, método Delphi y análisis multicriterios, así como la revisión de los trabajos precedentes relacionados con la temática de investigación (CESIGMA; 1995; 1998).

Segunda etapa: Trabajo de campo. En esta etapa se desarrolló el trabajo relacionado con los reconocimientos generales que unido al análisis de los trabajos precedentes, permitieron la caracterización del objeto de estudio, es decir, del sistema de transmisión eléctrico y de los factores ambientales afectados. Sobre la base de dicha caracterización y con la aplicación de métodos como listas de revisión y encuestas se efectuó el proceso de identificación de los impactos ambientales.

La siguiente subetapa correspondió al componente experimental que proporcionó la base de datos en el proceso de valoración de los impactos ambientales, para finalmente realizar la comprobación de los resultados obtenidos con el método Delphi en diferentes consultas a expertos, la que propicia el flujo de información y disminuye la subjetividad de los autores.

Tercera etapa: Gabinete. En esta etapa se procedió a la interpretación y procesamiento de la información, con la evaluación de la influencia ambiental del sistema de transmisión eléctrico y el establecimiento de los lineamientos para el manejo ambiental, a partir de un conjunto de medidas de carácter técnico y organizativo, dimensionadas en un PMAT con el objetivo de orientar a la UNI y a la UNE en la reorganización acertada de su política ambiental.

CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRASMISIÓN ELÉCTRICO

Las líneas de transmisión de la energía eléctrica localizadas en áreas de la región minera de Moa, objeto de la presente investigación, se localizan desde la subestación eléctrica de Centeno hasta subestación eléctrica de Punta Gorda.

La energía suministrada desde el SEN, llega a la subestación eléctrica de Punta Gorda 220/110kV desde la central termoeléctrica de Felton por una parte y por otra, desde la subestación eléctrica de Cueto, ambas de 220kV. Desde la subestación eléctrica de Punta Gorda se transmite energía a las cargas industriales asentadas en el territorio, así como a la subestación eléctrica de Centeno, la cual distribuye la energía a los consumidores residenciales.

Desde el punto de vista ambiental resulta necesario destacar que las líneas eléctricas atraviesan las cuencas hidrográficas del río Moa con sus afluentes principales Cabaña y Los Lirios, Yágrumaje, Punta Gorda, Cayo Guam, Quesigua, Semillero y Yamanigüey.

Otro aspecto a resaltar es que bajo el corredor de las líneas eléctricas la superficie del terreno se encuentra desprovista de vegetación lo que propicia el desarrollo de intensos procesos erosivos que influyen negativa y directamente sobre los patrones de flujo de las mencionadas cuencas hidrográficas.

La ubicación actual de estas líneas se aproxima considerablemente a las concesiones mineras de las empresas productoras del territorio, especialmente a la Empresa Comandante "Ernesto Che Guevara" (ECECG) cuya actividad minera avanza hacia el sur y se acerca gradualmente al corredor eléctrico, por otra parte la minería de la empresa mixta Moa Nickel S.A. "Pedro Sotto Alba" se desplaza hacia el norte con la apertura de la concesión minera llamada Zona A, ocurriendo la misma situación pero en dirección contraria.

IDENTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

El proceso de identificación de los impactos ambientales se realizó con el empleo del método de las listas de revisión y las encuestas con el objetivo de inventariar los impactos ambientales, esta información fue sometida a la consideración de los expertos por el método Delphi, y quedaron determinados tres elementos claves con relación a la influencia del sistema de transmisión eléctrico en el medio ambiente de la región minera de Moa, los cuales se representan gráficamente en la Figura 2.

Los resultados obtenidos evidenciaron la ausencia del impacto que producen los campos electromagnéticos presentes en el proceso de transmisión eléctrica en el área de investigación. Este fue considerado como secundario, pues el área de influencia se encuentra totalmente despoblada y sin actividad socioeconómica alguna bajo el corredor de las referidas líneas de transmisión eléctricas.

CARACTERIZACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

Las afectaciones al paisaje, se manifiestan como resultado de las transformaciones de sus propiedades y características en cuanto a estructura, distribución, desarrollo y dinámica, quedando modificado antropogénicamente de forma irreversible y perdiendo sus propiedades originales y la capacidad de reproducir recursos. Desde el punto de vista paisajístico, los efectos ambientales se manifiestan como la disminución de la calidad visual y el aumento de la fragilidad del paisa-



FIGURA 1. Proceso de identificación de los impactos ambientales.

je, resultado de la influencia de la actividad socioeconómica, de los procesos naturales que en la zona tienen lugar y la ubicación actual de líneas eléctricas totalmente visibles desde varios puntos de los asentamientos poblacionales.

El congelamiento del uso de reservas minerales es resultado de la localización de las líneas de transmisión eléctricas y la subestación eléctrica de Punta Gorda, que imposibilita el acceso a valiosas reservas minerales con altos contenidos de níquel que una vez procesadas tendrían un incalculable valor económico. Estas áreas pertenecen a las concesiones mineras previstas para su explotación en los próximos años, lo que genera graves dificultades, pues la reubicación de todo el sistema se hace imprescindible con el consiguiente costo económico y ecológico que ello implica. La ubicación de estos objetos de obra imposibilita la explotación minera en determinados sectores, pues podría verse afectada la continuidad del suministro eléctrico como resultado de las cantidades de polvo del laboreo minero en las áreas adyacentes y se atentaría contra la integridad de los trabajadores y la seguridad de la maquinaria minera de dimensiones físicas a considerar.

Las afectaciones a la red hidrográfica de la región se manifiestan por intensos procesos erosivos bajo el corredor de las líneas de transmisión eléctricas, las cuales mantienen libre de vegetación toda las zonas que ocupan, producen deslizamientos a las márgenes de estos ríos y provocan alteraciones a los patrones de flujo.

VALORACIÓN DE LA INFLUENCIA AMBIENTAL

En la valoración de los impactos ambientales anteriormente identificados y caracterizados se elaboraron procedimientos evaluativos que determinaron su magnitud.

En la determinación de la magnitud del impacto sobre el paisaje se cuantificó la calidad estética del paisaje y la fragilidad del mismo. La calidad estética está

muy vinculada con el valor relativo del paisaje, según la expresión 1.

$$V_R = \left[1.125 \left(\frac{P}{d} \cdot A_c \cdot S \right)^{\frac{1}{4}} \cdot V_a \right] \cdot 100\% \quad (1)$$

Donde:

- V_R: Valor relativo del paisaje.
- P: Coeficiente que correlaciona el número de habitantes de las poblaciones próximas.
- d: Coeficiente que correlaciona la distancia promedio a las poblaciones próximas.
- A_c: Accesibilidad a los puntos de observación desde los asentamientos humanos (Moa y Punta Gorda).
- S: Superficie desde donde es percibida la actuación (amplitud de la cuenca visual).
- V_a: Valor absoluto. Valoración subjetiva a partir de la contemplación del paisaje, sin desagregar sus componentes y categorías.

Los coeficientes de los parámetros que define el valor relativo del paisaje se relacionan en las Tablas 1, 2, 3, 4 y 5.

Con el valor relativo del paisaje se determinó la calidad estética en la gráfica de la Figura 2.

Como resultado se obtuvo que desde el asentamiento poblacional de Moa, el valor relativo del paisaje es

TABLA 1. Escala de ponderación del coeficiente P.

P	Ponderación	
	Niveles	Indices
Coeficiente	1 - 1000	1
	1000 - 2000	2
	2000 - 4000	3
	4000 - 8000	4
	8000 - 16000	5
	16000 - 50000	6
	Más de 50000	7

TABLA 2. Escala de ponderación del coeficiente d.

d	Ponderación	
	Niveles	Indíces
Coeficiente	0 - 1	1
	1 - 2	2
	2 - 4	3
	4 - 6	4
	6 - 8	5
	8 - 10	6

TABLA 3. Escala de ponderación del coeficiente Ac.

Ac	Ponderación	
	Niveles	Indíces
Coefic.	Inaccesible	1
	Regular	2
	Buena	3
	Inmediata	4

TABLA 4. Escala de ponderación del coeficiente S.

S	Ponderación	
	Niveles	Indíces
Coefic.	Muy Pequeña	1
	Pequeña	2
	Medía	3
	Grande	4

TABLA 5. Escala de Ponderación del coeficiente Va.

Va	Ponderación	
	Niveles	Indíces
Coefic.	Feo	0 - 0.08
	Desagradable	0.09 - 0.17
	Normal	0.18 - 0.25
	Agradable	0.25 - 0.27

menor con relación al asentamiento de Punta Gorda, pues la población de observadores es mayor y la amplitud de la cuenca visual permite contemplar la influencia ambien-

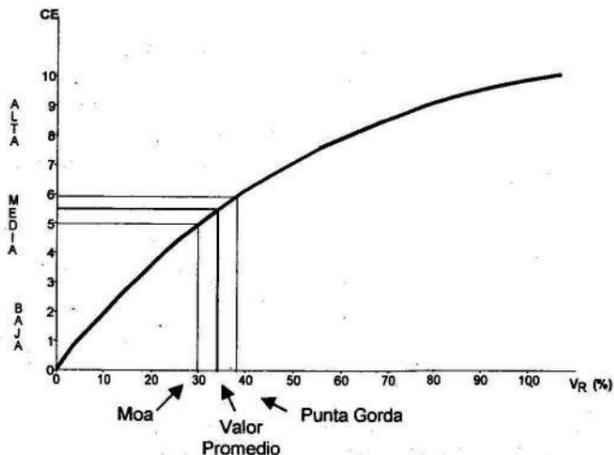


FIGURA 2. Diagrama que correlaciona el valor relativo (V_r) de paisaje con la calidad estética (CE).

tal de la actividad minero-metalúrgica en funcionamiento y las líneas de transmisión eléctrica con sus respectivas trochas, aparentando grandes surcos en la distancia. El valor integral de este análisis determinó que la calidad estética del paisaje objeto de estudio es media.

Con relación a la fragilidad del paisaje, es decir, la capacidad que tiene de absorber los cambios que se han producido, fue preciso estimar la superficie equivalente con fragilidad (SF), a través de la expresión 2.

$$SF = \frac{\sum (S_{ai} \cdot K)}{Se} \cdot 100 \% \quad (\text{km}^2) \quad (2)$$

Donde:

S_{ai} : Superficie de la unidad paisajística afectada (i), expresado en km^2

K: Coeficiente de fragilidad de la unidad paisajística (i).

Se: Superficie equivalente con fragilidad en el entorno.

$$Se = \sum (S_i \cdot K_o)$$

S_i : Unidad paisajística (i), expresado en km^2 .

K_o : Coeficiente de fragilidad del entorno.

TABLA 6. Escala de ponderación del coeficiente K.

K	Ponderación	
	Niveles	Indíces
Coeficiente	Muy Bajo	0.2
	Bajo	0.4
	Medio	0.6
	Alto	0.8
	Muy Alto	1

La superficie con fragilidad está relacionada con la fragilidad paisajística, la cual se determinó a través de la gráfica de la Figura 3.

Como resultado se obtuvo que la SF es aproximadamente del 82.12%, confirmando que el paisaje ubicado bajo el área de influencia del objeto de estudio no ha sido capaz de absorber las modificaciones que se han introducido, pues no existe uniformidad y armonía

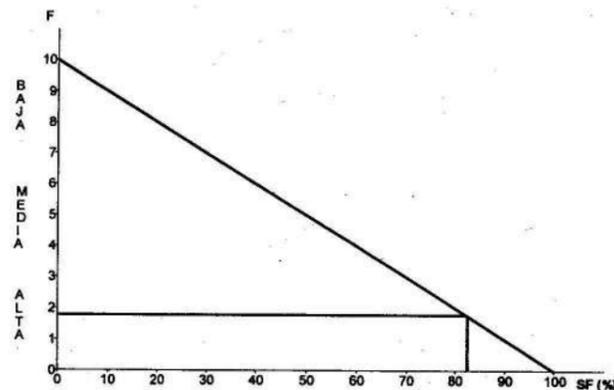


FIGURA 3. Diagrama que correlaciona la superficie con fragilidad (SF) y la fragilidad (F) del paisaje.

entre el medio natural y el socioeconómico, calificando el paisaje con una alta fragilidad.

En la evaluación de la magnitud de la influencia del trazado de las líneas de transmisión eléctrica sobre las cuencas hidrográficas de los ríos de la región, se seleccionaron los ríos Yagrumaje y Punta Gorda, para ejemplificar el desarrollo de procesos erosivos bajo el corredor de las mismas y sus áreas adyacentes, tal y como lo muestra la Figura 4.

El análisis parte de la relación cualitativa que plantea que el estado de afectación (E) es directamente proporcional a los factores que definen el clima y el relieve, e inversamente proporcional a los determinantes de la constitución del terreno y la cobertura vegetal, según la ecuación descriptiva 3.

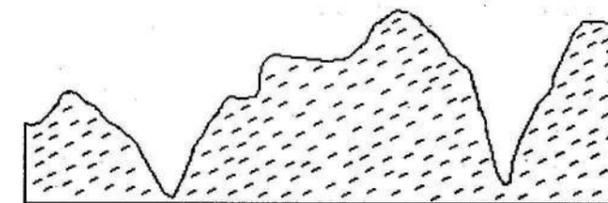


FIGURA 4. Perfil esquemático a los ríos Yagrumaje y Punta Gorda.

$$E = \frac{\text{Clima} + \text{Relieve}}{\text{Geología} \cdot (\text{Vegetación})} \quad (3)$$

El clima estuvo definido por las zonas de vida y la degradación específica causada por las precipitaciones anuales registradas en la región en los últimos años; el relieve se caracterizó con los sedimentos medidos y la pendiente media; para la geología se estimó la susceptibilidad potencial ante los deslizamientos y por último la vegetación estuvo en función de la cobertura actual del proceso erosivo y la vegetación predominante.

Cada parámetro fue caracterizado desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo en las cuencas hidrográficas de los ríos Yagrumaje y Punta Gorda a partir de un enfoque descriptivo donde se establecieron los valores extremos o críticos, tal y como se muestra en la Figura 5.

Estos valores de (E) son unidades de riesgos naturales del proceso erosivo de las cuencas hidrográficas estudiadas, por cuenta de la localización de las líneas de transmisión eléctrica en el sector objeto de estudio, manifestándose de forma muy similar en el resto de las cuencas hidrográficas atravesadas por las líneas eléctricas en la región.

Como resultado final se concluyó que el estado de afectación en la cuenca del río Punta Gorda es superior al de la cuenca del río Yagrumaje, siendo en ambos casos la pendiente la que con mayor fuerza ha incidido en los procesos erosivos, simultáneamente con los continuos deslizamientos, el aporte de sedimentos, la nula cobertura vegetal bajo el corredor de las líneas eléctricas y las condiciones meteorológicas de la región.

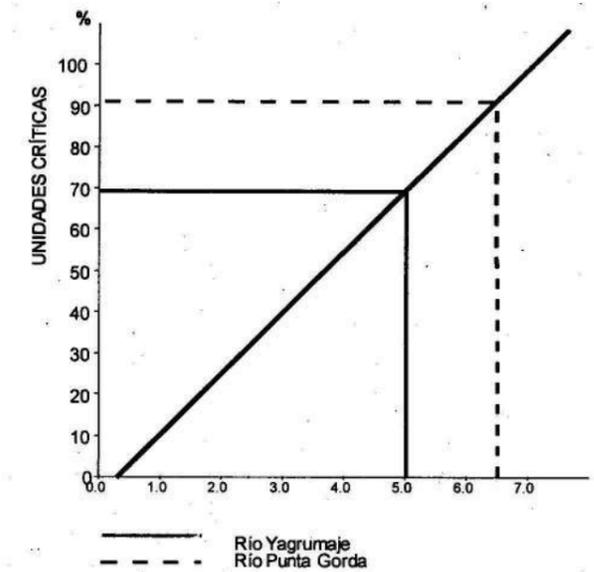


FIGURA 5. Curva representativa del estado de afectación de las cuencas Yagrumaje y Punta Gorda.

En la valoración del congelamiento del uso de reservas minerales por cuenta de las líneas de transmisión eléctrica se partió de la existencia de valiosas reservas minerales de alta ley bajo las instalaciones de la subestación eléctrica de Punta Gorda y el área del corredor de las líneas eléctricas, las cuales una vez procesadas podrían evaluarse en unos 200 millones de dólares, así como las serias interrupciones que originaría en las líneas eléctricas el inicio de las operaciones de la Empresa Las Camariocas por la explotación de los yacimientos cercanos y la propagación de la contaminación atmosférica hacia el oeste.

Estas consideraciones evidenciaron que la reubicación de la subestación eléctrica de Punta Gorda y el reordenamiento de las líneas de transmisión eléctrica en el territorio es inminente, con el consiguiente impacto ambiental que ello implica, lo cual se corrobora si se tiene en cuenta que el equipamiento instalado con tecnología de los años 70 de procedencia soviética, tiene más de veinte años de explotación y está en gran parte amortizada y con obsolescencia tecnológica.

Desde el punto de vista ambiental el medio será afectado a partir del inicio del proyecto de reubicación y reordenamiento ambiental, resumidas en tres implicaciones: las actividades de desmontaje de la instalación actual, las actividades de montaje de la nueva instalación y el cambio en el uso del suelo. La valoración ambiental determina el carácter y magnitud relativa del impacto de forma integral.

Los resultados obtenidos en las consultas a los expertos evidenciaron que el efecto integral de las implicaciones ambientales tiene una naturaleza positiva en el medio socioeconómico, a pesar de la existencia de efectos negativos en los medios físico y biótico. Los criterios relacionados con el incremento de la actividad

económica y el desarrollo del sector minero-metalúrgico deben de primar, ya que es indiscutible la necesidad de explotar las reservas minerales.

Detrás de esta consideración no prevalece una posición netamente económica, sino ambiental en su dimensión más amplia, valorando no solo lo relacionado con el medio natural, sino incluyendo el medio socioeconómico como elemento insoluble. Esta posición se sustenta en la situación económica a escala mundial (crisis actual), regional (como país del tercer mundo) y nacional (grandes limitaciones y embargos económicos), que imponen la búsqueda de soluciones para preservar los logros socioeconómicos alcanzados durante el proceso revolucionario.

Respecto al medio natural, su importancia en relación con el medio socioeconómico es mayor, dentro de este, el medio físico recibirá los mayores impactos, superando al medio biótico fuertemente impactado por la actividad minera subyacente. Dentro del aporte de las tres implicaciones ambientales analizadas, correspondió al cambio en el uso del suelo el nivel superior que materializa el empleo de las reservas minerales congeladas, seguidamente de las actividades de montaje de la nueva instalación, que proporcionaría ventajas técnicas a los intereses de las entidades inversionistas (UNE y UNi) y por último, las actividades de desmontaje de la instalación actual, que determina la primera etapa dentro de todo el proceso.

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL TERRITORIAL

El diseño del Plan de Manejo Ambiental Territorial (PMAT) constituye la propuesta de mitigación a los impactos que producen las líneas de transmisión en la región minera de Moa.

Este plan se dimensiona como territorial por lo extenso de las áreas que se encuentran afectadas, así como la diversidad en el nivel de competencia respecto al problema a tratar, es decir, del grado de responsabilidad, pues están comprometidos los intereses de tres organismos estatales: la UNi y la UNE, pertenecientes al MINBAS y la Empresa Municipal Agropecuaria (EMA) del MINAGRI.

El PMAT representa el reordenamiento sectorial dentro del territorio de la subestación eléctrica de Punta Gorda y de las líneas de transmisión eléctricas asentadas en el territorio, que integra la planificación socioeconómica con la física. La finalidad de este plan es contrarrestar los problemas generados por la ocupación y uso actual del suelo donde se localiza el sistema de transmisión eléctrico, así como prever las externalidades que producen el desarrollo y crecimiento económico de la industria minero-metalúrgica, respecto a los cuales los mecanismos de mercado resultan insuficientes en la actualidad.

El plan coordina entre los organismos sectoriales implicados (UNi, UNE y EMA) y entre los distintos niveles

de decisión (CITMA, MINBAS y MINAGRI), el uso racional del territorio y la gestión responsable de los recursos naturales.

El objetivo general del PMAT es proporcionar oportunidades para el desarrollo socioeconómico del sector minero-metalúrgico en la región de Moa, mantener a largo plazo el potencial de utilización del suelo y los recursos minerales y forestales que contiene, y coordinar administrativamente los intereses de las entidades inversionistas (UNi, UNE y EMA) implicadas en su ejecución.

La secuencia utilizada para concebir el plan es sistemática y aunque presenta un camino de tipo secuencial, permite alternativamente avances y retrocesos tal y como corresponde al carácter iterativo y cíclico del proceso de toma de decisiones que representa. Las etapas se muestran en la Figura 6.

La investigación toma como punto de partida el estudio solicitado por la UPI Las Carnariocas a la UNE y ejecutado por la Dirección Estratégica del SEN (DESEN), donde fueron propuestas y valoradas tres microlocalizaciones para la reubicación de la SE, con nueve alternativas posibles.

La ubicación de las microlocalizaciones es la siguiente.

- La Microlocalización I se ubica al oeste de la Universidad y cercana al acceso de la antigua Unidad Militar.
- La Microlocalización II se ubica al este de la Empresa Comandante "Pedro Sotto Alba" y al norte de los yacimientos de La Veguita.
- La Microlocalización III se localiza al sur del poblado de Punta Gorda, en los terrenos del antiguo *batching plant* de la ECECG.

En esta etapa se determinó la capacidad de acogida del territorio para las tres microlocalizaciones propuestas por el DESEN, diseñando una matriz de acogida (Tabla 7), que establece la medida en que el territorio cubre los requerimientos necesarios para la reubicación de la subestación eléctrica de punta Gorda a partir de la cual se reordenaría el sistema eléctrico adyacente a esta.

Los resultados obtenidos en la matriz de acogida evidenciaron que la microlocalización I es la que compatibiliza en mayor grado con el medio ambiente, para un 85.52%, respecto a las microlocalizaciones II y III, localizadas en áreas de alto riesgo tectónico, criterio que debe tenerse en cuenta sobre la base de los movimientos sísmicos recientes de diciembre de 1998.

Con la microlocalización seleccionada se analizaron las alternativas propuestas por DESEN, las cuales se describen en la Tabla 8.

En la evaluación económica de las alternativas, la mejor desde el punto de vista técnico-económico, resultó ser la número 6, después de la 7, 8 y 1 (considerando el valor residual de los equipos retirados de la subestación eléctrica de Centeno). A este análisis se incorporó el criterio ecológico, completando el análisis ambiental en su dimensión más amplia y seleccionando la alternativa número 1, a pesar de no estar en los

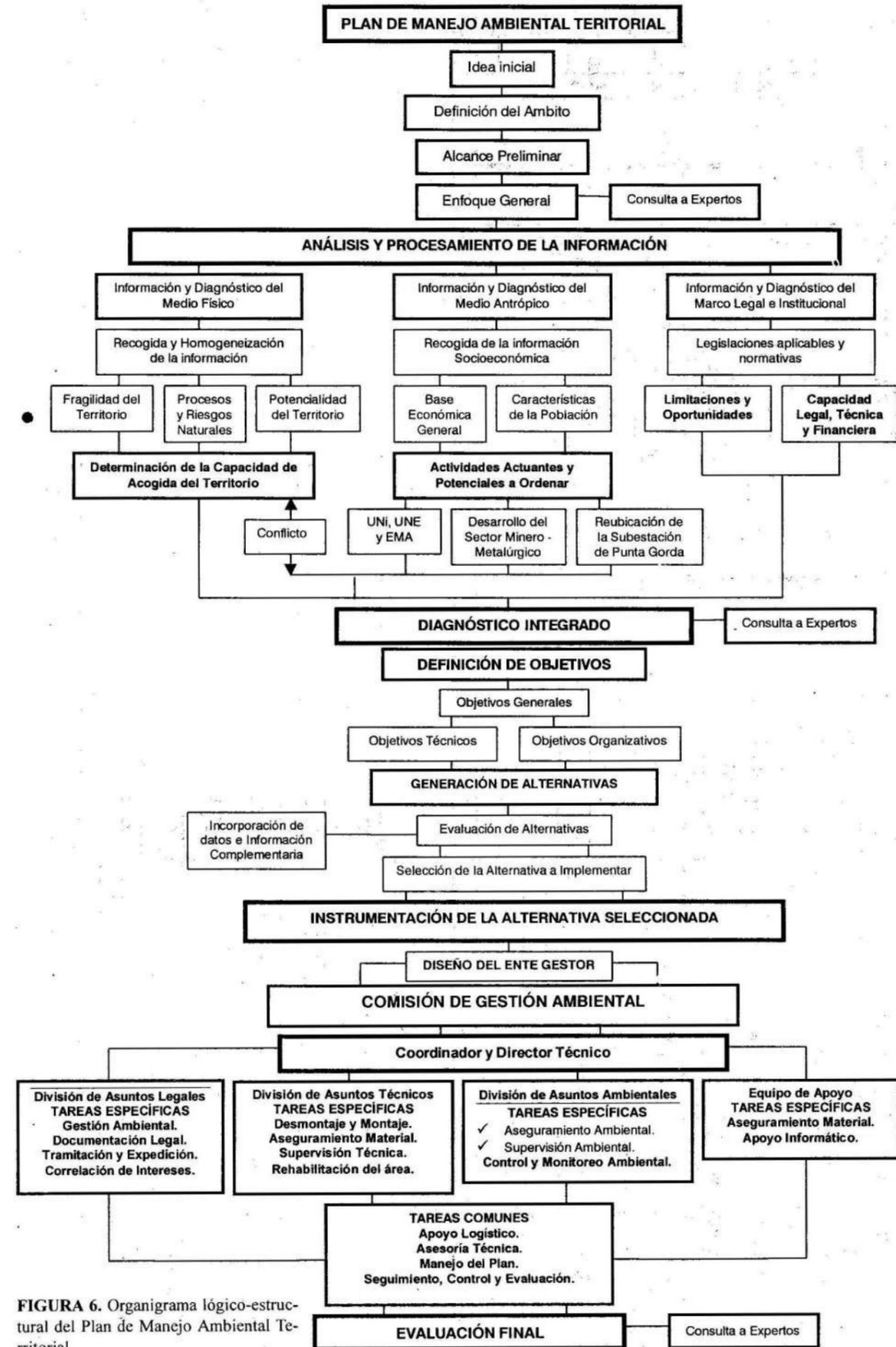


FIGURA 6. Organigrama lógico-estructural del Plan de Manejo Ambiental Territorial.

Tabla 7.

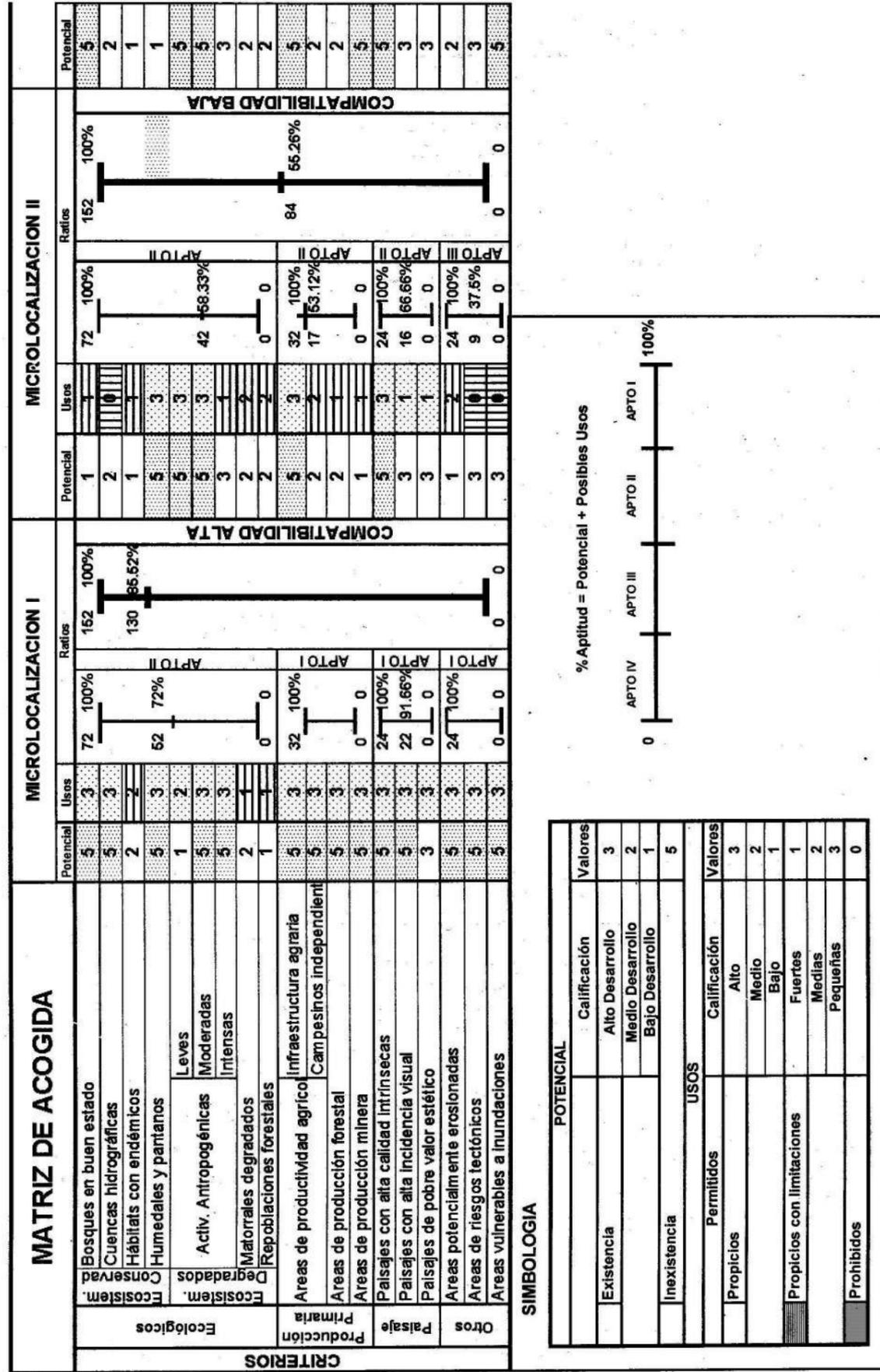


Tabla 8. Descripción de inversiones en redes a 220, 110 y 33 kV por alternativas.

Capac. (MVA)	Tensiones (kV)	Ubicación SE Centeno (110/34.5 kV)	km (s) de LTE. a construir por voltajes			Alcance obra en SE. 's s Shún esquema		
			33 Kv	110 kV	220 kV	No. Campos 220 kV	No. Campo. 110 kV	No. Campos 33 kV
2x125	220/110	Permanece en el lugar	0	35	3	3	11	0
2x125	220/110	Se traslada para SE 220 kV	0	32	3	3	11	7
2x63	220/34.5	Se sustituye por SE 220/34.5	5	21	0.5	2	0	7
2x63	220/34.5	Se sustituye por SE 220/34.5	5	10	8	2	0	7
4x63	220/110/34.5	Se sustituye por SE 220/34.5	0	32	3	3	9	7
2x125	220/110	Permanece en el lugar	0	28	1	3	11	0
2x125	220/110	Se traslada para SE 220 kV	5	21	0.5	3	11	7
4x63	220/110	Se sustituye por SE 220/34.5	1	33	1	3	9	7
2x125	220/110	Permanece en el lugar	0	24	8	3	11	7

tres primeros lugares dentro del análisis económico realizado. El criterio ecológico juega un papel importante porque las tres alternativas más económicas pertenecen a la microlocalización II, que es la menos óptima desde el punto de vista ecológico, fundamentalmente porque la zona se considera de alto riesgo sismotectónico.

Para la instrumentación del plan se creó un ente gestor capaz de conducir su materialización, el cual está formado por una Comisión de Gestión Ambiental (CGA), dirigida por un coordinador general y estructurada en tres divisiones encargadas de tratar los asuntos legales, técnicos y ambientales, así como un equipo de apoyo con una unidad de producción y otra de aseguramiento informático.

División de Asuntos Legales, formada por especialistas en derecho y relaciones públicas tienen encargadas las tareas referidas al manejo de la documentación legal, tramitación de los intereses de las entidades implicadas y la recepción y expedición del respaldo legal que le confiere autonomía y poder de decisión a la comisión.

División de Asuntos Técnicos, formada por ingenieros eléctricos, industriales, geólogos, mineros y civiles, tiene la función de asegurar que todas las acciones del plan se efectúen con los requerimientos necesarios desde el punto de vista técnico e implementar la alternativa en las fases siguientes:

- Fase I. Determinadas la microlocalización y la alternativa adecuada desde el punto de vista técnico, económico y ecológico, comenzar la preparación del área seleccionada.
- Fase II. Desmontaje de un transformador de 125kVA para su montaje en la nueva subestación eléctrica y puesta en marcha con los 125kVA con que aún cuenta la subestación eléctrica de Punta Gorda, dando respuesta a los 60kVA que se consumen en la actualidad.
- Fase III. Desmontaje del otro transformador de 125kVA, cuando ya esté en funcionamiento el que se debe encontrar en la nueva subestación eléctrica completando los 250kVA.

- Fase IV. Labores de abandono del antiguo sector que ocupaba la subestación eléctrica de Punta Gorda y las líneas de transmisión eléctrica adyacentes, que permiten retirar la infraestructura que servía de soporte a la instalación anterior.
- Fase V. Reordenamiento de las líneas de transmisión eléctricas en el territorio de acuerdo a la política de desarrollo de la UNI.

División de Asuntos Ambientales, formada por especialistas en protección del medio ambiente, tiene la tarea de inicializar el trámite de solicitud de su licencia ambiental al Centro de Gestión e Inspección Ambiental, con la fundamentación debidamente concebida de forma tal que el otorgamiento de la licencia ambiental no sea condicionado a un estudio de impacto ambiental.

El Grupo de Apoyo, en su unidad de producción constituida por choferes y personal auxiliar a pie de obra garantizaría la solución de problemas eventuales. La unidad de apoyo informático formada por especialistas en cómputo y personal de oficina tiene la tarea de recepcionar y expedir toda la información que necesite a tiempo y en forma la CGA, durante el curso de la ejecución del plan.

El Plan de Manejo Ambiental Territorial, al mismo tiempo que constituye el instrumento propuesto para mitigar los efectos ambientales del sistema de transmisión eléctrica, representa parte de lo que "debería ser" el Programa Ambiental Integral del territorio de Moa. El Plan puede perder su valor en la gestión ambiental si no se dispone de un instrumento efectivo para imponer y vigilar su cumplimiento; en un primer momento el seguimiento inicial debe ser garantizado mediante el cumplimiento de mecanismos establecidos por el sistema de gestión de las entidades a las cuales le compete ponerlo en práctica, fortaleciendo a mediano y largo plazo la supervisión de los resultados de las actividades que con repercusión ambiental se efectúen.

De acuerdo con la situación actual del contexto tratado se estima que la ejecución del Plan de Manejo Ambiental Territorial puede realizarse a mediano plazo, con la debida coordinación con los organismos encargados de supervisar el cumplimiento de lo establecido

en dependencia de las especificidades y áreas de actuación del plan.

CONCLUSIONES

- La influencia de las líneas de transmisión eléctricas en la región minera de Moa es alta con la ocurrencia de tres impactos ambientales que se manifiestan, tales como alteraciones en la composición y funcionamiento del paisaje, congelamiento del uso de reservas minerales y alteraciones a las cuencas hidrográficas de la región.
- Las alteraciones en el paisaje son altas como resultado de las modificaciones antropogénicas y naturales que han sufrido los componentes y procesos, trayendo como consecuencia la pérdida de la capacidad para conservar sus propiedades, funcionamiento y dinámica ante la influencia del crecimiento y desarrollo socioeconómico, donde las líneas de transmisión eléctricas juegan un papel fundamental, y representan el 27% aproximadamente.
- La influencia de los campos electromagnéticos toma un carácter secundario, por la ubicación actual de las líneas de transmisión eléctricas en zonas sin actividad socioeconómica alguna, aspecto que debe tenerse en cuenta cuando se decida su nueva ubicación, de forma tal que afecte el corredor aéreo del municipio, las comunicaciones y la actividad minera adyacente.
- El congelamiento del uso de reservas minerales impone la reubicación de la subestación eléctrica de Punta Gorda y el reordenamiento sectorial de las líneas eléctricas dentro de la región, lo que generará un efecto positivo al permitir el uso de las reservas congeladas en las actividades del sector minero-metalúrgico.
- Las afectaciones a las cuencas hidrográficas del territorio pueden ser mitigadas con la reforestación de los sectores dañados con el uso de especies herbáceas y arbustivas.
- Se estableció el Plan de Manejo Ambiental Territorial que constituye la propuesta de mitigación a los efectos de los impactos ambientales, y proporciona una estrategia que visualiza el futuro de las líneas de transmisión eléctricas asentadas en territorio, en función

de la política de desarrollo de la Unión del Níquel, la Unión Nacional Eléctrica y el MINBAS.

BIBLIOGRAFÍA

- CESIGMA División América: "Auditoría ambiental y diseño del sistema de gestión ambiental de la Empresa de explotación minero-metalúrgica de níquel y cobalto Comandante 'Ernesto Che Guevara'", La Habana, 1998.
- CESIGMA División América: "Estudio de impacto ambiental. Proyecto de explotación minero-metalúrgico Cupey, Las Camarioca", La Habana, 1997.
- CESIGMA División América: "Reconocimiento ambiental del proyecto de explotación minera y beneficio de Ni y Co Comandante 'Ernesto Che Guevara'", La Habana, 1995.
- "Estrategia Ambiental del MINBAS", Cuba, 1997.
- "Estrategia Ambiental Nacional", CITMA, 1997.
- GÓMEZ OREA, D.: "Ordenación del territorio. Una aproximación desde el medio físico", Serie: *Ingeniería Geoambiental*, Instituto Tecnológico Geominero de España, Editorial Española, S. A., 1994.
- HURTADO FREYRE, G.: "A avaliação ambiental da influência da geração elétrica para disposição da indústria mineiro-metalúrgica", Serie *Tecnología Ambiental*, Centro de Tecnología Mineral, CETEM, Río de Janeiro, 1999.
- _____: "Gerenciamento ambiental em usina metalúrgica de Cuba", Serie *Tecnología Ambiental*, Centro de Tecnología Mineral, CETEM, Río de Janeiro, 1999.
- HURTADO FREYRE, G.; V. SIENRA CALDERÓN; S. REYES MARTÍNEZ: "La gestión ambiental empresarial en Cuba. Situación actual y perspectiva de la industria cubana del níquel", Libro de Memorias del V Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente, CIMA '98, ISPJAE, Ciudad de La Habana, noviembre 1998.
- Manual de ingeniería de taludes*, Instituto Tecnológico Geominero de España, 1986.
- Manual metodológico para la identificación, preparación y evaluación de proyectos ambientales*. Dirección de Proyectos y Programas de Inversiones, Colombia, 1993, pp. 141-167.
- NC-93-06-101:1987. (Cu). Paisaje. Términos y definiciones.
- Proyecto de reubicación de la subestación eléctrica de Punta Gorda 220/110 kV*, Unión Nacional Eléctrica, Dirección Estratégica del SEN, Ciudad de La Habana, 1997.
- RODRÍGUEZ INFANTE, A.: "Estudio morfoestructural de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica", Tesis doctoral, ISMM, Moa, 1999.

Sistema experto para la determinación de minerales sobre la base de sus propiedades macroscópicas

Expert system for macroscopic mineralogical analysis

Rafael Trujillo Codornú¹
Efraín González Serrano²

¹Profesor Titular del Departamento de Matemáticas y Computación. Doctor en Ciencias Matemáticas.
²Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional de Loja.

RESUMEN: En el presente artículo se exponen las características de un sistema experto que permite identificar minerales a partir de las propiedades macroscópicas de estos y, al mismo tiempo, ofrecer una variada información a partir de una base de datos creada a tales efectos. El sistema permite la creación y edición de la base de conocimientos y consiste en un conjunto de reglas escritas en un lenguaje que se asemeja al usado en otros sistemas de representación del conocimiento tales como el PROLOG. El motor de inferencia del sistema deduce, de manera lógica, el nombre del mineral a partir de sus propiedades macroscópicas y, además, muestra una explicación del proceso deductivo empleado a partir de las reglas de la base de conocimientos y los hechos que se van obteniendo como resultado de preguntas interactivas que ejecuta el sistema, lo que permite al usuario seguir la lógica del proceso.

Palabras Claves: Sistemas expertos, mineralogía, mineral, identificación de minerales.

ABSTRACT: In this article are exposed the characteristics of an expert system designed to perform macroscopic mineralogical analysis and, at the same time, to show, from a database created for this purpose, a variety of information about the minerals. The system allow the creation and edition of the knowledge base. The knowledge base consist of a set of production rules written in a especially designed language similar to PROLOG. The inference engine of the system deduces, in a logical way, the name of the minerals from his macroscopic properties and also have the ability to present the steps used in arriving to the answer, thus allowing the user to follow the logic involved.

Key words: Expert Systems, Mineralogy, Minerals, Mineralogical Analysis.

INTRODUCCIÓN

El software Sistema Experto para la Identificación de Minerales (SIME) permite identificar minerales a partir de las propiedades macroscópicas de estos y al mismo tiempo ofrecer una variada información a partir de una base de datos creada a tales efectos. El programa está desarrollado con una interfaz amigable y es una aplicación de 32 bits que puede ejecutarse en los sistemas operativos Windows 95 y Windows NT.

Es conocido por los mineralogistas que la clasificación de los minerales a partir de sus estructuras; así como la determinación de sus propiedades químicas es una tarea muy compleja y requiere de técnicas costosas como: Espectrometría (AAS), Activación Neutrónica (NNA), Plasma (ICP), Difracción de Rayos X, entre otros. Sin embargo, el usuario (geólogo, minero, coleccionista, estudiante) en condiciones de campo o en un trabajo de gabinete, debe ser capaz de realizar una identificación de acuerdo con las propiedades macroscópicas que puede posteriormente, si es necesario, verse confirmada por los análisis mencionados. El sistema que se propone permite, primero, servir de apoyo a este trabajo y resolver la tarea propuesta que es la identificación de los minerales en forma fácil y eficiente; segundo, posibilita apropiarse de las reglas que seguiría un experto para realizar el mencionado trabajo, con un fin didáctico.

La aplicación permite la creación y edición de la base de conocimientos, que consiste en un conjunto de reglas escritas en un lenguaje creado a ese fin y que se asemeja al usado en otros sistemas de representación del conocimiento tales como el PROLOG. El usuario puede inspeccionar las reglas y modificarlas, si lo considera necesario o si desea agregar nuevos minerales al proceso de identificación. El programa contiene un motor de inferencia que, a partir de las reglas y los hechos que se van obteniendo como resultado de preguntas