

Los proyectos de ordenación minero-ambiental de las rocas y minerales industriales. Algunos casos en España

B. Martínez-Plédel⁽¹⁾, J.C. Arranz⁽¹⁾, E. Alberruche⁽¹⁾ y D. Baretino⁽²⁾

(1) Instituto Geológico y Minero de España. Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente
Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid (España)

E-mails: b.martinez@igme.es - jc.arranz@igme.es - e.alberruche@igme.es

(2) Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid

Princesa, 3. 28008 Madrid (España)

E-mail: daniel.baretino@madrid.org

RESUMEN

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME), en el marco de una línea de trabajo denominada ordenación minero-ambiental de los recursos minerales, ha desarrollado un mapa de ordenación minero-ambiental donde se definen y delimitan diferentes categorías para una propuesta de ordenación. El ámbito de aplicación de estos mapas es el sector de las rocas y minerales industriales, debido a la posibilidad de analizar diferentes localizaciones alternativas para la apertura de explotaciones. Para la realización de estos mapas se ha diseñado una metodología sustentada en el análisis de la capacidad de acogida del territorio ante la actividad minera, y soportada en un sistema de información geográfica. El método desarrollado es sistemático y logra una gran transparencia y reproducibilidad en todos los procesos de evaluación. Los estudios de ordenación minero-ambiental se completan con el diseño de modelos de explotación y el establecimiento de criterios y modelos de restauración de los terrenos. Para aquellas zonas donde ya existe una importante concentración de explotaciones, se realiza un plan director minero-ambiental. En este trabajo se presentan las propuestas y actuaciones que está efectuando el IGME con el objetivo de integrar de manera óptima la actividad minera en la ordenación territorial, como paso fundamental para la consideración de la explotación de los recursos minerales en las estrategias para el desarrollo sostenible.

Palabras clave: cartografía, medio ambiente, minería, ordenación del territorio, rocas y minerales industriales

Mining and environmental planning studies on industrial rocks and minerals. Some examples in Spain

ABSTRACT

The Spanish Geological and Mining Institute (IGME), in the framework of its mining and environmental resources planning working line, has developed a mining and environmental use planning map where different categories are defined and delimited on areas which have potentially exploitable resources. These maps are used on the industrial rocks and minerals sector due to the possibility of assessing different alternatives for the location of exploitations. In order to develop these maps a methodology has been designed based on the analysis of the land capability/vulnerability balance regarding mining activities. This methodology is supported by a Geographical Information System. The proposed method is systematic and achieves both an important transparency and the reproducibility of the assessment processes. IGME's projects on environmental and mining use planning also contain as a main goal the design of exploitations and the elaboration of criteria and models for land restoration. In areas where there is a great concentration of active exploitations, an environmental and mining master plan is carried out. In this paper IGME's undergoing proposals and activities on this area are presented with the aim of integrating mining activities in land-use planning in an optimal way. This is considered a fundamental step in order to include the exploitation of mineral resources in sustainable development strategies.

Key words: environment, industrial minerals and rocks, land-use planing, mapping, mining

La minería y la ordenación del territorio

Es una idea universalmente aceptada que la garantía de que el desarrollo de las distintas actividades humanas se produzca en equilibrio con la protección

y conservación del medio ambiente, pasa por una adecuada planificación del territorio.

Desde un punto de vista conceptual, la ordenación del territorio es, tal y como se define en la Carta Europea de Ordenación del Territorio, *la expresión*

espacial de la política económica, social, cultural y ecológica de una sociedad. Es un proceso a través del cual se analizan los factores físico-naturales y socioeconómicos de un área geográfica, se determinan las formas de uso que se consideran idóneas para cada parte de la misma, se define la amplitud y localización y se establecen las normas que han de regular el uso del territorio y los recursos de dicho área (Cendrero, 1988). Por otra parte, la ordenación del territorio tiene como fin distribuir actividades en el espacio de acuerdo con un plan, dentro del marco de una estrategia de desarrollo económico, social, cultural y ambiental –en definitiva, dentro del marco del desarrollo sostenible–, y según un triple principio (Gómez Orea, 1994): adaptación de la actividad a la capacidad de acogida del medio físico; optimización de las interacciones entre las actividades a localizar, en el espacio y en el tiempo; y uso múltiple del territorio, esto es, superposición de las actividades compatibles en espacio y tiempo, aproximando las complementarias y alejando las incompatibles. Lo que se persigue es pues la localización más adecuada, dentro de un determinado ámbito geográfico, de las diferentes actividades humanas en función de los impactos ambientales generados por ellas, de la capacidad de acogida del medio, y del grado de compatibilidad entre los diferentes usos de los recursos naturales, dentro del marco de una estrategia de desarrollo económico, social, cultural y ambiental.

En la minería, la puesta en marcha de la actividad extractiva está condicionada por la localización y existencia de los recursos mineros. En determinados casos no existe la posibilidad de seleccionar más de un emplazamiento, no siendo posible otro análisis que el de la viabilidad económica y ambiental del proyecto minero en la única localización posible, que es aquella donde se ubica el yacimiento. Este es el caso de la minería metálica y energética. El compromiso entre explotación y protección ambiental debe alcanzarse en estos yacimientos mediante el desarrollo de proyectos mineros que tengan en cuenta los aspectos ambientales desde sus etapas iniciales, aplicando diseños y medidas preventivas y correctoras de impacto, e incorporando proyectos de recuperación ambiental de los terrenos, siempre que el análisis y evaluación de la viabilidad ambiental del proyecto asegure que no se afecta severa e irreversiblemente al medio.

El aprovechamiento minero de los recursos geológicos suele entrar en fuerte competencia con otros usos: urbanización, utilización de los acuíferos para abastecimiento, agricultura, industria, esparcimiento y recreo, conservación de biotopos, etc. No obstante, el compromiso entre la extracción de los recursos geológicos y la protección ambiental es

posible, y puede ser alcanzado en muchos casos en el marco de una adecuada ordenación territorial, teniendo en cuenta las peculiaridades de la actividad minera ligadas a la ocurrencia y descubrimiento de los yacimientos y depósitos minerales (Lüttig, 1987; Baretino *et al.* 1994). A pesar de existir estos importantes conflictos de usos del suelo en áreas donde éste es un recurso escaso, para aquellos recursos mineros que se presentan con relativa abundancia, se puede plantear el estudio y análisis de alternativas de localización de la actividad minera dentro del ámbito territorial considerado en el marco de la ordenación territorial, es decir, en función de la capacidad de acogida del medio y del grado de compatibilidad con los otros usos de los recursos. Es el caso de los recursos de áridos, tanto naturales como de machaqueo, calizas, y algunos tipos de arcillas. En menor grado las rocas ornamentales –fundamentalmente pizarras, granitos y mármoles– también se presentan con relativa abundancia, en unas áreas más localizadas geográficamente que en los casos anteriores, pero con suficiente extensión superficial como para poder plantear la selección de los emplazamientos más adecuados para la ubicación de canteras.

Los estudios de ordenación minero-ambiental

El Instituto Geológico y Minero de España viene desarrollando una línea de trabajo desde el año 1993 denominada “ordenación minero-ambiental de los recursos minerales”, cuyo fin primordial es sentar las bases para hacer compatible la optimización del aprovechamiento de los recursos mineros con la minimización de los impactos ambientales.

Los estudios y proyectos de ordenación minero-ambiental se plantean de manera que se obtengan, como mínimo, los siguientes resultados (Baretino, D. *et al.* 2003):

- un Mapa de Ordenación Minero-Ambiental
- diseños de explotaciones
- definición de criterios y modelos de restauración de los terrenos afectados por la actividad minera.

En los Mapas de Ordenación Minero-Ambiental, realizados de manera que sirvan de base para la integración de la actividad minera en los planes de ordenación territorial, se zonifica el territorio soporte de los recursos mineros en función de la viabilidad para su explotación, tanto desde el punto de vista minero como ambiental, combinando ambos enfoques para lograr un óptimo aprovechamiento los recursos produciendo los mínimos efectos sobre el medio. En el mapa se definen y delimitan, sobre las áreas con

recursos potencialmente explotables, diferentes categorías para una propuesta de ordenación: zonas de protección ambiental, donde no es recomendable la explotación, y zonas explotables con diferentes niveles de prioridad.

Con el diseño de explotaciones tipo se persigue la optimización de la rentabilidad de la explotación, la mejora de las condiciones de seguridad en las explotaciones y la minimización de los impactos sobre el medio físico y socioeconómico. El contenido técnico de este bloque de los estudios de ordenación minero-ambiental se detalla más adelante.

El tercer bloque de estos estudios tiene como finalidad establecer los criterios y modelos de restauración de las explotaciones tipo. Su contenido técnico se detalla más adelante.

Para aquellos ámbitos geográficos sometidos a un estudio de ordenación minero-ambiental en cuyo interior existe ya una importante concentración de explotaciones, con su consiguiente problemática ambiental derivada, además de los tres bloques anteriormente descritos se lleva a cabo la elaboración de un Plan Director Minero-Ambiental. Los objetivos de este plan son corregir y minimizar los problemas técnicos y ambientales existentes, consiguiendo una mayor racionalización y planificación de las explotaciones mediante la realización de proyectos globales de infraestructuras comunes para las áreas con concentración de explotaciones activas, y proyectos conjuntos de explotación y restauración. En el plan se plasman los resultados obtenidos en los bloques anteriores del estudio de ordenación minero-ambiental, aplicando los diseños y modelos de explotación y restauración desarrollados sobre las zonas en explotación y aquellas consideradas óptimas para la

implantación de la actividad extractiva según el mapa de ordenación minero-ambiental.

Los estudios de ordenación minero-ambiental tienen su ámbito de aplicación fundamentalmente en el sector de las rocas y minerales industriales, incluida la piedra natural como materia prima ornamental, debido a la posibilidad de analizar diferentes localizaciones alternativas para la apertura de explotaciones, al ser recursos relativamente abundantes.

En cuanto a su ámbito geográfico de aplicación, éste es variable, pudiendo variar desde el nivel regional, con escalas de trabajo desde la 1:200.000 a la 1:50.000, hasta el nivel local, con escalas 1:10.000 ó superiores, pasando por el nivel comarcal o supra-municipal, con escalas entre la 1:50.000 y la 1:10.000.

Casos de ordenación minero-ambiental en España

En la Tabla 1 se incluyen los estudios de ordenación minero-ambiental realizados por el IGME. Como puede verse, dos estudios se refieren a áridos y otros dos a roca ornamental. A continuación se detallan los aspectos más relevantes a considerar en cada uno de ellos, dado que consideramos importante exponer el tipo de situaciones que precisan estudios de ordenación minero-ambiental. En los apartados siguientes se incluye la metodología y contenido técnico básicos de los mapas de ordenación minero-ambiental, de los diseños de explotaciones, de los criterios y modelos de restauración, y de los planes directores, desarrollados a través de los estudios de ordenación minero-ambiental realizados hasta el momento, primero para los casos de áridos y después para los casos de roca ornamental.

Estudio	Recurso	Resultados
La Cabrera (León) 1993-1995	Pizarra para techar	Mapa de Ordenación Minero-Ambiental (84.450 ha; escala 1:25.000) Modelos de Explotación Modelos de Restauración
Alhaurín de la Torre (Málaga) 1998-2000	Áridos de machaqueo	Mapa de Ordenación Minero-Ambiental (3.200 ha; escala 1:10.000) Modelos de Explotación Modelos de Restauración Plan Director (1.368 ha; escala 1:5.000)
Camargo (Cantabria) 1999-2002	Áridos de machaqueo	Mapa de Ordenación Minero-Ambiental (3.946 ha; escala 1:10.000) Modelos de Explotación Modelos de Restauración Plan Director (1.120 ha; escala 1:5.000)
Murcia 2002-2005	Mármol comercial	Mapas de Ordenación Minero-Ambiental (199.600 ha; escala 1:50.000) Modelos de Explotación Modelos de Restauración

Tabla 1. Estudios de Ordenación Minero-Ambiental realizados por el IGME
Table 1. Mining and Environmental Planning Studies carried out by IGME

Se han realizado dos estudios de ordenación minero-ambiental de la explotación de áridos, uno de ellos en la provincia de Málaga (IGME, 2000), y el otro en la provincia de Cantabria (IGME, 2002). En la Fig. 1 se representa el ámbito geográfico de los mismos. El ámbito geográfico del primero de ellos está incluido en el municipio de Alhaurín de la Torre, situado muy próximo a la ciudad de Málaga, estudiándose una zona donde se concentra el 80% de la producción total de áridos de la provincia, estimándose la misma en unos 10 millones de toneladas. Esta producción alimenta la ciudad de Málaga, que posee una población de unos 550.000 habitantes, así como a los municipios de la Costa del Sol, que es una de las principales áreas turísticas del territorio español.

La cercanía a los puntos de destino del material en explotación y la facilidad de extracción, consecuencia de la naturaleza deleznable del material que se aprovecha, han propiciado que en esta zona se haya concentrado la explotación actual en siete canteras, correspondiendo la mayoría a derechos mineros de reducida extensión y concentrados en una superficie prácticamente continua.

Existen actualmente dos pistas asfaltadas que dan salida a la producción de las canteras. Ambas van a confluír a la carretera que cruza Alhaurín de la Torre. La problemática que el tráfico de camiones provoca está directamente ligada a esta circunstancia. Aparte de problemas ligados al polvo y el no generalizado recubrimiento de los materiales transportados con la reglamentaria malla, el principal problema está rela-

cionado con el lugar por el que circulan los camiones, provocando ruidos en zonas habitadas e incrementando el tráfico en una vía que ya de por sí habitualmente está habitualmente congestionada.

En algunos casos la explotación se ha venido realizando de una forma desordenada, lo que se traduce en una problemática importante con merma en el rendimiento económico potencial de la explotación debido fundamentalmente a las reducidas dimensiones de buena parte de los derechos mineros, a la inexistencia de explotación conjunta de las zonas que limitan varios derechos mineros, y la falta de un diseño previo y correcta planificación de las explotaciones, existiendo además un riesgo para la seguridad en algunas canteras debido a la falta de estudios geotécnicos y a ciertas prácticas de explotación.

Desde el punto de vista ambiental también existe una grave problemática, íntimamente relacionada con la falta de criterios en el diseño y planificación de las explotaciones, y que se plasma en acumulación de efectos por multiplicación de operaciones que pudieran ser realizadas conjuntamente, y en la enorme dificultad para la restauración, derivada de la no consideración de los factores ambientales.

Por otro lado, la fuerte presión urbanística existente en el entorno de la zona en explotación ha incrementado la magnitud de los efectos ambientales directos e indirectos sobre la población, así como la percepción de los efectos ambientales sobre el entorno y el paisaje.

Todo ello hizo necesario replantear la explotación del yacimiento adecuándola a la situación real y a la normativa vigente, considerando de forma conjunta cuestiones técnicas y ambientales, y partiendo de que las operaciones extractivas deben ser consideradas como usos del suelo transitorios y no terminales, por lo que es necesario acondicionar los terrenos afectados para alcanzar un equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación del medio.

En la zona de Camargo se concentra el 41% de la producción de áridos de Cantabria, estimándose en unos 3,5 millones de toneladas la producción anual. Esta producción abastece la demanda del sector de la construcción fundamentalmente de la ciudad de Santander, de unos 200.000 habitantes y situada muy próxima a Camargo, así como la demanda originada por las obras públicas en Cantabria.

Aunque con importantes diferencias de detalle, la problemática general es muy similar a la descrita en Alhaurín. En ambos casos se trata de zonas donde han radicado canteras de áridos desde hace décadas, donde el crecimiento demográfico en ambas grandes ciudades, y sobre todo el cambio cultural experimentado por la población orientándose a la vivienda uni-



Fig. 1. Localización de los estudios de ordenación minero-ambiental realizados por el IGME

Fig. 1. Location of the mining and environmental planning studies carried out by IGME

familiar en el extrarradio de las urbes, ha provocado que la urbanización se haya extendido hacia los municipios productores de áridos. De esta manera, en la actualidad estas áreas productoras de áridos se encuentran rodeadas de urbanizaciones y complejos residenciales que están ejerciendo una fuerte presión urbanística sobre las explotaciones. Existe una fuerte oposición al mantenimiento de la actividad extractiva, y más aún a su ampliación en el futuro, existiendo importantes conflictos entre los habitantes de las urbanizaciones, las empresas productoras de áridos, los ayuntamientos, los órganos de la administración, tanto minera como ambiental, etc. Por estos motivos, los órganos competentes en materia de minería de las administraciones regionales de Andalucía y de Cantabria, con el soporte científico y técnico del IGME, abordaron la realización de sendos proyectos de ordenación minero-ambiental. En ambos casos los estudios realizados incluyeron la realización de mapas de ordenación minero-ambiental, modelos de explotación, de restauración, y un plan director minero-ambiental.

En cuanto a las rocas ornamentales, se ha realizado el estudio de ordenación minero-ambiental de las pizarras para techar de La Cabrera (IGME, 1995), y actualmente está finalizándose el estudio de los mármoles de la Región de Murcia (IGME, 2005). En la Fig.1 se representa el ámbito geográfico de los mismos.

La comarca natural de La Cabrera está situada en el extremo suroccidental de la provincia de León, al sur del Bierzo, limitando con las provincias de Zamora y Orense. El Sinclinal de Truchas es una gran estructura geológica que se encuentra a caballo entre las provincias de León y Orense, en las comarcas naturales de La Cabrera y Valdeorras respectivamente. En esta zona se concentra la mayor parte de la minería española de pizarra para cubiertas, que ha adquirido una importancia económica creciente desde la década de los 60, cuando comienza un desarrollo espectacular de las explotaciones como consecuencia del fuerte aumento de la demanda externa de pizarra de techar.

Así como en la comarca orensana de Valdeorras existen numerosas explotaciones mineras de pizarra, en la actualidad hay pocas explotaciones activas en el área de La Cabrera, concentrándose éstas en las zonas de San Pedro de Trones, Sotillo-Benuza y Lago de la Baña. Aún así, a estas canteras corresponde en torno al 20% de la exportación de pizarras españolas.

En las áreas de máxima explotación, el yacimiento de pizarra se ha venido atacando desde un gran número de pequeñas canteras, correspondientes a

derechos mineros de muy reducida extensión superficial, muy concentrados en áreas concretas. Estas canteras han ido creciendo y dotándose de medios de producción cada vez más modernos a medida que ha ido aumentando la demanda de pizarra para techar, quedando constreñidas por la mínima superficie de los derechos mineros. Este hecho ha generado graves problemas para la ampliación de estas canteras una vez agotados los bancos de explotación y para la ubicación de escombreras. A estos hechos se añade la falta de tradición minera previa en este sector, siendo el resultado la presencia general en las explotaciones actuales de una grave problemática desde los puntos de vista técnico, económico, de seguridad y ambiental.

La investigación geológica del Sinclinal de Truchas puso de manifiesto la existencia de una importante cantidad de recursos de pizarra técnicamente explotables para cubiertas, demostrándose la existencia dentro de la Comarca de La Cabrera de los niveles de pizarra explotados actualmente en la Comarca de Valdeorras. Dicha investigación, finalizada en el año de 1990, tuvo como resultados la identificación y caracterización de los niveles potencialmente explotables, así como una cartografía geológico-minera a escala 1:50.000 para todo el Sinclinal, y a escala 1:10.000 para algunos sectores (ITGE, 1990).

Teniendo en cuenta el interés económico que presenta la explotación de este recurso natural, así como el interés social que puede suponer la puesta en marcha de esta actividad en una comarca tradicionalmente deprimida como es La Cabrera, se prevé que en un futuro próximo se iniciará la explotación intensiva en aquellas áreas favorables de la Comarca de La Cabrera, donde, por otra parte, existen áreas con un elevado valor natural. Por todo lo anterior, la Diputación Provincial de León y el IGME abordaron la realización de un estudio de ordenación minero-ambiental con el fin de establecer las bases para la explotación racional de las pizarras de dicha Comarca, y que fue el proyecto pionero en esta línea.

La Región de Murcia se encuentra entre las zonas productoras de piedra natural más importantes de España, fundamentalmente mármol en su acepción comercial, alcanzando en la actualidad el 22% de la producción nacional, con 118 canteras y una producción de 1.752.000 toneladas en el año 2003, cuyo valor fue de 200 millones de euros, lo que supuso casi el 6% de la facturación total del sector de la Piedra Natural en España según datos del Centro Tecnológico del Mármol (IGME, 2005). Ello es debido a su gran potencial geológico, que ofrece 33 variedades comercializadas de mármol y areniscas, siendo la región que pone en el mercado una mayor varie-

dad de litologías con aprovechamiento para uso ornamental. El gran prestigio alcanzado en mercados tanto nacionales como internacionales por variedades como el Crema Marfil, Rojo Quípar o Marrón Imperial, ha favorecido el gran desarrollo experimentado recientemente por esta industria. Por otro lado, la explotación de este recurso ha generado problemas ambientales que están relacionados fundamentalmente con la ubicación de los yacimientos y un impacto paisajístico importante.

La Región de Murcia tiene una extensión de 11.317 km², que supone el 2,24% del territorio nacional, con una población de 1.198.646 habitantes. Dentro de la Región se han seleccionado 5 áreas susceptibles de ordenación minero-ambiental en cuanto a los recursos de roca ornamental que en ellas se encuentran, cuya superficie total acumulada es de 1.996 km². Algunas de las zonas poseen una gran concentración de explotaciones, mientras que en otras apenas se encuentran canteras. Sin embargo, es necesario estudiar estas últimas debido a la existencia de importantes recursos potencialmente explotables.

Por ello, desde la entonces Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Región de Murcia se abordó la realización de un proyecto de investigación y de ordenación minero-ambiental de los recursos de roca ornamental, con el apoyo científico y técnico del IGME, estando dicho proyecto actualmente casi finalizado. Para la investigación geológico-minera de los recursos en las cinco grandes zonas de estudio el nivel de detalle es el de la escala 1:25.000, más que suficiente para la realización posterior de los mapas de ordenación minero-ambiental a escala 1:50.000 en cada una de las zonas. Para aquellas áreas de mayor interés dentro de las cinco zonas, y aquellas donde ya existe una gran concentración de explotaciones, el nivel de detalle es el de la escala 1:5.000.

Mapa de Ordenación Minero-Ambiental

El IGME ha diseñado un nuevo mapa, denominado de ordenación minero-ambiental, donde el territorio que es soporte de los recursos mineros se zonifica y califica en función de la viabilidad minera y ambiental para su explotación. La metodología desarrollada para la realización de estos mapas, soportada en Sistemas de Información Geográfica (SIG), se basa en el análisis de la capacidad de acogida del territorio para la actividad minera o, lo que es lo mismo, en el balance entre la potencialidad del territorio desde el punto de vista minero y su vulnerabilidad o fragilidad ambiental ante la actividad extractiva.

El análisis de la capacidad de acogida se efectúa a

partir de un modelo de impacto/aptitud (Gómez Orea, 1994) ante la actividad minera, para lo que, en el caso de la ordenación minero-ambiental, ha de realizarse previamente el análisis del medio, una investigación geológico-minera, y un análisis de la actividad minera. En la Fig. 2 se muestra el esquema metodológico general desarrollado para la realización de mapas de ordenación minero-ambiental. El sistema metodológico tiene dos fases o etapas fundamentales denominadas "diagnóstico territorial" y "zonificación del territorio". Para alimentar el sistema es necesario disponer de información y cartografías temáticas de los diferentes elementos que constituyen el medio, que integran el denominado "inventario ambiental", así como una caracterización geológica y tecnológica de los diferentes tipos de recursos potencialmente explotables, junto con su delimitación geográfica en un mapa de recursos. También es necesario disponer de la caracterización técnica y ambiental de la explotación minera de los recursos con el fin de identificar la problemática que ésta induce desde ambos puntos de vista.

Es necesario pues realizar o disponer de una información cartográfica y no cartográfica con el suficiente nivel de calidad, rigor científico y detalle. En el inventario ambiental se recoge la información disponible sobre el medio geológico, el clima, la hidrología, los suelos, la vegetación, la fauna, la distribución de los usos del suelo, la descripción del paisaje, el medio socioeconómico, etc. La información relativa a todos aquellos aspectos del medio susceptibles de ser cartografiados se plasma en los correspondientes mapas, que se gestionan en un SIG.

Para llevar a cabo una adecuada planificación y ordenación territorio en lo que a actividad minera se refiere, es necesario conocer a fondo y delimitar geográficamente aquellas zonas del territorio que son soporte de los diferentes recursos mineros, caracterizando la calidad y cantidad de los diferentes recursos, así como analizar el consumo actual y la previsión de la demanda futura de estos recursos, por lo que, de no disponerse de esta información, debe afrontarse su estudio ya en este bloque de trabajos de los estudios de ordenación.

Por otro lado, la caracterización técnica y ambiental de las explotaciones, especialmente las activas, se efectúa a partir de la visita a cada una de ellas y la recogida de información en fichas que se confeccionan para cada caso y recogen, como mínimo, datos generales y administrativos, características de estructuras mineras, del aprovechamiento minero, datos relativos a restauración, causas productoras de impactos ambientales y afecciones producidas, e información gráfica.

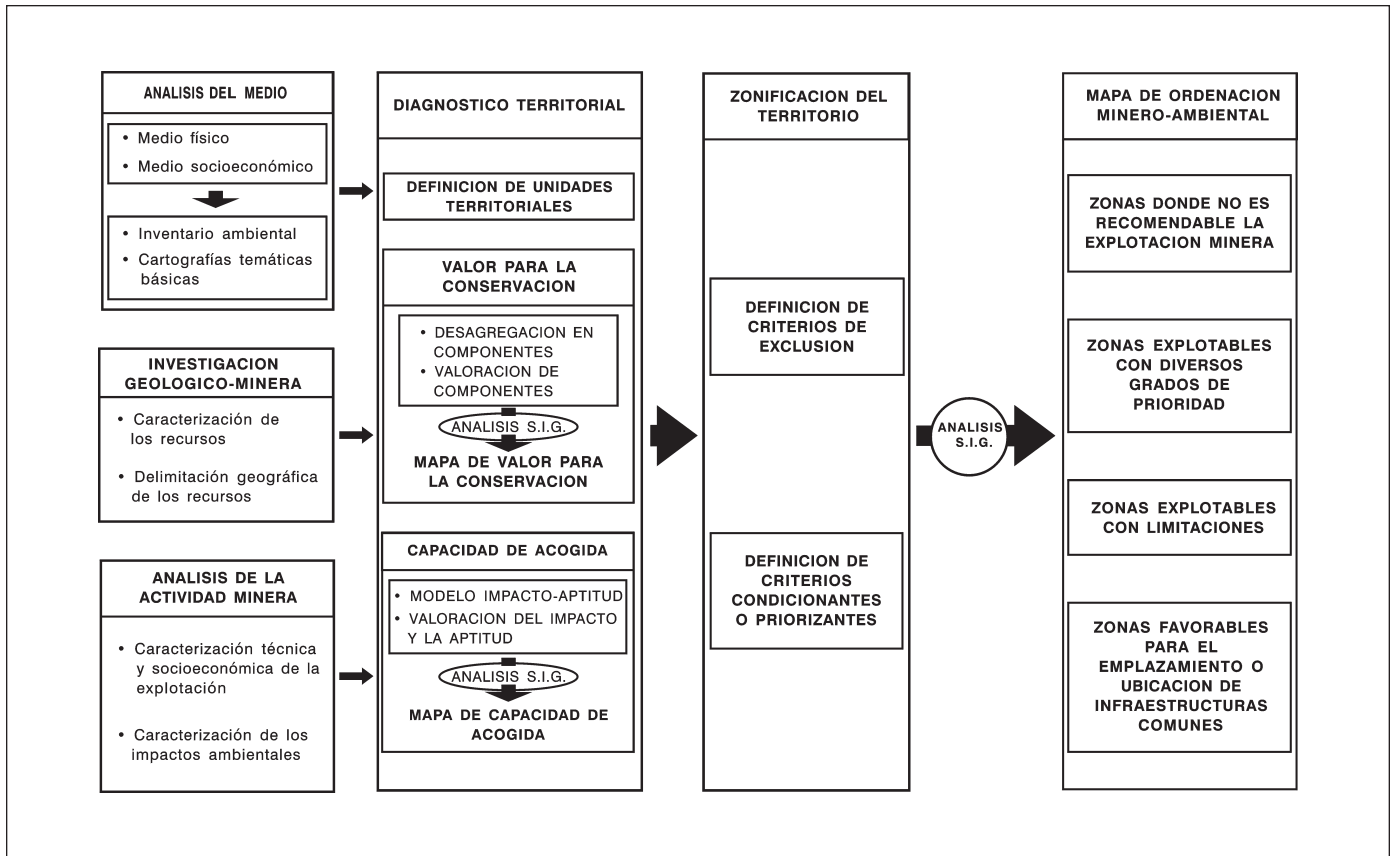


Fig. 2. Esquema metodológico para la realización de Mapas de Ordenación Minero-Ambiental
 Fig. 2. Methodology for the elaboration of Mining and Environmental Planning Maps

El objetivo de la fase de diagnóstico territorial es el análisis de la capacidad de acogida del territorio, expresado éste por medio de unidades territoriales, denominadas también unidades de integración para la actividad minera. Este análisis se efectúa a partir de un modelo impacto/aptitud, valorando ambos sobre cada unidad territorial. Para la evaluación del impacto se parte de un análisis del valor natural o valor para la conservación. Se ha diseñado un sistema en el que las evaluaciones del valor natural, impacto y aptitud se realizan por desagregación en componentes, y asignación de coeficientes de ponderación a cada componente. La utilización de escalas de valoración y coeficientes de ponderación normalizados para todos los componentes a evaluar permite que los resultados intermedios y finales de las valoraciones sean siempre homogéneos y fácilmente comparables y manejables. Con el uso de un SIG en el proceso se consigue un alto grado de automatización en las evaluaciones, así como la posibilidad de obtener de manera automática mapas de valoración de cualquiera de los componentes evaluados.

En la fase de zonificación del territorio soporte de

los recursos de rocas y minerales industriales, éste se zonifica de cara a la explotación minera en función de la capacidad de acogida, y por la aplicación de criterios excluyentes y condicionantes para la actividad extractiva como son la protección de núcleos habitados, de ecosistemas fluviales, de yacimientos arqueológicos, de formaciones vegetales de alto valor, la incidencia visual, etc.

En la Fig. 3 se muestra el Mapa de Ordenación Minero-Ambiental de los recursos de pizarra de techar en la comarca de La Cabrera (León).

En algunos casos la superficie a ordenar es relativamente pequeña y las superficies afectadas por labores mineras es del mismo orden que la zona en estudio. En estos casos no siempre es aplicable el esquema metodológico completo, procediéndose a la zonificación del territorio a partir de la definición de criterios excluyentes y condicionantes para la explotación sin asociarlos a unidades territoriales. Es el caso, por ejemplo, de Alhaurín de la Torre, donde el 21% de las 3.200 ha de la zona de estudio ya estaba afectada por labores mineras. En dicha zona se aplicaron los siguientes criterios de exclusión: por eleva-

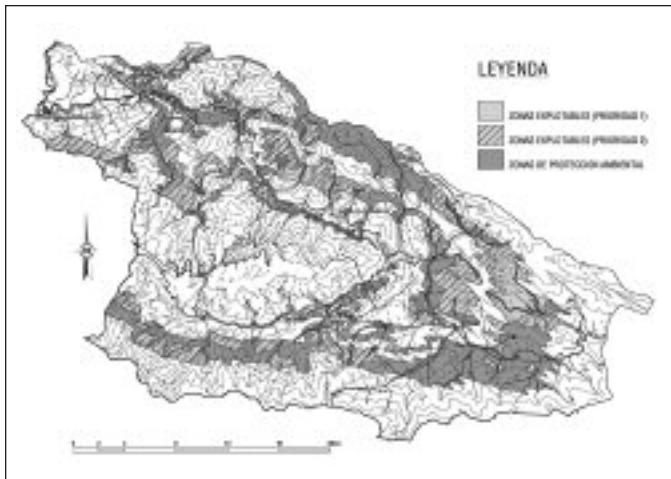


Fig. 3. Mapa de Ordenación Minero-Ambiental de los recursos de pizarra en La Cabrera (León) (IGME, 1995)

Fig. 3. Mining and Environmental Planning Map of slate resources in La Cabrera (León) (IGME, 1995)

da incidencia visual desde la Costa del Sol; por protección paisajística de las líneas de horizonte; por especial valor para la conservación de la vegetación actual; por protección de zonas habitadas.

Definiendo nuevos criterios condicionantes o prioritarios para la explotación dentro de la zona en estudio –incidencia visual y grado de protección del suelo por la cubierta vegetal en el caso que nos ocupa–, se procedió a la delimitación de tres categorías de ordenación dentro de las zonas con recursos que no han sido previamente excluidas para la explotación ni han sido ya afectadas por labores mineras.

Toda esta información permitió realizar una zonificación del territorio que queda reflejada en el Mapa de Ordenación Minero-Ambiental, en el que se proponen Zonas de Protección Ambiental, donde no es recomendable la explotación, y Zonas Explotables con distintos grados de prioridad, además de las zonas hoy afectadas por labores mineras (frentes, plazas y huecos de cantera de explotaciones activas y abandonadas, instalaciones y servicios y áreas explotadas en proceso de recuperación).

Diseño de modelos de explotación

El fin que se persigue en este bloque de los estudios de ordenación minero-ambiental es diseñar unos modelos de explotaciones tipo que permitan simultáneamente mejorar el rendimiento de las explotaciones, mejorar sus condiciones de seguridad, minimizar los impactos ambientales y favorecer una adecuada restauración ambiental.

El contenido técnico que se aborda en este bloque incluye habitualmente:

- diseño de las geometrías de las canteras tipo
- establecimiento de las secuencias y programas de explotación
- métodos y tecnologías de arranque, carga y transporte
- diseño de pistas y accesos
- diseño de drenajes y tratamiento del agua
- diseño de depósitos de estériles.

El diseño de las geometrías de explotación tiene una enorme importancia para cubrir los objetivos planteados en este bloque. Para definir la geometría de las canteras tipo hay que llevar a cabo un estudio geotécnico con el detalle y rigor suficiente, que tenga en cuenta las características geomecánicas de los diferentes litotipos existentes en la zona en estudio, así como las características estructurales de los macizos rocosos.

En el diseño de geometrías de explotación que se viene realizando en los estudios y proyectos del IGME cabe distinguir tres etapas:

- análisis previo de alternativas
- cálculo de la estabilidad global
- geometría de la explotación.

En el análisis previo de alternativas se consideran todas las posibles inestabilidades para cualquier geometría y orientación de los bancos de explotación. En los estudios realizados en Alhaurín de la Torre, Camargo y Murcia, y dadas las características geomecánicas de los correspondientes macizos rocosos, se ha considerado que las posibles inestabilidades ligadas a un talud de excavación se encuentran asociadas a las roturas por las discontinuidades estructurales que pueden estar presentes, y que son: planar, vuelcos y cuñas de roca. Los resultados se resumen en ábacos como el de la Fig. 4, donde pueden observarse los casos en los que se darían las circunstancias para los distintos tipos de rotura.

Una vez analizada de forma general la estabilidad de los taludes ante la formación y caída de bloques de roca por roturas planas, vuelco y cuñas, se analiza la estabilidad global de un frente de cantera con todos sus bancos de explotación. La geometría analizada es la más desfavorable y corresponde al estado final que no necesariamente se corresponde con la geometría de explotación, debiendo cada explotador realizar sus estudios de estabilidad si quiere justificar geometrías menos conservadoras. Para el cálculo en elastoplasticidad de la estabilidad de frentes y escombreras se ha recurrido en los estudios realizados hasta el momento a métodos de diferencias finitas, haciendo uso del programa FLAC para la simulación del terreno como un continuo. En el establecimiento

de las geometrías a analizar se tienen en cuenta criterios de estabilidad, de seguridad y de "restaurabilidad". A modo de ejemplo de modelos de canteras tipo diseñados en los estudios de ordenación minero-ambiental, en la Fig. 5 se muestra uno de los perfiles transversales genéricos de las geometrías de canteras tipo obtenidas como resultado del diseño de modelos de explotación en el estudio para roca ornamental en la Región de Murcia.

Criterios y modelos de restauración

Las bases fundamentales para establecer criterios y modelos de restauración de explotaciones están relacionadas con los suelos, la vegetación y el clima del área en estudio, así como con las geometrías finales de huecos y escombreras (Arranz, J.C. *et al.* 1994).

En este bloque de los estudios de ordenación minero-ambiental se analizan los usos potenciales de los terrenos afectados y se establecen los criterios, recomendaciones y modelos para efectuar la revegetación, centrándose en las siguientes operaciones: manejo y tratamiento de la capa superficial del suelo; tratamiento de los taludes en la preparación de los terrenos (modelado, estabilización y drenajes, protección superficial); enmiendas o mejoras edáficas; selección de especies vegetales; métodos y técnicas de implantación de la vegetación; programa y secuencia de las operaciones; programa de seguimiento y control de la restauración.

En la mayoría de los casos debe asumirse que las superficies ocupadas por los frentes de cantera habrán perdido prácticamente toda posibilidad de sostener usos del suelo productivos. Los tratamientos de rehabilitación habrán de buscar una integración paisajística y una restauración ecológica entendida como la consecución de un estado de equilibrio en el que no tengan lugar nuevos procesos degradativos o, por lo menos, no se produzcan de manera generalizada.

Partiendo de estas premisas se realiza un análisis detallado de la problemática específica que ofrecen los distintos tipos de superficies finales, de las posibilidades de utilización de la tierra vegetal obtenida en labores de desmonte, así como el estudio de las especies vegetales que pueden emplearse en siembras y plantaciones para la revegetación. De este modo se aportan criterios relativos a la gestión de la tierra vegetal, recomendaciones sobre su empleo preferente en zonas más conflictivas, un análisis de las posibles alternativas de mejora de las propiedades del terreno con y sin aporte de suelo, una selección de mezclas de semillas apropiadas para la cubri-

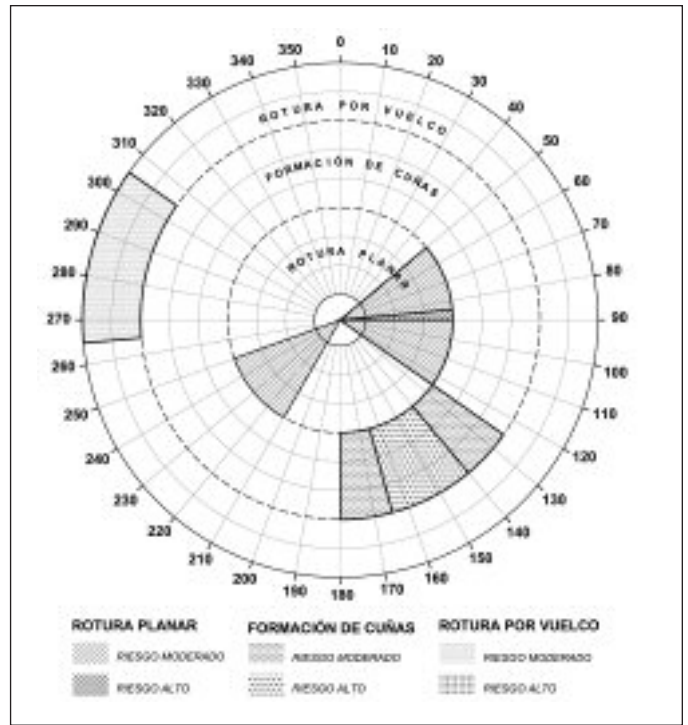


Fig. 4. Posibles inestabilidades según la orientación del talud en una de las zonas de estudio en Murcia (IGME, 2005)
 Fig. 4. Possible unstabilities according to slope orientation in one of the studied areas in Murcia (IGME, 2005)

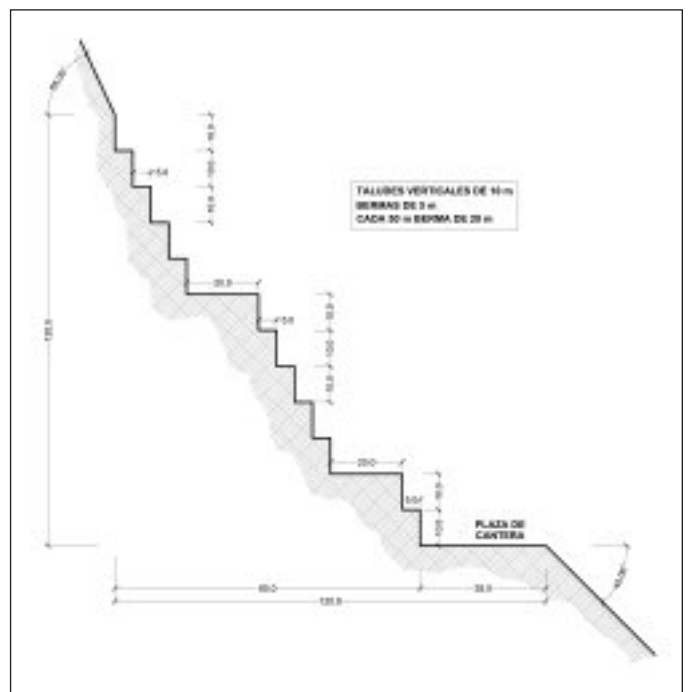


Fig. 5. Geometría de taludes finales de explotación más desfavorable para uno de los casos estudiados en Murcia (IGME, 2005)
 Fig. 5. Most unfavourable final slope geometry for one of the studied cases in Murcia (IGME, 2005)

ción, conservación y mejora del suelo, una selección de especies arbóreas y arbustivas para su establecimiento con carácter definitivo sobre el terreno, y se definen los métodos de implantación más adecuados, desde los más sencillos y económicos a los más sofisticados.

Completando lo anterior, se diseñan secuencias de operación sobre los diferentes tipos de superficies, lo cual implica, por lo general, una planificación de las operaciones que llegue a permitir la realización de las mismas, aunque esto obligue a modificar los criterios de explotación sobre las zonas terminales.

Plan Director Minero-Ambiental

Para aquellas zonas donde ya existe una gran concentración de explotaciones, con la consiguiente problemática ambiental derivada, en los estudios de ordenación minero-ambiental se plantea también la realización de un Plan Director Minero-Ambiental. Los objetivos de este plan son corregir y minimizar los problemas técnicos y ambientales existentes, consiguiendo una mayor racionalización y planificación de las explotaciones mediante la realización de proyectos globales de infraestructuras comunes para las áreas con concentración de explotaciones activas, y proyectos conjuntos de explotación y restauración.

Los planes directores, aunque diferentes unos de otros, suelen contemplar los siguientes aspectos:

- geometría final de las explotaciones: aplicación de los modelos de explotación al área donde se realiza un plan director minero-ambiental
- definición del avance de la explotación, considerando conjuntamente todo el área del plan
- aplicación de los modelos de restauración y definición de los niveles de exigencia para distintas casuísticas
- selección de emplazamientos idóneos para escombreras comunes a varias explotaciones, en caso de haberlas, delimitándose aquellas zonas que cumplan los requisitos impuestos para el sustrato de escombreras (pendientes, características geotécnicas adecuadas) y analizándose los factores técnico-económicos y ambientales para seleccionar los emplazamientos más idóneos desde ambos puntos de vista
- infraestructuras comunes a las diferentes explotaciones, planificándose pistas, abastecimiento de energía eléctrica, abastecimiento de agua, etc.

Así, en el estudio de ordenación minero-ambiental de la explotación de áridos en Alhaurín de la Torre (Martínez-Plédel, B. *et al.* 2002), el Plan Director Minero-Ambiental pretende ser el documento final en el

que se recogen las acciones necesarias para corregir los actuales problemas y prevenir los que en el futuro pueden presentarse como consecuencia de la continuación de la explotación, a la luz de los resultados obtenidos después de la elaboración del Mapa de Ordenación Minero-Ambiental y el diseño de modelos de explotación y restauración.

Con objeto de aclarar el contenido que pueden y suelen tener los tres primeros puntos arriba enunciados, recogemos a continuación y de forma resumida las propuestas más destacables del plan director elaborado en el proyecto de Alhaurín de la Torre:

Modelos de explotación y geometría final de las explotaciones

Se adoptaron las geometrías de explotación diseñadas, a partir de las cuales se diseñó un modelo tridimensional de explotación a escala 1:5.000 que respeta estrictamente las superficies incluidas en las Zonas de Protección Ambiental para la explotación de áridos, ciñéndose lo más posible a las zonas de mayor prioridad para la explotación (la 1, y la 2 cuando se justifica suficientemente, de un total de 3). Las nuevas superficies a explotar según el modelo diseñado están incluidas dentro de los derechos mineros no caducados, bastando en este caso la explotación de esos derechos para abastecer al mercado durante más de 20 años, con un incremento de superficie afectada del 56,1%. En la Fig. 6 se muestra la superposición de los huecos de explotación finales sobre el mapa de ordenación minero-ambiental. Obviamente, se consideró la explotación conjunta de aquellos derechos lindantes, cuestión que no se realizaba antes del estudio de ordenación minero-ambiental.

Desarrollo de la explotación

Se consideró siempre un sistema de explotación de forma descendente, de modo que se pueda restaurar a medida que avanza la explotación y se eviten los riesgos que suponía el entonces habitual trabajo a pié de unos taludes que no ofrecían siempre las garantías suficientes de estabilidad.

La restauración debe seguir a la explotación en las superficies finales en cuanto éstas existan y no esté suficientemente justificada su utilización para otros fines.

El avance de la explotación quedó establecido en tres fases. No se pretendió, al definir estas grandes fases, sino establecer un orden y coordinación en el

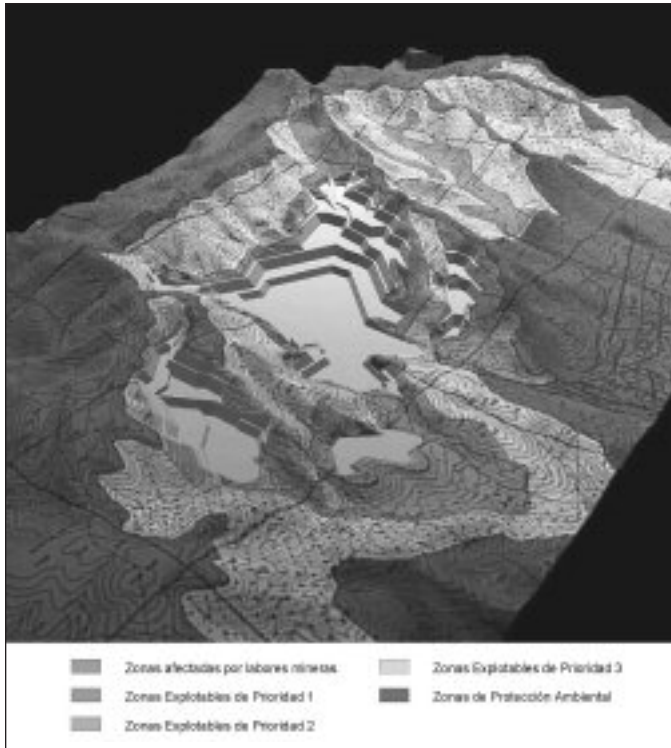


Fig. 6. Aplicación de los modelos de explotación sobre las zonas favorables del Mapa de Ordenación Minero-Ambiental en Alhaurín de la Torre (Málaga) (IGME, 2000)

Fig. 6. Application of the exploitation models on the most favourable areas of the Mining and Environmental Planning Map in Alhaurín de la Torre Málaga (IGME, 2000)

avance de explotación entre los cuatro huecos diseñados y dentro de cada uno de ellos pues, obviamente, el mayor o menor avance de la explotación estará condicionado al ritmo de producción de las canteras. La representación cartográfica de estas fases se realizó a escala 1/5.000.

Restauración y definición de los niveles de exigencia

Ya se ha hablado de la geometría final más recomendable para las futuras superficies de explotación. Se entiende que con vistas a la restauración de los terrenos se adopta dicha geometría como modelo general y se adoptarán los criterios y modelos de restauración incluidos en el correspondiente documento, aunque cabe plantear soluciones más conservadoras en cuanto a altura e inclinación de los taludes de banco si se quieren facilitar los trabajos de integración ecológica y paisajística.

Según quedó reflejado en el Mapa de Ordenación Minero-Ambiental, se propusieron Zonas de Protección Ambiental, en las que no es recomendable la

explotación, y Zonas Explotables con distintos grados de prioridad dentro de las zonas con recursos que no han sido excluidas para la explotación ni han sido ya afectadas por labores mineras. Para que la ordenación de los recursos sea más efectiva, la explotación de una determinada superficie considerada dentro de alguna de las tres zonas ha de tener reflejo en el nivel de exigencia de los objetivos y en los resultados finales que se quieran alcanzar con las labores de restauración que se adopten. Así, el nivel de exigencia que se impone en el plan director para la restauración en Zonas Explotables de Prioridad 3 es más alto que en las de prioridad 2, y en éstas lo es con respecto a las de prioridad 1. En cualquier caso, la decisión de explotar una determinada superficie debe ser tomada sabiendo que, por lo anteriormente dicho, se adquiere el compromiso de rehabilitar los terrenos hasta obtener unos resultados acordes con unas exigencias diferentes según la zona de que se trate. En las zonas ya afectadas por labores mineras se establecieron las medidas de restauración a aplicar en función de una definición previa de la casuística existente (plazas de cantera, taludes cuya conformación ya no es posible sin afectar seriamente al medio circundante, etc.).

En todos los casos, sobre las superficies de los frentes finales se propuso tomar medidas encaminadas a la protección contra la erosión y a la integración paisajística de mayor intensidad que sobre las plataformas y plazas de cantera, dado que esos fueron los criterios condicionantes utilizados en el estudio de Alhaurín de la Torre. En esas superficies no cabe plantear ningún aprovechamiento del terreno, por lo que debe establecerse una vegetación de carácter protector e integrador con la máxima densidad posible. En las bermas de mayor anchura debe instalarse un canal de drenaje que se continuará en la cuneta del acceso a las mismas. Se consideró también el control del posible desarrollo de regueros de erosión sobre los taludes, tomando medidas para impedir que nunca el crecimiento de un reguero llegue a afectar a dos bancos sucesivos por erosión remontarte.

Referencias

- Arranz González, J.C., Martínez Plédel, B. y Diéguez de la Barrera, R. 1994. Criterios de restauración ambiental de los terrenos afectados por la explotación de pizarra en la comarca de La Cabrera (León). *IX Congreso Internacional de Minería y Metalurgia*. León, 5, 247-270.
- Barettino Fraile, D., Arranz González, J.C., Martínez Plédel, B. y Alberruche del Campo, E. 1994. Ordenación Minero-Ambiental del yacimiento de pizarra de La Cabrera (León). *IX Congreso Internacional de Minería y Metalurgia*. León, 1, 509-532.

- Barettino, D., Martínez-Plédel, B., Arranz, J.C. y Alberruche, E. 2003. Las bases para la integración de los recursos minerales en la ordenación del territorio: el Mapa de Ordenación Minero-Ambiental. En Martins L. y Carrión, P. (Eds.): *Integración de la Minería en la Ordenación del Territorio*. ESPOL-CYTED, Guayaquil, Ecuador, 139-152.
- Cendrero, A. 1988. Planificación ambiental y ordenación de usos del territorio. En IGME: *Geología ambiental*. Madrid, 25-32.
- Gómez Orea, D. 1994. *Ordenación del Territorio. Una aproximación desde el Medio Físico*. IGME, Madrid, 238 pp.
- IGME. 1995. *Ordenación minero-ambiental del yacimiento de pizarras ornamentales de La Cabrera (León)*. Informe inédito. Centro de Documentación del IGME, Madrid.
- IGME. 2000. *Ordenación minero-ambiental de la explotación de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga)*. Informe inédito. Centro de Documentación del IGME, Madrid.
- IGME. 2002. *Ordenación minero-ambiental de la explotación de áridos de Camargo (Cantabria)*. Informe inédito. Centro de Documentación del IGME, Madrid.
- IGME. 2005. *Investigación y Ordenación Minero-Ambiental de los recursos de roca ornamental de la Región de Murcia*. Informe inédito. Centro de Documentación del IGME, Madrid.
- ITGE. 1990. *Investigación de pizarras en la Reserva Estatal "Sinclinal de Truchas" (León)*. Informe inédito. Centro de Documentación del IGME. Madrid.
- Lüttig, G.W. 1987. Approach to the problems of mineral resources extraction, environmental protection and land-use planning in the industrial and developing countries. En: Arndt, P. y Lüttig, G.W. (eds.): *Mineral resources extraction, environmental protection and land-use planning in the industrial and developing countries*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 7-13.
- Martínez-Plédel, B., Arranz, J.C., Alberruche, E., Donaire, M. y Barettino, D. 2002. Ordenación Minero-Ambiental de la explotación de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga). *XI Congreso Internacional de Industria, Minería y Metalurgia*. Zaragoza, 12 pp.

Recibido: mayo 2005
Aceptado: marzo 2006