

Minería, medio ambiente y gestión del territorio

A-5

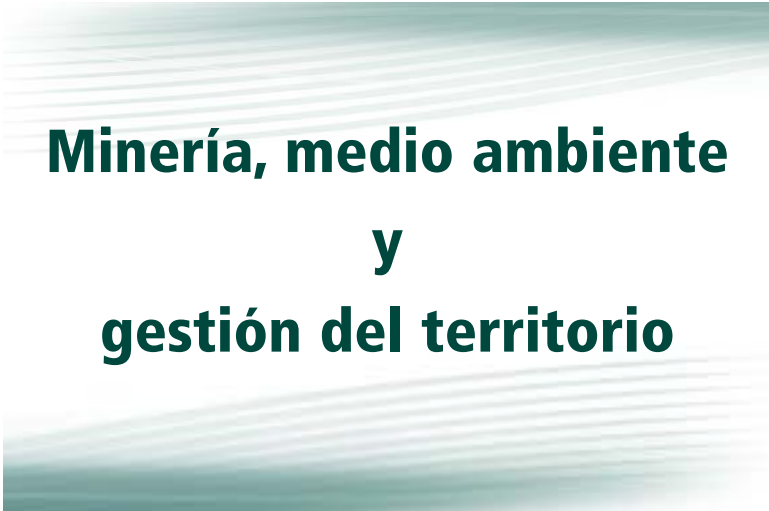


Julio César Arranz González
Esther Alberruche del Campo



Organización
de Estados
Iberoamericanos

Para la Educación,
la Ciencia
y la Cultura



Minería, medio ambiente y gestión del territorio

Julio César Arranz González



Esther Alberruche del Campo



MÁSTER INTERNACIONAL “APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS MINERALES” (UE/Programa Alfa II-0459-FA)

Red DESIR (Desarrollo Sostenible – Ingeniería – Recursos Minerales)

Coordinación: Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

Prof. Ricardo Castroviejo Bolibar

ETSI Minas, Departamento de Ingeniería Geológica

C/ Alenza nº 4

28003 Madrid – España

e-mail: esther.adiego@upm.es

Teléf.: +34 91 336 64 65

Autores

Julio César Arranz González

Esther Alberruche del Campo

Editores

Ricardo Castroviejo Bolibar (Recursos Geológicos)

José Antonio Espí Rodríguez (Medio Ambiente y Minería)

Comité Editorial

Ricardo Castroviejo Bolívar

José Antonio Espí Rodríguez

Fernando Vázquez Guzmán

Supervisión Editorial

Carlos León Altamirano

Hugo Romero Sánchez

Diseño y Montaje

Dispublic

Copyright © 2007, RED DESIR

Todos los derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial sin el consentimiento de los autores.

ISBN: 978-84-96398-10-8

Depósito Legal:

Primera edición: Enero 2008 (500 ejemplares)

Imprime: Gráficas Monterreina S.A.

Área Empresarial Andalucía, sector 2

28320 Pinto Madrid

“Este documento se ha realizado con la ayuda financiera de la Comunidad Europea. El contenido de este documento es responsabilidad exclusiva de la Red DESIR y en modo alguno debe considerarse que refleja la posición de la Unión Europea”

ÍNDICE

RELACIÓN DE TÉRMINOS SIGNIFICATIVOS	5		
1.- PROPÓSITO DEL LIBRO Y AYUDA A SU LECTURA	7		
2.- INTRODUCCIÓN	9		
3.- LA ORDENACIÓN TERRITORIAL Y LA EXPLOTACIÓN DE RECURSOS MINERALES	11		
4.- LOS ESTUDIOS DE ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL EN EL IGME	15		
5.- METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE UN MAPA DE ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL	19		
5.1 Análisis del medio	20		
5.2 Investigación Geológico-Minera	21		
5.3 Análisis de la actividad minera	22		
5.4 Diagnóstico territorial	23		
5.5 Definición de las Unidades Territoriales	25		
5.6 Valoración del Territorio en términos de méritos de conservación	27		
5.7 Estimación de la fragilidad o vulnerabilidad del territorio ante la actividad extractiva	30		
5.8 Estimación de la aptitud del territorio para la explotación minera	31		
5.9 Determinación de la capacidad de acogida del territorio ante la explotación minera	31		
5.10 Zonificación del territorio	34		
6.- ALTERNATIVAS METODOLÓGICAS PARA LA REALIZACIÓN DE MAPAS DE ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL	37		
6.1 Ordenación MineroAmbiental de explotaciones de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga)	40		
6.2 Ordenación Minero-Ambiental de recursos de roca ornamental en la Región de Murcia	43		
7.- PLANES DIRECTORES MINERO-AMBIENTALES	47		
7.1 Plan Director Minero-Ambiental de explotaciones de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga)	48		
8.- ALGUNOS OTROS EJEMPLOS DE TRABAJOS DE ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL	51		
8.1 Proyectos de Ordenación Minero-Ambiental en Ecuador	51		
8.2 Mapa de Ordenamiento Minero-Ambiental de áridos naturales de los depósitos sedimentarios de origen fluvial de la parte media y baja del río Jarama	52		
8.3 El Plan Regional de Ordenamiento del Territorio de la Zona de los Mármoles de Estremoz	59		
9.- FUTURO DE LOS ESTUDIOS DE ORDENACIÓN TERRITORIAL EN ÁREAS MINERAS	61		
10.- PLANES DE MINERÍA ABANDONADA	63		
10.1 Problemática de la minería abandonada	63		
10.2 Ideas generales sobre planes de minería abandonada	64		
10.3 Planes de minería abandonada en los Estados Unidos de América. Iniciativa AMLI	68		
10.4 Diagnóstico ambiental de áreas mineras degradadas en Portugal	72		
10.5 Primeros trabajos para la restauración ambiental de la región del Bierzo (León, España)	75		
11.- EPÍLOGO	85		
BIBLIOGRAFÍA	87		

TÉRMINO	Página
Ordenación Territorial	11
Mapa de Ordenación Minero-Ambiental	19
Análisis del Medio	20
Diagnóstico Territorial	23
Unidades Territoriales	26
Valor de Conservación	30
Capacidad de Acogida	31
Zonificación	34
Enfoques para el Diagnóstico Territorial	38
Mapas de Valoración de Recursos	44
Plan Director Minero-Ambiental	47
Pasivos Ambientales Mineros	63
Minería Abandonada	64
Restauración	65
Reformación	65
Rehabilitación	65
Remediación	65
Plan de Minería Abandonada	67

Pronóstico del libro y ayuda a su lectura

1 PROPÓSITO DEL LIBRO Y AYUDA A SU LECTURA

1. Intención:

Este libro se concibe como una presentación de las metodologías de ordenación territorial aplicadas a territorios donde existen abundantes recursos mineros potencialmente explotables, así como de las fórmulas generales de evaluación ambiental para la definición de prioridades de actuación en territorios en los que existen abundantes pasivos ambientales mineros. El propósito principal es el de instruir y asesorar al lector interesado en las técnicas, fórmulas y métodos empleados en proyectos reales de ordenación minero-ambiental y de programas de actuación sobre áreas con abundantes impactos generados por minería abandonada a cielo abierto. Para ello, se aportan descripciones extraídas de una serie de estudios reales llevados a cabo en la Península Ibérica, Latinoamérica y los Estados Unidos de América, con especial detenimiento en algunos trabajos realizados por el Instituto Geológico y Minero de España.

2. Estructura:

En el capítulo 2 se hace una introducción general sobre la problemática ambiental generada por la minería a cielo abierto y el modo de abordarla desde una perspectiva territorial. El capítulo 3 describe lo que se entiende por ordenación territorial, y justifica la oportunidad de aplicarla cuando se trata de planificar el desarrollo de determinados tipos de minería a cielo abierto. En el capítulo 4 se pasa revista a los trabajos de Ordenación Minero-Ambiental que ha realizado el Instituto Geológico y Minero de España, para, en los capítulos 5 y 6, describir con detalle las metodologías utilizadas para la elaboración de lo que se han denominado Mapas de Ordenación Minero-Ambiental, con ejemplos sacados de dichos trabajos. El capítulo 7 describe lo que se han denominado Planes Directores Minero-Ambientales, los cuales surgen como respuesta a los problemas ambientales existentes en áreas donde existen grandes concentraciones de explotaciones mineras. En el capítulo 8 se comentan otra serie de trabajos de ordenación realizados dentro y fuera de España, con lo que se pretende ampliar la visión sobre los ámbitos de aplicación de los mismos y sobre las variantes metodológicas. El capítulo 9 incluye una breve visión de futuro para este tipo de estudios. Por último, el capítulo 10 se ocupa de la minería abandonada desde una perspectiva territorial, intentando encontrar los fundamentos comunes que subyacen a las diferentes fórmulas existentes para abordar Planes o Programas de actuación sobre territorios de tradición minera, y mostrando, de nuevo ejemplos reales. La realización de inventarios y los métodos sencillos que sirven para fijar prioridades de actuación son los aspectos fundamentales sobre los que se hace especial hincapié.

3. Nivel de conocimientos requerido:

No es preciso que el lector posea elevados conocimientos sobre los temas tratados, puesto que el texto se puede considerar de carácter introductorio. Sin embargo, es deseable que el lector esté familiarizado con términos y conceptos tanto mineros como ambientales, así como con el manejo y comprensión de mapas temáticos.

4. Bibliografía de apoyo:

Existe abundante y excelente bibliografía sobre ordenación territorial, pero no se puede decir lo mismo si se busca aquella que pudiera estar más relacionada con la planificación territorial de actuaciones tocantes a la minería a cielo abierto, pues ésta se presenta dispersa y, muchas veces está escrita con enfoques diferentes. Se incluye, una lista de publicaciones que ha servido para la realización del presente texto. Muchas de las citas son altamente recomendables para ampliar conocimientos o entrar en detalles sobre aspectos tratados sólo por encima. Las páginas web en Red también aportan conocimientos muy valiosos, sobre todo en lo que se refiere a los trabajos del USGS y a las reuniones y ediciones del entorno CYTED XIII.

Introducción

2 INTRODUCCIÓN

La minería a cielo abierto puede generar cambios substanciales en las formas del relieve, modificando irreversiblemente la estructura geológica del espacio afectado por los trabajos de extracción. Es causa evidente de la destrucción del suelo o pone en marcha procesos de degradación del mismo. Las explotaciones a cielo abierto pueden producir alteraciones sobre los recursos hídricos superficiales y subterráneos, tanto en calidad como en cantidad. Igualmente, las minas generan cambios en el flujo interno y externo del agua, y modifican el funcionamiento natural de los procesos de desplazamiento de materiales por erosión, arrastre y sedimentación, o por movimientos en masa. El ambiente biológico es completamente destruido, o radicalmente modificado, cuando menos durante el tiempo en el que se realizan labores mineras. Los efectos sobre el medio socioeconómico alcanzan a entornos que pueden sobrepasar con creces el área directamente influida por las actividades de las minas y canteras. Por último, la minería a cielo abierto modifica el paisaje, entendido como expresión espacial y visual del medio. Quizás por todo ello está muy extendida en la sociedad la creencia de que la extracción y aprovechamiento de los recursos minerales y la protección del medio ambiente son incompatibles, y ésto es así porque durante mucho tiempo la actividad extractiva se ha desarrollado buscando la máxima rentabilidad económica sin tener en cuenta los costes ambientales que puede originar.

Todos los proyectos mineros redactados con posterioridad a la entrada en vigor de las leyes que exigen la presentación de proyectos de cierre y restauración, estudios de impacto ambiental, o ambos, deben acompañarse del correspondiente estudio de los impactos ambientales. Queda en otro ámbito de tratamiento (no bien definido) toda la minería abandonada, histórica o reciente, la cual ha dejado un importante legado de alteraciones ambientales en todo el mundo. Muchas minas a cielo abierto abandonadas continúan y continuarán poniendo en peligro la salud y seguridad públicas, degradando la calidad ambiental y disminuyendo la capacidad de aprovechamiento del terreno o los recursos hídricos.

Algunos recursos, como las rocas y minerales industriales, suelen presentarse con relativa abundancia en territorios determinados. En las áreas de máxima explotación, los yacimientos son atacados desde un gran número de canteras o frentes de explotación, y suele darse la circunstancia de que conviven canteras activas e inactivas, grandes y pequeñas. Cuando esto ocurre, la acumulación de efectos ambientales producidos por el conjunto de todas ellas puede exceder a la simple suma de los efectos de cada explotación, lo que no es previsto en los proyectos de restauración o estudios de impacto ambiental de cada una de ellas. Estos efectos globales se escapan a las autoridades responsables, cuando se enjuicia

individualmente cada uno de los proyectos mineros con sus correspondientes planes de restauración. La ocurrencia de tales hechos descubre carencias del sistema legal, y pone de manifiesto la oportunidad de considerar la actividad minera en el marco de la ordenación territorial, teniendo en cuenta las peculiaridades propias de la actividad, mediante lo que se han llamado proyectos de Ordenación Minero-Ambiental (entre otras denominaciones). Otro tipo de estudios ambientales de carácter territorial surgen de iniciativas tomadas a ciertos niveles de la Administración, con el objetivo final de establecer prioridades de actuación sobre zonas con especial problemática ambiental ligada a la minería.

En la mayoría de los estudios realizados desde una perspectiva territorial, se parte de una evaluación ambiental surgida de una labor de inventario de explotaciones, que es acompañada de una caracterización ambiental de las mismas, y se desarrolla haciendo intervenir una serie de cartografías temáticas básicas y derivadas, con apoyo de Sistemas de Información Geográfica. El objetivo final es la elaboración de cartografías e informes que pretenden prestar apoyo a las decisiones que, en su caso, habrán de tomar las autoridades responsables, sirviendo de instrumento básico para el establecimiento final de prioridades de actuación o para la redacción de normas legales.

La ordenación territorial

3 LA ORDENACIÓN TERRITORIAL Y LA EXPLOTACIÓN DE RECURSOS MINERALES

Es una idea universalmente aceptada que la garantía de que el desarrollo de las distintas actividades humanas se produzca de forma equilibrada con la protección y conservación del medio ambiente, pasa por una adecuada planificación sobre el territorio. El compromiso entre la extracción de los recursos geológicos y la protección ambiental es posible, y debe ser alcanzado en el marco de una adecuada ordenación territorial, teniendo en cuenta las peculiaridades de la actividad minera, que están ligadas a la ocurrencia y descubrimiento de los yacimientos y depósitos minerales (Lüttig, 1987; Baretino *et al.*, 1994).

La ordenación del territorio es definida en la Carta Europea de Ordenación del Territorio (CEMAT, 1983) como *"la expresión espacial de la política económica, social, cultural y ecológica de una sociedad"*. El objetivo último de la planificación territorial es la distribución espacial de las actividades dentro de un marco estratégico de crecimiento definido, de forma que se garantice el desarrollo socioeconómico equilibrado, la mejora de la calidad de vida, la gestión responsable de los recursos naturales y la protección ambiental, y el uso racional del territorio. 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).

Según Méndez, (1990) la ordenación del territorio es un proceso planificado, de naturaleza política, técnica y administrativa, que está al servicio de la gestión ambiental y del desarrollo. Conviene recalcar esto último: la ordenación del territorio es una función pública, que debe quedar plasmada en último término en forma de normas jurídicas y apoyada sobre prácticas administrativas y principios consolidados (participación pública, coordinación entre entes de la administración y entes sociales, concertación entre el interés público y el privado), y cimentada en conocimientos científicos y técnicos de carácter pluridisciplinar y cartografías temáticas (Zoido, 1998). Sin perder de vista que la concepción de la ordenación del territorio comprende diversas facetas, son los aspectos científico-técnicos y cartográficos los que dan sentido a estas páginas.

Es evidente que el aprovechamiento minero de los recursos geológicos puede entrar en conflicto con otros usos del suelo: urbanización, utilización de los acuíferos para abastecimiento, agricultura, industria, esparcimiento y recreo para la población, conservación de biotopos, transporte, etc.. Por ello, la asignación


Ordenación Territorial

de usos sobre el territorio, incluido el minero, se debe realizar de acuerdo con las directrices de la política de desarrollo que se quiera promocionar, 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, favoreciendo la superposición de las actividades compatibles en espacio y tiempo, aproximando las complementarias y alejando las incompatibles. En definitiva, lo que se persigue con la planificación territorial es la localización más adecuada, dentro de un determinado ámbito geográfico, de las diferentes actividades humanas en función de la vulnerabilidad, potencialidad y 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 (Barettino *et al.*, 2003).

La ordenación del territorio ejerce, por lo tanto, un papel integrador de las diferentes políticas sectoriales con proyección espacial, y es desde esta perspectiva global e integradora como se debe abordar la problemática medioambiental derivada de la actividad extractiva. Sin embargo, la extracción de recursos minerales ha sido muchas veces ignorada en los estudios de ordenación o planificación territorial. Para conseguir una integración efectiva de la minería en la ordenación territorial es necesario previamente: conocer con suficiente detalle y delimitar geográficamente aquellas zonas del territorio que son soporte de los recursos mineros, evaluando la cantidad y calidad de éstos; analizar el consumo actual y la previsión de la demanda futura de estos recursos, y las características propias y condicionantes técnico-económicos de su explotación (Barettino *et al.*, 2003). La falta de conocimiento básico geológico-minero en los diseños de ordenación territorial ha supuesto, en muchas ocasiones, restricciones al acceso a recursos geológicos de gran importancia económica para su explotación, por lo que parte de éstos han quedado bloqueados o “esterilizados”, como consecuencia de haber sido asignado al terreno otro uso (Stenestad & Sustrac, 1994).

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, sobre todo, 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 a ningún elemento del medio (Martínez-Plédel *et al.*, 2006).

Existen, sin embargo, algunos tipos de rocas y minerales industriales que se presentan en la naturaleza con relativa abundancia, y amplia distribución geográfica. Este es el caso de los recursos de áridos naturales y de machaqueo,



calizas y algunas clases de arcillas y, en menor grado, las rocas ornamentales –fundamentalmente pizarras, granitos y mármoles–. En este tipo de recursos es posible, por lo tanto, poder analizar diferentes alternativas de localización de las explotaciones, pudiéndose seleccionar las más óptimas desde el punto de vista de la mayor rentabilidad con el mínimo impacto posible.

Así pues, en aquellas áreas donde el recurso minero es escaso, las posibilidades de reducir la conflictividad entre usos o aprovechamientos del territorio van a ser más limitadas, ya que el yacimiento va a prefijar fuertemente la localización. En estos casos, las medidas posibles van a estar orientadas a la aplicación de buenas prácticas mineras desde el punto de vista técnico-económico y ambiental, y de restauración. En el caso de las rocas y minerales industriales que son recursos relativamente abundantes, se puede plantear dentro de un determinado ámbito territorial, además de las medidas anteriores, el estudio y análisis de alternativas de localización de la actividad minera en función de la capacidad de acogida del medio y del grado de compatibilidad con los otros aprovechamientos posibles de los recursos naturales.

Los estudios de ordenación

4. LOS ESTUDIOS DE ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL EN EL IGME

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) viene desarrollando desde el año 1993 una línea de trabajo denominada “*Ordenación Minero-Ambiental de los Recursos Minerales*”, que tiene como objetivo el emplazamiento de las explotaciones y estructuras mineras en aquellos lugares donde sea compatible el beneficio óptimo de los recursos minerales con el máximo grado posible de protección y conservación del medio ambiente. Las fórmulas y metodologías seguidas en los diferentes proyectos realizados se han ido dando a conocer y han servido para orientar e inspirar a otros, por lo que puede ser interesante ofrecer una revisión de dichos trabajos.

Los resultados que se persiguen en este tipo de proyectos que desarrolla el IGME son los siguientes (Barettino, 1994; Barettino *et al.*, 1994; Barettino *et al.*, 1998; Barettino *et al.*, 1999; Barettino *et al.*, 2003; Alberruche, 2002; Alberruche *et al.*, 2003; Martínez-Pledel *et al.*, 2006):

- Zonificación del territorio soporte de los recursos mineros en cuanto a su aptitud para la explotación, tanto desde el punto de vista minero como ambiental. Realización de un *Mapa de Ordenación Minero-Ambiental*, síntesis de una colección de cartografías temáticas ambientales y geológico-mineras, que sirva de base para la integración de la actividad minera en los Planes de Ordenación Territorial y que pueda constituir una herramienta para las empresas explotadoras, planificadores y gestores, direccionando la actividad extractiva hacia las zonas donde la afección ambiental sea menor.
- Establecimiento de *criterios y modelos de explotación* combinando criterios de máxima productividad y de mínimo impacto ambiental, y considerando la seguridad en el diseño geométrico de canteras.
- Determinación de *criterios y modelos de restauración* de los terrenos afectados por las explotaciones.

Lo que se ha denominado Mapa de Ordenación Minero-Ambiental, y los procedimientos empleados para su elaboración, se presentan como la contribución principal de estos trabajos, y pueden suponer una importante aportación para la integración de los recursos minerales y la actividad minera en la ordenación del territorio. En este mapa 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, y de manera conjunta, para lograr de forma simultánea

el óptimo aprovechamiento de los recursos con los mínimos efectos sobre el medio. En el mapa se definen y delimitan diferentes categorías sobre las áreas con recursos potencialmente explotables, en aras de lograr una propuesta de ordenación: zonas de protección ambiental, donde no es recomendable la explotación, y zonas explotables con diferentes niveles de prioridad (Barettino *et al.*, 2003).

Con el diseño de explotaciones tipo (modelos de explotación) 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 ambiente. En este apartado del estudio se contempla el diseño de las geometrías de las explotaciones tipo, la secuencia y programa de explotación, los métodos y tecnologías de arranque, carga y transporte, los diseños de pistas y accesos, de drenaje y tratamiento del agua, y de los depósitos de estériles. Se incluye además la definición de criterios y modelos de restauración de las explotaciones tipo, mediante fórmulas adaptadas a los tipos de explotación y al medio natural presente en las zonas de estudio, buscando su integración paisajística y ambiental. Sobre estos aspectos es posible obtener más información en Arranz González *et al.* (1994), Arranz González (1996), Barettino *et al.* (2005) y Martínez-Plédel *et al.* (2006).

En la ordenación minero-ambiental de áreas que ya sufren una intensa explotación de los recursos mineros, con la consiguiente problemática ambiental derivada, se incluye además lo que se ha denominado un *Plan Director Minero-Ambiental*. Los objetivos de dicho 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 aplican los criterios y modelos de explotación y restauración desarrollados en el estudio sobre las zonas

óptimas para la implantación de la actividad extractiva, según el Mapa de Ordenación Minero-Ambiental (Martínez-Plédel *et al.*, 2002; Martínez-Plédel *et al.*, 2006). Los Planes Directores Minero-Ambientales son abordados con mayor detalle en un epígrafe posterior.

El ámbito de aplicación de los estudios de ordenación minero-ambiental es variable, pudiendo abarcar desde el nivel regional (escalas 1:200.000 a 1:50.000), comarcal o supramunicipal (1:50.000 a 1:10.000) hasta el nivel local (1:10.000 o superiores) (otros términos válidos serían: departamental, provincial, distrital, , etc.)



Figura 1. Localización de los estudios de ordenación minero-ambiental del IGME, sobre un mapa esquemático de la Península Ibérica e Islas Baleares.

En la figura 1 y en la tabla 1 se muestran la localización y los resultados alcanzados en los estudios de ordenación minero–ambiental realizados por el IGME, todos ellos en España.

Tabla 1. Alcance de los estudios de Ordenación Minero-Ambiental realizados por el IGME.

Estudio	Recurso	Resultados
La Cabrera (León) 1993-1995	Pizarra para techar	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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)
Región de Murcia 2002-2005	Mármol comercial	<ul style="list-style-type: none"> • Mapas de Ordenación Minero-Ambiental (199.600 ha; escala 1:50.000) • Modelos de Explotación • Modelos de Restauración

Metodología para la elaboración

5. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE UN MAPA DE ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL

El *Mapa de Ordenación Minero-Ambiental* se concibe como la herramienta cartográfica fundamental para la integración de los recursos minerales y la actividad minera en la planificación territorial. Este mapa representa una zonificación del territorio soporte de los recursos mineros, en función de la viabilidad de la explotación y de acuerdo con criterios mineros y ambientales.

Mapa de Ordenación Minero-Ambiental

La metodología desarrollada para la realización del *Mapa de Ordenación Minero-Ambiental*, soportada en Sistemas de Información Geográfica (SIG), se basa, en esencia, en el análisis de la capacidad de acogida del territorio ante la actividad extractiva, o lo que es lo mismo, en el balance entre potencialidad o aptitud del territorio desde el punto de vista minero, y su fragilidad o vulnerabilidad ambiental ante la explotación minera (Barettino, 1994; Martínez-Plédel *et al.*, 2006).

El esquema metodológico básico desarrollado para la realización del *Mapa de Ordenación Minero-Ambiental* se estructura en dos fases fundamentales,

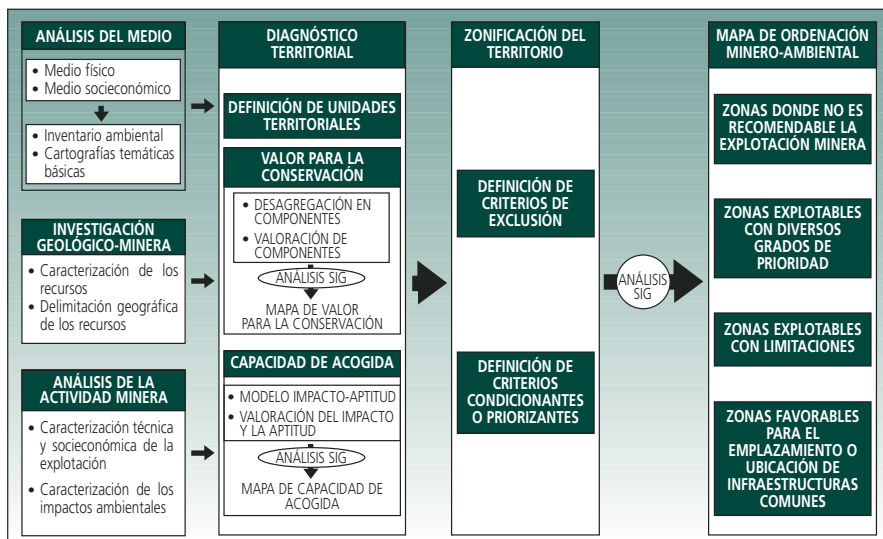


Figura 2. Esquema metodológico para la realización de mapas de Ordenación Minero-Ambiental. (IGME, 1995)

denominadas Diagnóstico Territorial y Zonificación del Territorio (figura 2). Para poder realizar ambos procesos es indispensable un conocimiento previo de las características del medio y de sus recursos minerales, así como de un análisis de la actividad minera.

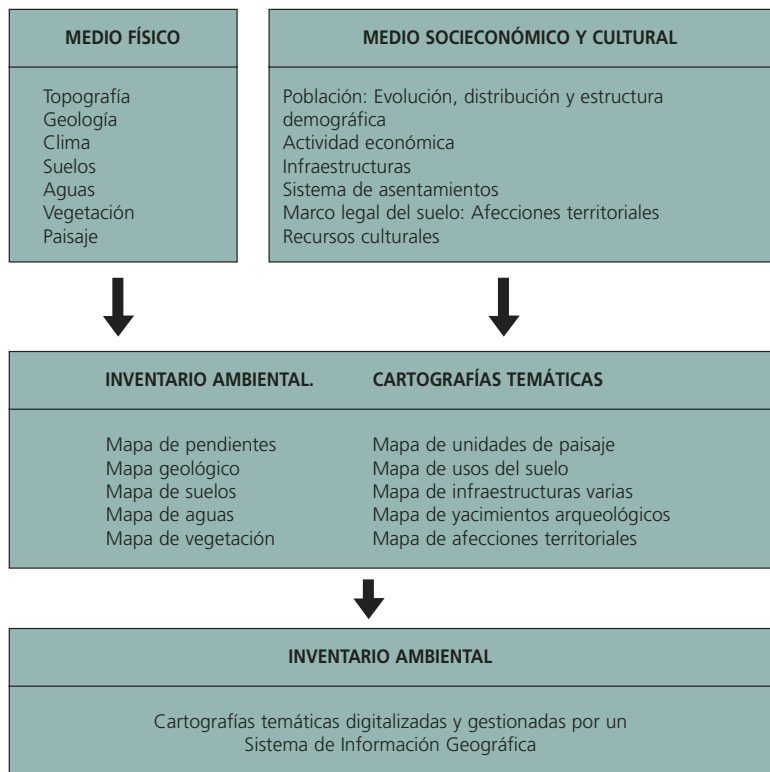
Análisis del Medio

5.1. Análisis del medio

El objetivo del análisis del medio es la descripción de las principales características del territorio o modelo territorial sobre el que se va a desarrollar la actividad extractiva, a través de la elaboración de un *Inventario Ambiental*. Este inventario está constituido por un compendio de conocimiento e información de carácter científico-técnico obtenido a partir de diversas fuentes, o generado por el propio estudio como resultado de trabajos de investigación documental, prospección y cartografía temática. El inventario intenta recoger toda la información de los distintos elementos del medio físico y socioeconómico que pueda ser relevante para la interpretación y comprensión del sistema territorial, en especial, aquella que sea susceptible de representación cartográfica (vease esquema de la figura 3).

ANÁLISIS DEL MEDIO

Figura 3. Contenido del inventario ambiental del estudio de Ordenación Minero-Ambiental del yacimiento de pizarras ornamentales de La Cabrera (León) (IGME, 1995).



La información básica sobre los diferentes elementos o factores del medio debe ser lo más exacta, actualizada y representativa de la realidad que sea posible, pero asumiendo que los presupuestos económicos, de tiempo y de esfuerzo no van a permitir normalmente una eternización de los trabajos de inventario.

Conviene que el conjunto de cartografías temáticas en las que se plasman todos los elementos del inventario susceptibles de ser cartografiados sea gestionado por un SIG, lo que facilita su consulta y actualización, así como el análisis de múltiples capas de información y la generación de cartografías derivadas.

5.2. Investigación Geológico-Minera

La investigación geológico-minera tiene como principal objetivo la caracterización geológica y tecnológica de los recursos, definiendo los diferentes tipos o variedades de recursos potencialmente explotables, así como su delimitación geográfica. La expresión cartográfica de esta investigación es un *Mapa de Recursos Potencialmente Explotables* (como el de la figura 4).

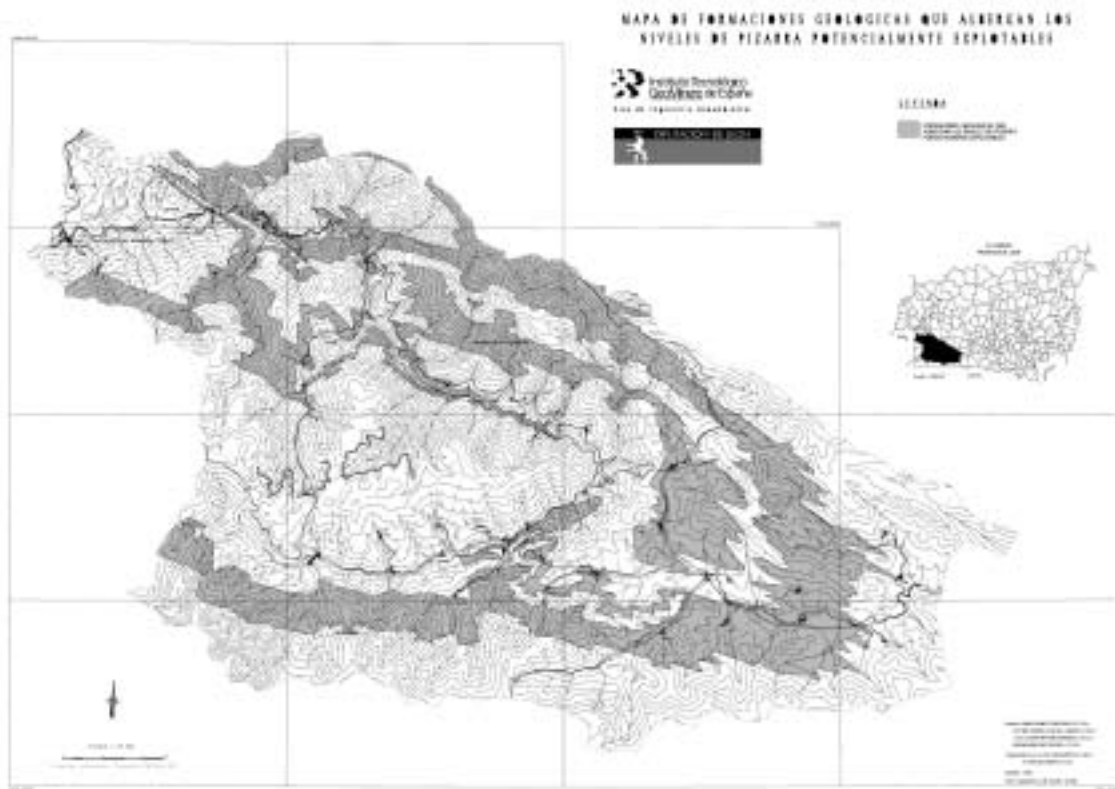


Figura 4. Mapa de formaciones geológicas que albergan los niveles de pizarras potencialmente explotables. Tomado del estudio de Ordenación Minero-Ambiental del yacimiento de pizarras ornamentales de La Cabrera (León) (IGME, 1995)

Conviene remarcar que la investigación geológico-minera constituye uno de los pilares básicos sobre los que se sustenta la ordenación minero-ambiental o cualquier esfuerzo de planificación territorial centrado en la minería. La cartografía derivada de dicha prospección es en sí misma un instrumento de integración del recurso minero en el proceso de planificación territorial, en tanto que permite localizar un recurso natural no renovable de gran valor que debe ser considerado a la hora de asignar los diferentes usos del territorio.

5.3. Análisis de la Actividad Minera

El análisis de la actividad minera tiene como finalidad la caracterización técnica, económica y ambiental de la explotación del recurso a ordenar, así como el diagnóstico de la problemática que presenta dicha actividad desde esos puntos de vista, con el fin de proponer las actuaciones más adecuadas para solventar los problemas identificados. La determinación de las exigencias de localización de la actividad y las limitaciones y problemas técnicos existentes, así como la identificación y valoración de las alteraciones o impactos que genera la actividad extractiva en el entorno es otro paso fundamental, junto con el análisis del medio y la caracterización del recurso. Permite la definición del modelo impacto/aptitud y de la capacidad de acogida del territorio ante la explotación minera, asiste a las propuestas de zonificación, y es la base de la definición de criterios y modelos de explotación y restauración.

La caracterización técnica y ambiental de la actividad minera se realiza a partir de la elaboración de un *Inventario de Explotaciones* existentes en el área de estudio, o en áreas cercanas con similar potencial minero, en el que se recoge información relevante procedente de diversas fuentes: archivos y fondos documentales –como los del propio IGME–, Servicios Territoriales de Minas, asociaciones empresariales, cámaras de comercio e industria, etc. Esta información es revisada y completada mediante trabajo de campo, visitando a ser posible todas y cada una de las explotaciones inventariadas en el territorio en estudio, tanto activas como abandonadas, y recogiendo los aspectos técnicos y ambientales más destacados.

Para la realización del *Inventario de Explotaciones* se diseña una batería de fichas de campo adaptadas a las características específicas de la explotación de cada tipo de recurso, en donde se contemplan: aspectos generales y administrativos; datos técnico-económicos relativos a las estructuras mineras existentes (geometría del hueco de explotación y escombreras, superficie ocupada, infraestructuras hidráulicas, problemas de estabilidad observados, etc.); aprovechamiento minero (método de explotación, tecnologías de arranque, carga y transporte, instalaciones y servicios, etc.); datos de producción, comercialización y empleo, e información de carácter ambiental (identificación y valoración de impactos, medidas preventivas y correctoras, prácticas de restauración, etc.). Además de los datos enumerados se suele incluir información gráfica para ilustrar y dar fé de algunos de los aspectos recogidos y considerados significativos.

5.4. Diagnóstico territorial

La Fase de Diagnóstico Territorial tiene como objetivo último la determinación de la capacidad de acogida del territorio ante el uso minero mediante la aplicación de un modelo de impacto/aptitud, o balance entre la vulnerabilidad o fragilidad del medio ante la actividad extractiva y la potencialidad del territorio para dicha actividad (Gómez Orea, 1994). Como ejemplo que ilustra el máximo desarrollo metodológico que ha alcanzado esta fase en los estudios del IGME se va a describir el procedimiento seguido en el estudio de *"Ordenación Minero Ambiental del yacimiento de pizarras ornamentales de La Cabrera (León)"* (IGME, 1995).

En dicho estudio se establecieron las siguientes etapas:

- Valoración del Territorio en términos de méritos de conservación.
- Estimación de la Fragilidad o Vulnerabilidad del Territorio ante la actividad extractiva basándose en el valor natural o valor de conservación del mismo.
- Estimación de la Potencialidad o Aptitud del Territorio respecto a la explotación minera.
- Determinación de la Capacidad de Acogida del Territorio respecto al uso minero.

La metodología propuesta para evaluar impacto y aptitud se basa en un *método de desagregación en componentes* (Gómez Orea, 1994), que consiste en subdividir, cuantas veces sea conveniente, el valor de cada posible elemento susceptible de valoración en varios componentes, cuya evaluación individualizada dará, por agregación, el valor total. El esquema seguido consta de las siguientes fases (figura 5):

- a) Definición de Unidades Territoriales, o divisiones del territorio sobre las que se efectúan las valoraciones.
- b) Identificación de los componentes o dimensiones del valor natural, impacto o aptitud en tantos niveles de desagregación como sean necesarios.
- c) Evaluación individualizada de cada uno de los componentes por criterio experto, utilizándose una escala homogénea de valoración en todos ellos. Lo deseable es que los expertos o equipos autores del inventario aporten una valoración de los diferentes componentes de cada elemento del medio. En este punto es posible recurrir al método *Delphi* de consulta a paneles de expertos, a fin de reducir al máximo la carga subjetiva inherente a dicho proceso. El proceso de evaluación se inicia en el nivel más bajo de desagregación a partir de: la información y cartografía temática del inventario ambiental en el caso de la obtención del valor natural o valor de conservación del territorio; el mapa de valor natural y de la información aportada por el análisis de la actividad extractiva para evaluar el impacto global sobre cada una de las unidades territoriales; y la información y cartografía derivada

de la investigación geológico-minera y de la caracterización técnica y ambiental de la explotación del recurso para determinar la aptitud del territorio con respecto al uso extractivo.

- d) Determinación del peso o importancia relativa con que cada componente del valor natural, impacto o aptitud contribuye al valor de un componente de nivel superior o al valor total agregado, mediante la asignación de coeficientes de ponderación. Para ello, como suele ser habitual en trabajos de ordenación, se recurrió a la opinión de los diferentes miembros del equipo de trabajo (también es razonable recavar nuevamente la opinión de los autores del inventario).

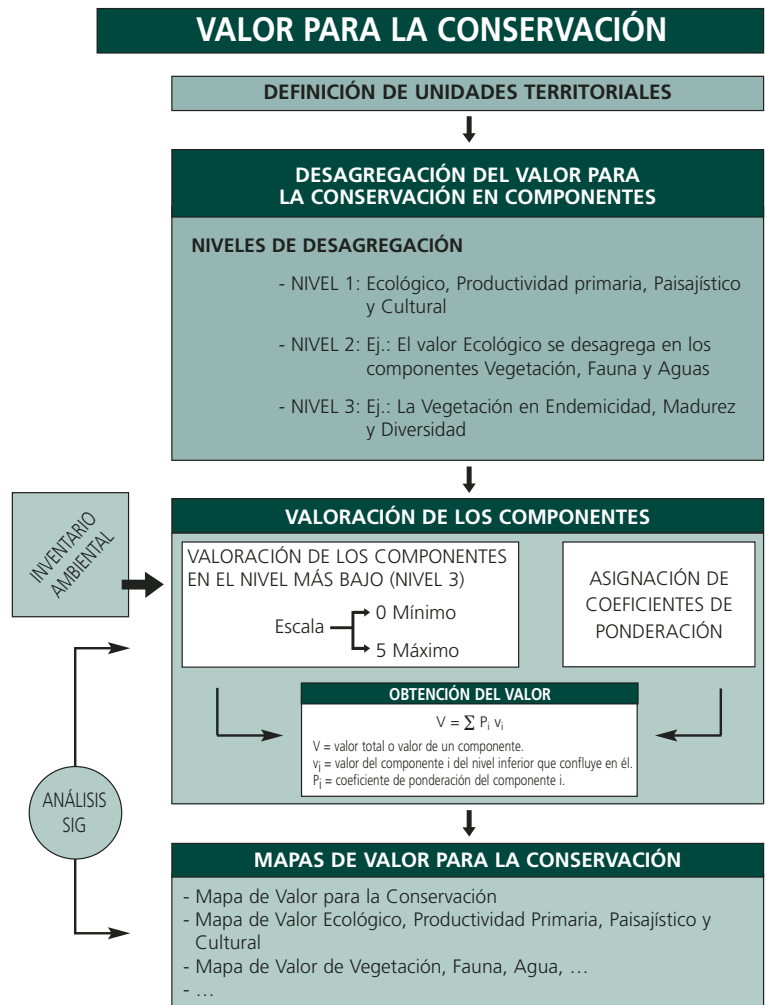


Figura 5. Esquema del método de desagregación en componentes para la valoración del territorio en términos de méritos de conservación que fue utilizado en el estudio de Ordenación Minero-Ambiental del yacimiento de pizarras de La Cabrera (León) (IGME, 1995)

e) Obtención del valor agregado del valor de conservación, impacto, o aptitud en cada unidad territorial mediante suma ponderada de los valores de los componentes que integran o definen dichos factores de diagnóstico. Así, el valor total, o el valor de cualquier componente de cualquier nivel, a excepción del nivel más bajo de desagregación, se obtiene según:

$$V = \sum P_i v_i$$

siendo:

V = valor total o valor de un componente.

v_i = valor del componente i del nivel inferior que confluye en él.

P_i = coeficiente de ponderación del componente i .

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.

f) Representación cartográfica final de los resultados de dichas evaluaciones, es decir, elaboración de mapas de valor natural, de impacto y de aptitud.

Esta metodología de desagregación en componentes es soportada y gestionada en un Sistema de Información Geográfica, lo que permite el tratamiento de las distintas capas de información y la aplicación de los correspondientes algoritmos de valoración de forma automática, así como la generación de cartografía derivada de dicho proceso de evaluación en formato digital.

5.5. Definición de las Unidades Territoriales

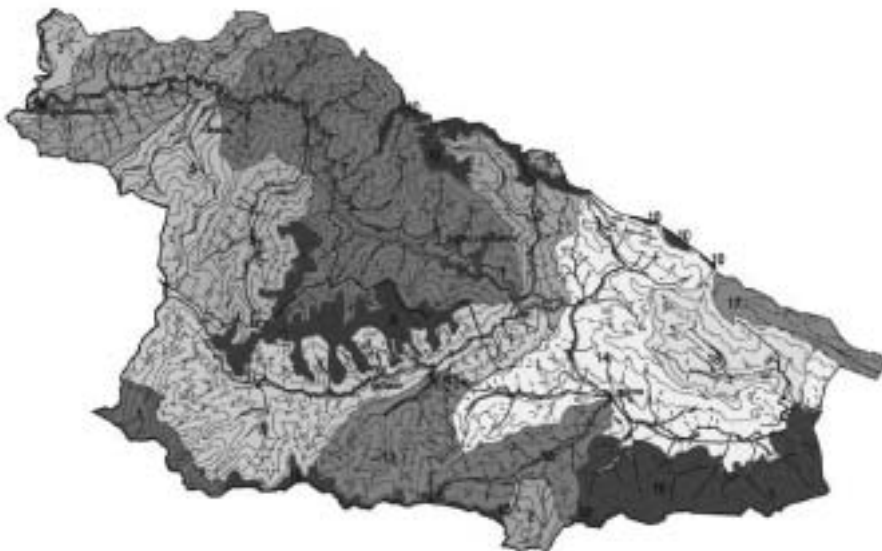
De acuerdo con la metodología descrita, el diagnóstico territorial se realiza sobre unidades territoriales previamente definidas. Su definición tiene como finalidad facilitar la comprensión de la estructura del territorio y, desde un punto de vista operativo, favorecer la integración de la información y las cartografías temáticas generadas en el *Inventario Ambiental*, caracterización geológica y tecnológica de los recursos mineros, y análisis de la actividad extractiva. Los tipos de unidades territoriales que pueden definirse pueden ser regulares (cuadrícula), homogéneas y de síntesis o estratégicas (Gómez Orea, 1994).

La unidad territorial regular más sencilla es la cuadrícula, y su definición se realiza mediante la superposición de una retícula georreferenciada superpuesta al territorio. Es un tipo de unidad fácilmente definible pero presenta una alta heterogeneidad espacial como consecuencia del carácter regular y predefinido de sus límites, si bien ésta puede reducirse sensiblemente si disminuimos el tamaño del pixel, o lo que es lo mismo, aumentando la resolución, hecho que es posible con los Sistemas de Información Geográfica actuales.

La unidad territorial homogénea o unidad ambiental se puede definir mediante divisiones del territorio atendiendo a diferentes criterios en cada subdivisión,

o superposición de los factores del medio inventariados. En la práctica, en la mayoría de los casos se suelen obtener a partir de la superposición de la vegetación, geomorfología y usos del suelo.

La unidad de síntesis se determina a partir de algún o algunos elementos o factores del medio que actúan como definitorios. La definición de este tipo de unidades implica una mayor carga interpretativa, y exige un conocimiento profundo de la estructura y funcionamiento del sistema territorial. Esta opción no es otra cosa que un intento de simplificar la posterior zonificación mediante el descarte de grandes áreas, y su eficacia depende mucho de las características generales del medio de estudio y de sus rasgos paisajísticos más definitorios, así como del mayor o menor conocimiento adquirido sobre él por el equipo de trabajo. Siguiendo con el ejemplo, en el proyecto de "Ordenación Minero-Ambiental del Yacimiento de Pizarras Ornamentales de La Cabrera (León)" (IGME, 1995) se aplicó este tipo de unidad territorial, distinguiéndose hasta un total de 19 unidades sobre las que se realizó el posterior diagnóstico territorial (véase figura 6).



LEYENDA

- 1.- LADO DE LA BARRA Y CONJUNTO DE CIRCOSS BLANCOS EN LA ZONA OCCIDENTAL DE LA SIERRA DE LA CABRERA
- 2.- LADO DE TRUCHILLAS
- 3.- RIBERA DEL SE
- 4.- CURSO BAJO DEL RIO CABRERA
- 5.- CURVA DEL RIO BERUGA
- 6.- VALLE DEL RIO SILVA
- 7.- LA RIBERA
- 8.- DIVISORA VALLE LOSAGA-RIBERA
- 9.- VALLE DE LOSAGA
- 10.- CUMBRES Y CRESTA DE LA SIERRA DEL TELLO-MONTES AGUILAROS
- 11.- CADIZERA DEL RIO CASRITO
- 12.- VALLE DEL RIO CARO
- 13.- VALLE DEL RIO SANTRILLALAN
- 14.- VALLE DEL RIO ERMA
- 15.- VALLE DEL RIO TRUCHILLAS
- 16.- CUMBRES DE LA SIERRA DE LA CABRERA
- 17.- CADIZERAS DE LOS RIOS LLAMAS Y EDORES
- 18.- VALLE DEL RIO PESUEGO
- 19.- HORIZONTE SEPTENTRIONAL DEL SECTOR ORIENTAL DE LA SIERRA DE LA CABRERA

Figura 6. Ejemplo de Mapa de Unidades Territoriales. Tomado del estudio de Ordenación Minero-Ambiental del yacimiento de pizarras ornamentales de La Cabrera (León) (IGME, 1995)

Independientemente de cómo de hagan las subdivisiones del territorio estudiado, convendrá dejar bien claro cuáles son los criterios empleados en su definición, una descripción de las principales características de cada una de las unidades territoriales definidas, y por último, su delimitación geográfica.

5.6. Valoración del Territorio en términos de méritos de conservación

La valoración del territorio en términos de méritos de conservación se basa en la estimación de la calidad, grado de excelencia, significado y función de los diferentes elementos que constituyen el medio. Se entiende por "valor" el conjunto de méritos que tiene un punto genérico del territorio o una unidad territorial para no ser alterada en su situación actual (Gómez Orea, 1994).

La expresión cartográfica final del proceso de valoración es el *Mapa de Valor de Conservación o Valor Natural*, resultado de la aplicación de algoritmos de valoración mediante análisis SIG, que describen el territorio en clases cualitativas de *valor natural o valor de conservación*, o conjunto de méritos de una unidad territorial para ser conservada, o lo que es lo mismo, para no ser alterada. Estos mapas son una expresión del patrimonio natural de que dispone el territorio, y muestran las zonas donde se localizan aquellos elementos naturales vulnerables, o que por su rareza, fragilidad, importancia o singularidad merecen una valoración especial, y por lo tanto, donde deberán extremarse las precauciones para la implantación de la actividad extractiva.

La determinación de los componentes del valor natural va a depender de la calidad y nivel de detalle alcanzado en el Inventario Ambiental. Los coeficientes de ponderación que se asignan a cada uno de ellos estarán en función de la mayor o menor carga explicativa de éstos para la comprensión del territorio. En el estudio realizado en La Cabrera (León), el Valor Natural o Valor Agregado (VAGRE), se obtuvo por suma ponderada de los siguientes componentes previamente evaluados: Valor Ecológico (VECO) o méritos de conservación de los ecosistemas presentes; Valor de Productividad Primaria o agraria en sentido amplio (VPRO); Valor Paisajístico (VPAI), y Valor Cultural (VCUL), de acuerdo con la siguiente expresión:

$$VAGRE = 0,4 VECO + 0,1 VPRO + 0,4 VPAI + 0,1 VCUL$$

Respecto al peso o importancia relativa de cada uno de los factores que integran el valor total o agregado, se consideró que eran el Valor Ecológico (VECO) y el Valor Paisajístico (VPAI) los que proporcionaban los principales méritos para la conservación. En la figura 7 se muestran los niveles de desagregación del Valor Natural, y los coeficientes de ponderación aplicados en dicho estudio.

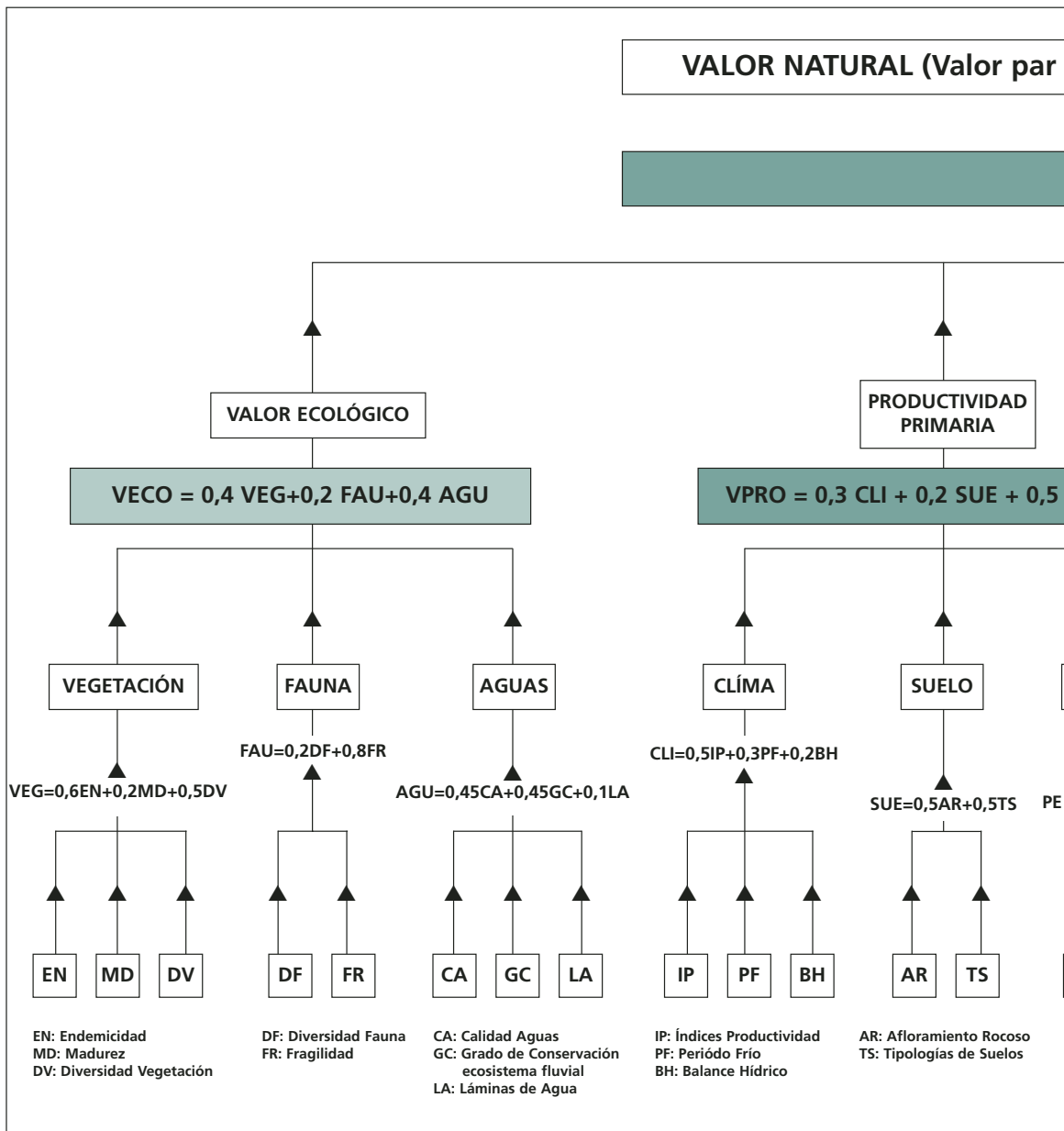
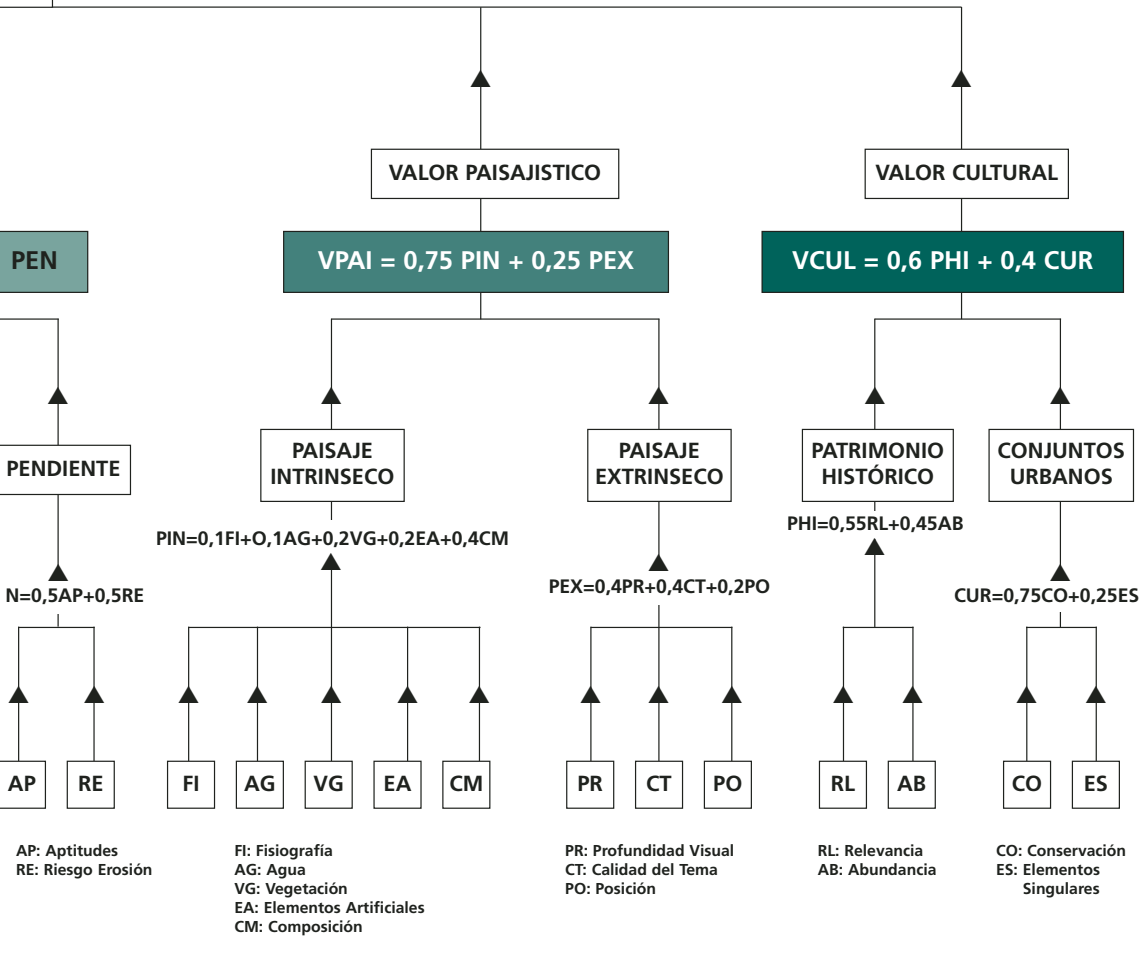


Figura 7. Componentes y coeficientes de ponderación del denominado Valor Natural en el estudio de ordenación del yacimiento de pizarras ornamentales de La Cabrera (León) (IGME, 1995)

a la conservación en el estado actual)



Valor de Conservación

5.7. Estimación de la fragilidad o vulnerabilidad del territorio ante la actividad extractiva

La estimación de la fragilidad o vulnerabilidad de cada unidad territorial ante la explotación del recurso minero, se realiza a partir de la determinación del valor de conservación del territorio. En función de éste último, se lleva a cabo una predicción de las alteraciones o impactos que puede experimentar el medio ante la explotación del recurso minero.

El impacto generado por la actividad extractiva puede expresarse como un “cambio de valor” del territorio ocasionado por las explotaciones mineras ubicadas sobre el mismo. Representa la pérdida o ganancia de valor o mérito de conservación de alguno de los elementos que constituyen el medio y, por lo tanto, del conjunto de la unidad territorial sobre la que se efectúa la determinación del impacto global.

Para la definición de los componentes que integran el valor de impacto se parte de la premisa de que el impacto sobre una determinada unidad territorial es directamente proporcional al valor de conservación de ésta, o lo que es lo mismo, a mayor valor natural, mayor será el impacto potencial. Por lo tanto, sus componentes pueden ser los mismos que los definidos para el valor natural, asignándoles inclusive los mismos valores. Además de estos componentes se pueden considerar otros adicionales como es el caso del impacto paisajístico, el cual es definido no sólo por el valor de la calidad visual del paisaje, sino también por su fragilidad visual intrínseca y la incidencia visual. En el estudio de ordenación del yacimiento de pizarras de La Cabrera se consideró además un componente que evaluaba las degradaciones preexistentes en cada una de las unidades territoriales (tabla 2).

Tabla 2. Componentes del Impacto Global en el estudio de Ordenación Minero-Ambiental del yacimiento de pizarras de La Cabrera (León) (IGME, 1995). La caracterización ambiental de la explotación de pizarra en La Cabrera (León) puso de manifiesto que los impactos más importantes de dicha actividad se producían sobre las aguas superficiales, la vegetación y el paisaje. Por ello, se asignaron pesos mayores a los llamados Impacto Ecológico y Paisajístico que a los demás componentes

IMPACTO GLOBAL (IGLOB)	
$IGLOB = 0,35 IECO + 0,05 IPRO + 0,35 IPAI + 0,10 ICUL + 0,15 DEGR$	
IMPACTO ECOLÓGICO (IECO) = Valor Ecológico (VECO)	
IMPACTO PRODUCTIVIDAD PRIMARIA (IPRO) = Valor de Productividad Primaria (VPRO)	
IMPACTO PAISAJÍSTICO (IPAI) = $0,7 IPA + 0,3 INV$	
IPA = Impacto Paisajístico. Su valor es igual al Valor Paisajístico (VPAI)	
INV = Incidencia Visual	
IMPACTO CULTURAL (ICUL) = Valor Cultural (VCUL)	
DEGRADACIÓN (DEGR)	

La asignación de los coeficientes de ponderación a cada uno de los componentes del impacto se realiza, como es lógico, teniendo en cuenta la información obtenida en la caracterización técnica y ambiental de la actividad minera, dando mayores pesos a aquellos impactos asociados al tipo de explotación que se consideren más relevantes.

5.8. Estimación de la aptitud del territorio para la explotación minera

La aptitud representa la medida en que el territorio cubre los requisitos que exige la localización y el desarrollo de la actividad extractiva. Este concepto expresa la potencialidad de cada unidad territorial desde el punto de vista de la explotación de los recursos mineros.

La determinación de los componentes que definen la aptitud de una unidad territorial para la actividad extractiva, se realiza a partir de la información geológico-minera y características de la explotación del recurso. Deben ser indicadores sencillos y fácilmente calculables que reflejen la cantidad y calidad de los diferentes tipos de recursos potencialmente explotables, incorporando en lo posible aquellos factores que condicionan o limitan la explotabilidad de los mismos (situación estructural del macizo rocoso, distancia a los núcleos de consumo, espesor del recubrimiento, etc.).

En el estudio de ordenación del yacimiento de pizarras de La Cabrera (León), la Aptitud (APTIT) del territorio se definió a partir de los siguientes componentes: Recursos Explotables (RECU), que pretendía valorar de forma cualitativa la cantidad y calidad de los recursos de pizarra existentes, tomando como referencia el Mapa de Recursos Potencialmente Explotables; Explotabilidad (EXPL) o valoración de las características del macizo rocoso y su estado de fracturación con vistas a la explotación de pizarra, a partir de la información y cartografía geológico-minera; y Altitud (ALTI) y Pendiente (PEND), por ser factores condicionantes respecto a la optimización de los rendimientos y del beneficio minero, y la ubicación de escombros, asignándoles el valor a partir del Mapa Hipsométrico y el Mapa de Pendientes respectivamente. El valor total de la Aptitud se obtuvo según la siguiente expresión:

$$\text{APTIT} = 0,3 \text{ RECU} + 0,5 \text{ EXPL} + 0,1 \text{ ALTI} + 0,1 \text{ PEND}$$

5.9. Determinación de la capacidad de acogida del territorio ante la explotación minera

Por último, la determinación de la capacidad de acogida del territorio ante la explotación minera constituye el objetivo fundamental de la fase de Diagnóstico Territorial. Por capacidad de acogida del territorio ante la actividad extractiva se entiende el "grado de idoneidad" de éste con respecto a la misma, teniendo en cuenta, a la vez, la medida en que el territorio cubre los requerimientos locacionales de dicha actividad, así como los efectos de ésta sobre el medio (Gómez Orea, 1994). Este concepto expresa la relación actividad-territorio, y muestra el mejor uso que puede hacerse de este último teniendo en cuenta el punto de vista de ambos,

Capacidad de Acogida

es decir, representa la forma en que cada punto del territorio puede utilizarse por la actividad extractiva sin que sufra alteraciones inaceptables en sus características y valores.

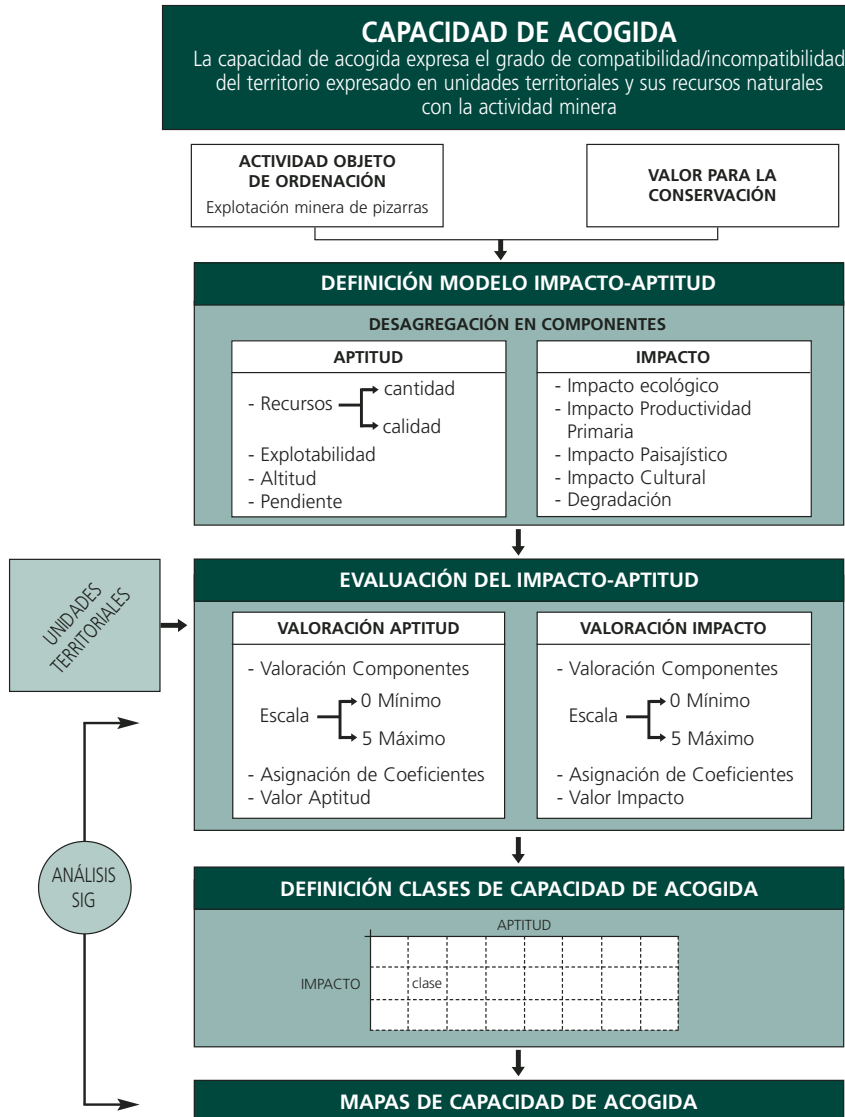


Figura 8. Modelo Impacto/Aptitud utilizado para la determinación de la capacidad de acogida del territorio en el estudio de Ordenación Minero-Ambiental del yacimiento de pizarras ornamentales de La Cabrera (León) (IGME, 1995)

La metodología propuesta para la determinación de la capacidad de acogida del territorio (figura 8), o de forma operativa de la unidad territorial, se basa en la aplicación de un modelo de Impacto-Aptitud de carácter sistemático (Gómez Orea, 1994). Este modelo opera sobre dos conceptos básicos: Impacto o vulnerabilidad del territorio ante la extracción minera, y Aptitud o potencialidad del mismo para el uso extractivo, y se fundamenta en la evidencia, de acuerdo con las definiciones dadas, de que la mayor capacidad de acogida para una actividad extractiva la proporcionan aquellas unidades territoriales donde coincide la máxima aptitud y el mínimo impacto negativo o, en su caso, el máximo positivo.

El modelo impacto/aptitud se expresa a través de una matriz de capacidad de acogida de doble entrada: los rangos definidos para el impacto por un lado, y los definidos para la aptitud por el otro (figura 9). A partir de esta matriz se definen las distintas clases de capacidad de acogida que van a expresar el uso vocacional, compatible, compatible con limitaciones e incompatible, o excluido de cada unidad territorial respecto a la explotación minera.

CLASES DE CAPACIDAD DE ACOGIDA

		APTITUD				
		MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
IMPACTO	MUY BAJO	VI	III	II	I	I
	BAJO	VI	III	II	I	I
	MEDIO	VI	V	II	II	II
	ALTO	VI	VI	V	IV	IV
	MUY ALTO	VI	VI	VI	VI	VI







	Clase I: CAPACIDAD DE ACOGIDA MUY ALTA. LOCALIZACIÓN IDONEA. USO VOCACIONAL.
	Clase II: CAPACIDAD DE ACOGIDA ALTA. LOCALIZACIÓN ACEPTABLE. USO COMPATIBLE.
	Clase III: CAPACIDAD DE ACOGIDA MEDIA. LOCALIZACIÓN ACEPTABLE CON BAJA APTITUD. USO COMPATIBLE.
	Clase IV: CAPACIDAD DE ACOGIDA MEDIA. LOCALIZACIÓN ACEPTABLE CON ALTO IMPACTO. USO COMPATIBLE CON LIMITACIONES.
	Clase V: CAPACIDAD DE ACOGIDA BAJA. LOCALIZACIÓN NO ADMISIBLE. USO INCOMPATIBLE.
	Clase VI: CAPACIDAD DE ACOGIDA EXCLUYENTE. LOCALIZACIÓN INACEPTABLE. USO EXCLUIDO.

Figura 9. Matriz de capacidad de acogida empleada en el estudio de Ordenación Minero-Ambiental del yacimiento de pizarras ornamentales de La Cabrera (León) (IGME, 1995)

La definición de las clases de capacidad de acogida no es única ni universal. Es fácil definir las clases de capacidad de acogida extremas, es decir, de máxima y mínima capacidad, sin embargo, entre ambas cabe la posibilidad de diversas alternativas de capacidad de acogida en función de que prime el punto de vista que defiende el desarrollo de la actividad extractiva o el conservacionista del medio. También aquí la opinión de los diferentes miembros del equipo de trabajo puede servir para establecer los criterios de definición.

El modelo de capacidad de acogida que se adopte ha de asegurar que no se sobrepasen unos umbrales máximos de impacto negativo, y que se alcancen o superen unos niveles mínimos de aptitud, que salvaguarden, de un lado, la conservación de los elementos y ecosistemas más valiosos del territorio y, de otro, el aprovechamiento de las mejores oportunidades que brinda el medio para la explotación de sus recursos mineros.

La expresión cartográfica del modelo impacto/aptitud es el *Mapa de Capacidad de Acogida* que representa una gradación del territorio según rangos de mayor o menor conveniencia o idoneidad para la localización de las explotaciones mineras. Este mapa constituye un instrumento esencial para el diseño de la propuesta de ordenación, pues permite orientar las actividades hacia los puntos o unidades territoriales que le son vocacionales, y si esto no fuera posible, hacia aquellas otras en las que no se sobrepase un umbral de capacidad de acogida que se considere inaceptable.

Zonificación

5.10. Zonificación del territorio

El principal objetivo de la Fase de Zonificación del Territorio es proponer un modelo territorial que represente una distribución ordenada de la actividad minera en el espacio de acuerdo con su capacidad de acogida.

El modelo de ordenación del territorio se expresa a través de lo que se ha denominado "*Categorías de ordenación*", esto es, zonas o ámbitos espaciales identificados con criterios diversos, cada uno de los cuales se adopta como base para definir los distintos niveles de uso del territorio por parte de la actividad minera.

Los criterios utilizados para definir las distintas "categorías de ordenación" van a estar relacionados con aspectos recogidos en el concepto de capacidad de acogida, o derivan de otras consideraciones tales como el estado legal del suelo, las legislaciones sectoriales de aplicación, la protección de la población y elementos ambientales y culturales singulares y valiosos, las posibilidades de recuperación de las degradaciones previsibles o los factores limitantes para la actividad extractiva, entre otros. Estos criterios se van a agrupar en:

- Criterios de exclusión de la actividad extractiva.
- Criterios condicionantes para el desarrollo de la explotación minera.

La aplicación de estos criterios de zonificación sobre las zonas con recursos potencialmente explotables, permite distinguir las siguientes categorías de ordenación que van a constituir la propuesta de uso del territorio:

- *Zonas de Protección Ambiental*, definidas por criterios de exclusión, que representan aquellas zonas en las que no es recomendable la explotación minera por: incompatibilidad con otros usos prioritarios de los recursos naturales, suponer una grave afección a alguno de los elementos del medio, o estar incluidas en algún perímetro de protección referido a espacios naturales protegidos, núcleos urbanos, yacimientos arqueológicos, etc.
- *Zonas Explotables con distintos grados de prioridad* en función de factores condicionantes para la explotación o integración paisajística y ambiental de la actividad. Cada categoría de prioridad debería implicar unas determinadas condiciones de explotación y exigir la aplicación de medidas protectoras, correctoras y de restauración específicas.

El resultado final de todo el procedimiento descrito es el *Mapa de Ordenación Minero-Ambiental*, donde el territorio soporte de los recursos potencialmente explotables queda clasificado en *Zonas de Protección Ambiental* y *Zonas Explotables con distintos grados de prioridad*.

En el Mapa de Ordenación Minero-Ambiental del yacimiento de pizarras de La Cabrera (León) (figura 10), las *zonas de protección ambiental* se definieron a partir de los siguientes criterios: clases V y VI de capacidad de acogida (baja y excluyente, respectivamente); espacios naturales protegidos; existencia de formaciones vegetales de alto valor para su conservación; protección de vegas y ecosistemas fluviales; y perímetros de protección de núcleos urbanos, yacimientos arqueológicos y embalses proyectados.

En las zonas explotables se distinguieron dos categorías, en función de los siguientes criterios condicionantes: altitud e incidencia visual o accesibilidad visual desde las principales vías de comunicación y núcleos urbanos. Las *zonas explotables de prioridad 1* representaban aquellas zonas con recursos mineros potenciales y capacidad de acogida compatible con la explotación minera, situadas por debajo de los 1500 m de altitud y no visibles desde los lugares de mayor potencial de observación. Las *zonas explotables de prioridad 2* eran aquellas otras situadas por encima de dicha cota y/o visibles desde poblaciones y carreteras. En esta última categoría, en las zonas definidas por el condicionante de la incidencia visual, la apertura de nuevas explotaciones llevaba implícita la aplicación de medidas protectoras, correctoras y de restauración que garantizasen su integración paisajística

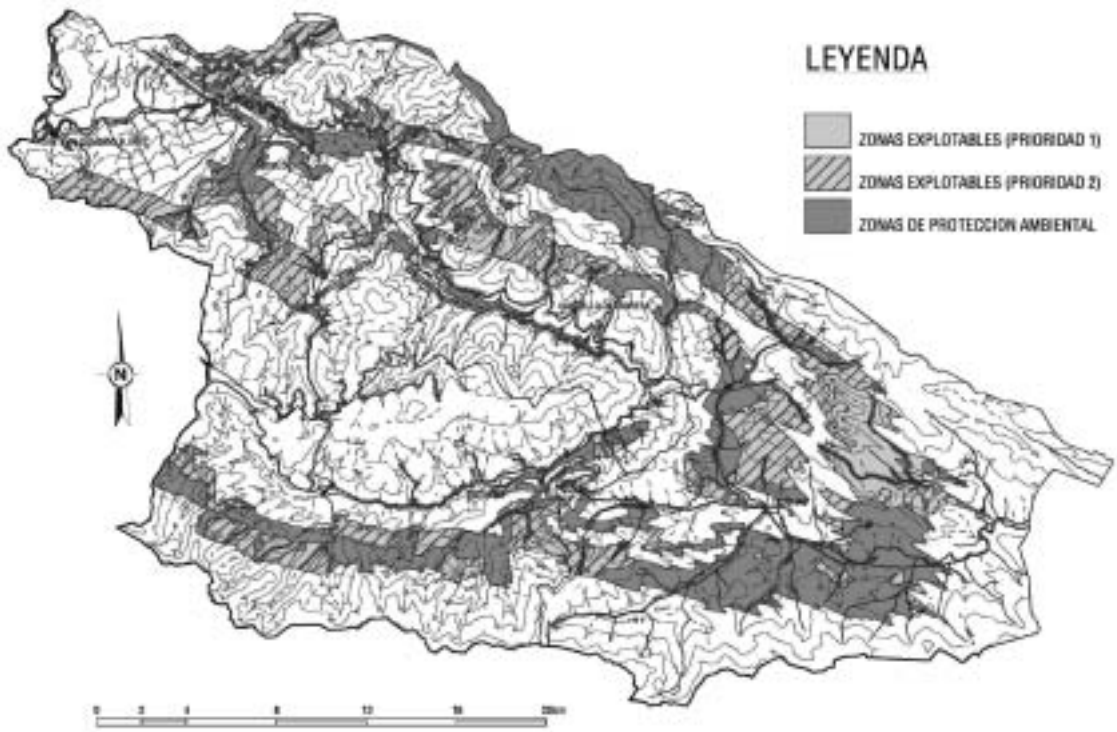


Figura 10. Mapa de Ordenación Minero-Ambiental del yacimiento de pizarras ornamentales de La Cabrera (León) (IGME, 1995)

La metodología mostrada para la elaboración de Mapas de Ordenación Minero-Ambiental se beneficia de que toda la información cartográfica sea soportada y gestionada en un SIG. Esto permite el manejo y tratamiento eficaz de un gran volumen de información cartográfica con un alto grado de automatización. Asimismo, presenta una gran transparencia y reproducibilidad en todo el proceso de evaluación de los aspectos tanto ambientales como mineros.

Alternativas metodológicas

6. ALTERNATIVAS METODOLÓGICAS PARA LA REALIZACIÓN DE MAPAS DE ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL

En el caso que ha servido de ejemplo a lo largo del desarrollo explicativo del punto anterior fue posible disponer de un prolongado espacio de tiempo y una elevada carga de dedicación por parte de numerosos profesionales, por lo que el esquema metodológico seguido fue factible, al margen de que, en buena medida, la misma metodología se fue conformando sobre la marcha. Como resultado de todo ello, es razonable pensar que la estructura metodológica descrita se acerca a lo que podría considerarse un modelo a seguir. Sin embargo, es necesario dejar claro que su aplicación en cualquier escenario requerirá adaptaciones y, aún así, no resultará fácil llevarlo a la práctica, al igual que ocurrirá con cualquier metodología más minuciosa y compleja. El rigor del trabajo, en último término, dependerá de la existencia de información detallada, homogénea y de calidad, así como de los necesarios medios materiales, medios humanos y tiempo.

Por un lado, no es necesario extenderse para dejar claro que la consideración de los elementos del medio que deben ser valorados puede variar (en la figura 11 se muestran diversas alternativas de selección de elementos del medio).

Condicionantes Medio ambientales B.R.G.M. en Bascones & Gallego (93)	
Ocupación de los Suelos	Formaciones Forestales Agricultura Conjuntos Urbanos
Interés Ecológico y Paisajístico	Riquezas Naturales Paisaje
Medio Humano	Recreación Turismo Ruido
Transportes y Servicios	Condiciones de Transporte Servicios Técnicos Aprovechamiento previsto

Valor para la Conservación ITGE (94)	"Potencial Natural Parcial" Letouzé-Zezula et al (96)
Valor Ecológico	Vegetación Fauna Aguas
Productividad Primaria	Clima Suelos Pendientes
Valor Paisajístico	Paisaje Intrínseco Paisaje Extrínseco
Valor Cultural	Patrimonio Histórico Conjuntos Urbanos

Figura 11. Síntesis de criterios de impacto propuestos por algunos autores para efectos de localizar y compatibilizar actividades extractivas mediante planificación u ordenamiento minero - ambiental. Tomado de Colegial Gutiérrez (2004)

Por otro lado, muchas veces ocurre que la información disponible relativa al medio geológico, y al medio en general, es escasa y de poco detalle, o irregular, es decir: se dispone de excelentes mapas de vegetación, pero no de suelos, o la escala de la información de usos del suelo es de mucho detalle, pero no se tiene ninguna otra información detallada. Piénsese, por ejemplo, que cuanto más bajo sea el nivel de información, más difícil será plantear un método de valoración por desagregación en componentes como el que se ha descrito, aunque lo ideal sería que fuera posible una desagregación incluso mayor, tanto en horizontal como en vertical. De hecho, es casi seguro que parte del presupuesto económico de un trabajo de ordenación tendrá que ser destinada a mejorar la información del inventario, a actualizarla o a homogeneizarla en cuanto al detalle cartográfico. Aún así existirá un límite de recursos y de tiempo y, en determinado momento, habrá que definir la fórmula metodológica a seguir para obtener un mapa final de Ordenación Minero-Ambiental o como se le quiera llamar. De este modo, surge la necesidad de adaptarse a la situación y es posible plantear alternativas desde el punto de vista metodológico, con la condición de plantearlas con el máximo rigor posible en términos realistas, y explicar pormenorizadamente los pasos seguidos y las valoraciones y calificaciones efectuadas.

Igualmente, el área de trabajo o estudio, el tamaño del yacimiento minero, la concentración de explotaciones mineras, las particularidades geográficas, y el mismo alcance que el organismo promotor y responsable del estudio quiera darle, entre otras posibles circunstancias, determinan que no siempre sea posible o sea conveniente seguir un esquema metodológico fijo.

Por ejemplo, en lo que se ha denominado fase de Diagnóstico Territorial es posible hacer uso de dos tipos diferentes de enfoques, que pueden ser igualmente válidos:

- División del territorio en estudio en unidades territoriales (regulares, homogéneas o de síntesis), sobre las que se realiza la valoración de los diferentes elementos del inventario: *enfoque sintético*.
- Valoración directa de los diferentes elementos del medio cartografiados sin pasar por una subdivisión del territorio en unidades: *enfoque analítico o paramétrico*.

La evaluación de tipo analítico o paramétrico puede definirse como la clasificación y subdivisión del territorio en base a la utilización de atributos seleccionados (Mitchell, 1973). Entre los inconvenientes de los procedimientos analíticos se ha citado que no plasman con tanta claridad la realidad global del territorio y las interacciones entre los distintos elementos. Además, en el caso de no existir información previa, la fase de inventario puede resultar muy larga y costosa (Díaz de Terán, 1988). Sin embargo, cuando se estudian territorios amplios y complejos, los procedimientos analíticos facilitan la realización de las cartografías temáticas con poca ambigüedad.

Enfoques para el Diagnóstico Territorial

El procedimiento analítico permite eliminar la carga de subjetividad que siempre conlleva la definición apriorística de unidades ambientales o territoriales, pero necesita nutrirse de mapas temáticos (para cada uno de los atributos seleccionados) de una calidad comparativamente mayor que la que se requiere con los métodos sintéticos. La idea es que la simple visualización de un conjunto de cartografías temáticas de calidad, puede permitir vislumbrar por donde van a ir los tiros en el proceso de ordenación.

Una representación esquemática de los dos tipos de enfoques, basada en los trabajos de Cendrero y Díaz de Terán (1987) y Díaz de Terán (1988), se muestra en la figura 12.

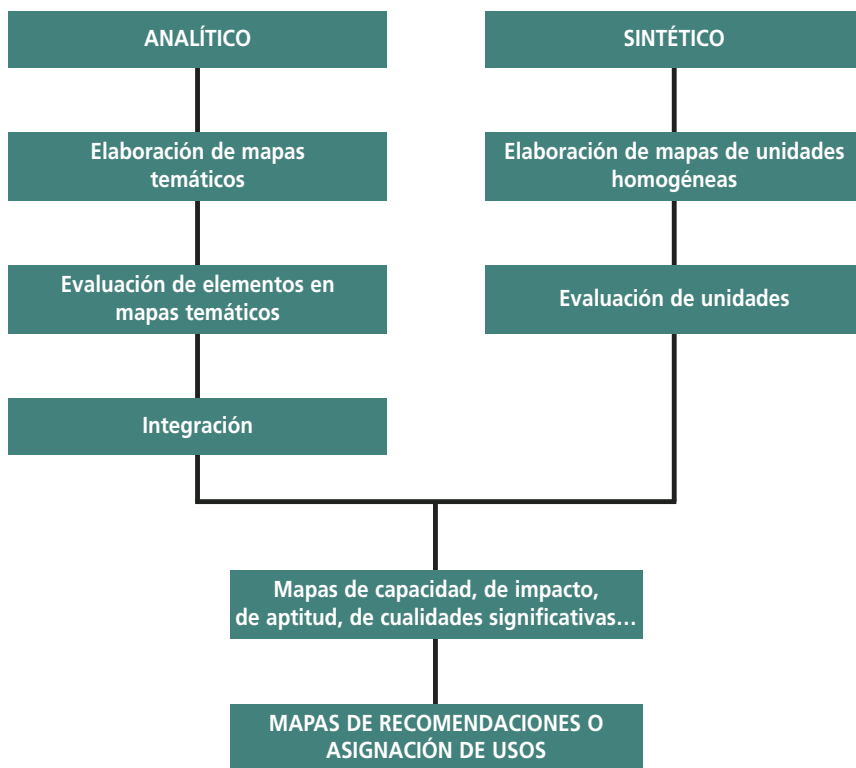


Figura 12. Esquema que muestra las diferencias entre los dos tipos fundamentales de enfoques metodológicos en trabajos de ordenación territorial

Cada elemento del medio elegido por su relevancia o significación, debe ser valorado individualmente, pudiendo después obtener un mapa de valor agregado o realizar un descarte sobre las áreas de mayor valor obtenido para cada uno de los elementos valorados.

Inevitablemente, como ocurre con cualquier fórmula metodológica que se emplee, en algún momento del proceso de diagnóstico territorial, ha de introducirse un elemento de subjetividad. Por ejemplo, con un criterio conservador podría establecerse que la explotación minera es admisible cuando no afecte a ningún elemento del medio que sea calificado de valor medio, alto o muy alto. Por el contrario, un criterio poco conservador sería aquel que estableciese que todo el territorio es apto para la explotación minera salvo donde algún factor alcance un valor muy alto.

Así pues, cabe plantear diferentes fórmulas en el desarrollo metodológico de un proyecto de Ordenación Minero-Ambiental, lo que puede ilustrarse con algunos ejemplos extraídos de otros proyectos de Ordenación Minero-Ambiental llevados a cabo por el IGME.

6.1. Ordenación Minero-Ambiental de explotaciones de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga)

El IGME ha realizado dos estudios de Ordenación Minero-Ambiental sobre 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 figura 1 se representa la localización 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. En dicho territorio 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. En la zona se concentró la explotación en siete canteras, correspondiendo la mayoría a derechos mineros de reducida extensión y concentrados en una superficie prácticamente continua. 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 la 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. En

cuanto a la calificación del suelo, prácticamente la totalidad del ámbito geográfico donde están localizados, tanto las actuales explotaciones como los recursos potenciales, aparece calificada por el planeamiento urbano como *suelo no urbanizable de máxima protección por valores paisajísticos y geomorfológicos* (Barettino *et al.*, 1999; Martínez-Plédel *et al.*, 2002).

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. Este tipo de problemática ha sido descrita también en otros lugares.

En el caso de Alhaurín de la Torre, como puede ocurrir en otros ámbitos geográficos de pequeña extensión, cabe preguntarse si es necesaria la aplicación del esquema metodológico completo descrito en epígrafes anteriores. De hecho, en su momento, se llegó a la conclusión de que era factible obviar la fase de diagnóstico territorial con su análisis de capacidad de acogida, para aplicar, directamente sobre el mapa de los recursos mineros potencialmente explotables, los criterios excluyentes y condicionantes definidos a partir de la información del inventario ambiental, de la investigación de los recursos y de la caracterización de la explotación minera, sin pasar por una subdivisión del territorio en unidades territoriales menores.

En la figura 13 se recogen los criterios de exclusión y condicionantes que se aplicaron en el Mapa de Ordenación

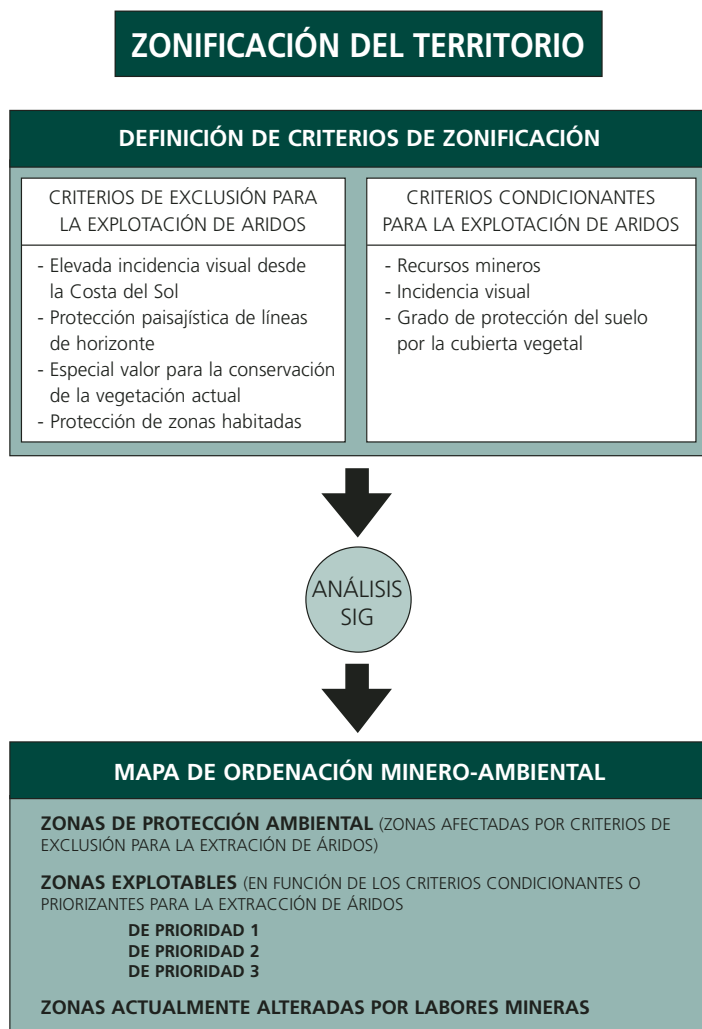


Figura 13. Criterios de zonificación y categorías de ordenación del Mapa de Ordenación Minero-Ambiental de la explotación de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga) (IGME, 2000; Martínez Plédel *et al.*, 2002)

Minero-Ambiental de la explotación de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga). Los criterios de exclusión elegidos fueron: por elevada 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, y 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), se procedió a la delimitación de tres categorías de ordenación dentro de las zonas con recursos que no hubieron sido previamente excluidas para la explotación ni estaban ya afectadas por labores mineras. Toda esta información permitió realizar una zonificación del territorio que queda reflejada finalmente 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 ya 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). En la figura 14 se muestra el resultado final.

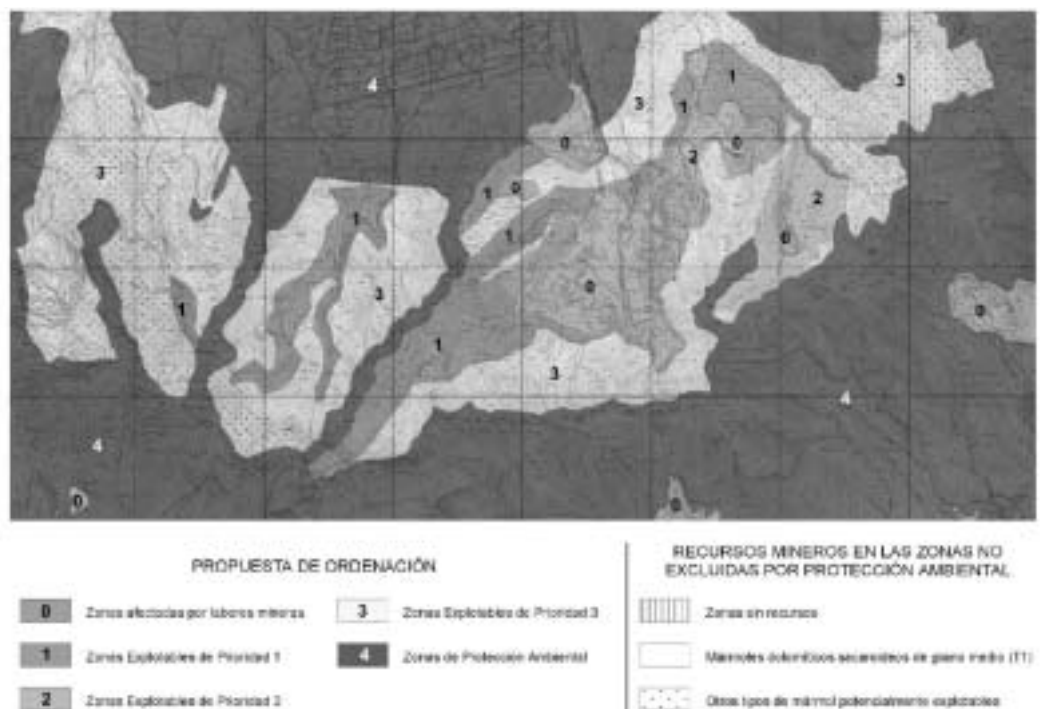


Figura 14. Mapa de ordenación Minero-Ambiental de la explotación de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga). Escala original 1:10.000 (IGME, 2000; Martínez Plédel et al., 2002)

6.2. Ordenación Minero-Ambiental de recursos de roca ornamental en la Región de Murcia

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. Ello es debido a su gran potencial geológico, que ofrece 33 variedades comercializadas de mármol y arenisca, siendo la región que pone en el mercado una mayor variedad 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 con un impacto paisajístico importante.

En determinado momento, desde la entonces Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Región de Murcia se cedió abordar 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. Se seleccionaron cinco áreas susceptibles de ordenación minero-ambiental en cuanto a los recursos de roca ornamental, cuya superficie total acumulada es de 1.996 km². Para la investigación geológico-minera de los recursos en las cinco grandes zonas de estudio, el nivel de detalle cartográfico empleado fue 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 (Martínez-Plédel *et al.*, 2006). En este proyecto se consideró conveniente descartar la definición de unidades territoriales como paso fundamental dentro de lo que se ha denominado Diagnóstico Territorial, realizándose una valoración directa de los diferentes elementos del medio cartografiados: suelos, vegetación actual, usos del suelo y existencia de hábitats. Como de costumbre, el procedimiento de valoración utilizado fue distinto en unos elementos y en otros, dependiendo del tipo de recurso natural o cultural, del conocimiento directo que se tiene de él, de la experiencia previa de otros trabajos de valoración del mismo, de la existencia de juicios de valor ampliamente aceptados y del carácter subjetivo o no de su apreciación, por lo que es conveniente traducir todas las valoraciones a una misma escala. Las escalas empleadas en el trabajo fueron las que se muestran en las tabla 3 y 4.

CALIFICACIÓN	VALOR DEL ELEMENTO CONSIDERADO
MUY ALTO	4,01 a 5
ALTO	3,01 a 4
MEDIO	2,01 a 3
BAJO	1,01 a 2
MUY BAJO	0 a 1

Tabla 3. Escala general de valoración para los diferentes elementos del medio empleada en el Proyecto de Investigación y Ordenación Minero-Ambiental de los recursos de roca ornamental de la Región de Murcia (IGME, 2005)

Tabla 4. Clasificación y evaluación de los hábitats de la Región de Murcia en función de la prioridad y rareza, según se realizó en el Proyecto de Investigación y Ordenación Minero-Ambiental de los recursos de roca ornamental de la Región de Murcia (IGME, 2005).

HÁBITATS DE INTERÉS	VALOR
Sin hábitats de interés	0
Hábitats no raros y no prioritarios	1
Hábitats raros y no prioritarios	2
Hábitats no raros y prioritarios	3
Hábitats raros y prioritarios	4
Hábitats muy raros	5

Mapas de Valoración de Recursos

Con tales criterios, y de forma automática, utilizando la capacidad de tratamiento de la información de un SIG, se crearon los correspondientes Mapas de Valoración de los diferentes recursos para cada una de las zonas de estudio. El criterio adoptado por consenso entre los miembros del equipo redactor fue el de excluir para la explotación de rocas ornamentales aquellas superficies en las que alguno de los elementos del medio valorados alcanzara el valor alto o muy alto, obteniendo así un primer tipo de categorías de ordenación (zonas excluidas para la explotación por razones de conservación). Además de lo obtenido después de realizar dichas valoraciones, se consideraron otros criterios terminantemente excluyentes, tales como la proximidad a núcleos urbanos y embalses o el elevado interés natural y cultural de determinadas figuras de protección. También se definieron criterios condicionantes, en función de una valoración hecha sobre determinadas figuras de protección existentes (LIC, ZEPA, BIC) y en el análisis pormenorizado y apoyado en SIG de la incidencia visual. Dichos criterios condicionantes se corresponden con un segundo tipo de categorías de ordenación que se plasmó en zonas con diferentes grados de prioridad ante la explotación de roca ornamental para las diferentes zonas de estudio. Como resultado de todo ello, se obtuvieron cartografías donde quedaban marcadas las siguientes calificaciones:

- **ZONAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL**, en las que, aun existiendo recursos explotables, no es recomendable la explotación minera debido al elevado valor de los elementos del medio natural o cultural existentes en dichas zonas. Reune los siguientes tipos de superficies:
 - Perímetros de protección de núcleos urbanos y embalses.
 - Áreas de alto o muy alto valor de los suelos, la vegetación y los usos del suelo.
 - Espacios Naturales Protegidos.
 - Hábitats de interés comunitario declarados Lugares de Importancia Comunitaria (LICs).

Asimismo, se contempló la protección de aquellos Bienes de Interés Cultural (BICs) situados en áreas donde existen recursos explotables.

- **ZONAS DE PRIORIDAD 1** para la explotación de roca ornamental. Las zonas de prioridad 1 quedaron definidas como aquellas que no son visibles o presentaban una incidencia visual baja a media, y en las que no existía ningún otro condicionante que pudiera limitar el uso extractivo. Estas zonas son aquellas en las que preferentemente deben situarse nuevos proyectos de explotación, debido a que los daños ambientales son asumibles, siempre y cuando se tengan en consideración las recomendaciones hechas sobre modelos de explotación y restauración a la hora de redactar los preceptivos proyectos de explotación y restauración.
- **ZONAS DE PRIORIDAD 2** para la explotación de roca ornamental. Las zonas de prioridad 2 quedan constituidas por aquellas áreas de incidencia visual nula, baja o moderada (media), que afectaban a Zonas de Protección de Aves (ZEPAs) y/o a hábitats de interés comunitario raros y prioritarios o muy raros no propuestos como LICs. Idealmente, los futuros proyectos de explotación de roca ornamental no deberían situarse en zonas de prioridad 2, en tanto existan posibilidades para la explotación en zonas de prioridad 1.
- **ZONAS DE PRIORIDAD 3** son aquellas porciones del territorio con alta o muy alta incidencia visual y/o áreas que han sido propuestas como Lugares de Interés Comunitario (LICs). Desde un punto de vista ambiental, los proyectos de explotación de roca ornamental no deberían afectar a zonas de prioridad 3, en tanto existan posibilidades para la explotación en zonas de prioridad 1 ó 2.

Las superficies relativas a las diferentes categorías de ordenación referidas quedan reflejadas en los correspondientes "Mapas de Ordenación Minero-Ambiental", para cada una de las zonas de estudio (cinco en total).

Los Mapas de Ordenación Minero-Ambiental constituyen una infraestructura básica para la integración de la actividad minera en la ordenación territorial, facilitando así el desarrollo sostenible a partir del beneficio óptimo de los recursos naturales, garantizando a la vez la conservación y mantenimiento de la calidad del medio. Asimismo, son instrumentos muy útiles para los responsables en planificación territorial, medio ambiente y minería. Por otra parte, pueden ayudar a las empresas extractivas a orientar los esfuerzos inversores hacia aquellas zonas del territorio con mayor capacidad de acogida.

Planes directores minero-ambientales

7. PLANES DIRECTORES MINERO-AMBIENTALES

Para aquellas áreas dentro de un territorio rico en recursos mineros, en las que ya existe una gran concentración de explotaciones, con la consiguiente problemática ambiental derivada, puede ser interesante realizar un estudio de Ordenación Minero-Ambiental complementado con la realización de un Plan Director Minero-Ambiental. Los objetivos de este tipo de planes 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.

Plan Director
Minero-Ambiental

Un antecedente indirecto que puede ser citado es el "Plan Director de los Mármoles de Macael (Almería)", planteado para analizar de forma global toda la problemática de las explotaciones de mármol en la comarca de Macael, tanto en el proceso extractivo como elaborador, a fin de descubrir los "defectos" que el sistema tradicional había generado para, a continuación, buscar los medios necesarios para su correcto desarrollo (Quereda y Sigüenza, 1996).

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

- Geometría final de las explotaciones: aplicación de los modelos de explotación propuestos 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 diversos niveles de exigencia ambiental 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.

7.1. Plan Director Minero-Ambiental de explotaciones de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga)

Unido al estudio de la "Ordenación Minero-Ambiental de la explotación de áridos en Alhaurín de la Torre (IGME, 2000)", fue presentado un Plan Director Minero-Ambiental. Dicho trabajo 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 en aquel ámbito geográfico.

Las propuestas más destacables del plan director elaborado en el proyecto de Alhaurín de la Torre se concretan en los siguientes puntos:

1. *Modelos de explotación y geometría final de las explotaciones.* Se adoptaron las geometrías de explotación diseñadas con criterios técnicos y ambientales, a partir de las cuales se diseñó un modelo tridimensional de explotación a escala 1:5.000, respetando 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 (ver figura 14). Las nuevas superficies a explotar según el modelo diseñado quedaban 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 figura 15 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 colindantes, lo que no sucedía antes del estudio de ordenación minero-ambiental
2. *Desarrollo de la explotación.* Se consideró siempre un sistema de explotación de forma descendente, de modo que se posibilite restaurar a medida que avanza la explotación y se eviten los riesgos que suponía el entonces habitual trabajo a pie de unos taludes que no ofrecían siempre las garantías suficientes de estabilidad. Se propuso que las labores de restauración siguieran a las de explotación en las superficies agotadas en cuanto éstas existieran y no quedara 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, más que establecer un orden y coordinación en el 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 grandes fases se realizó a escala 1:5.000.

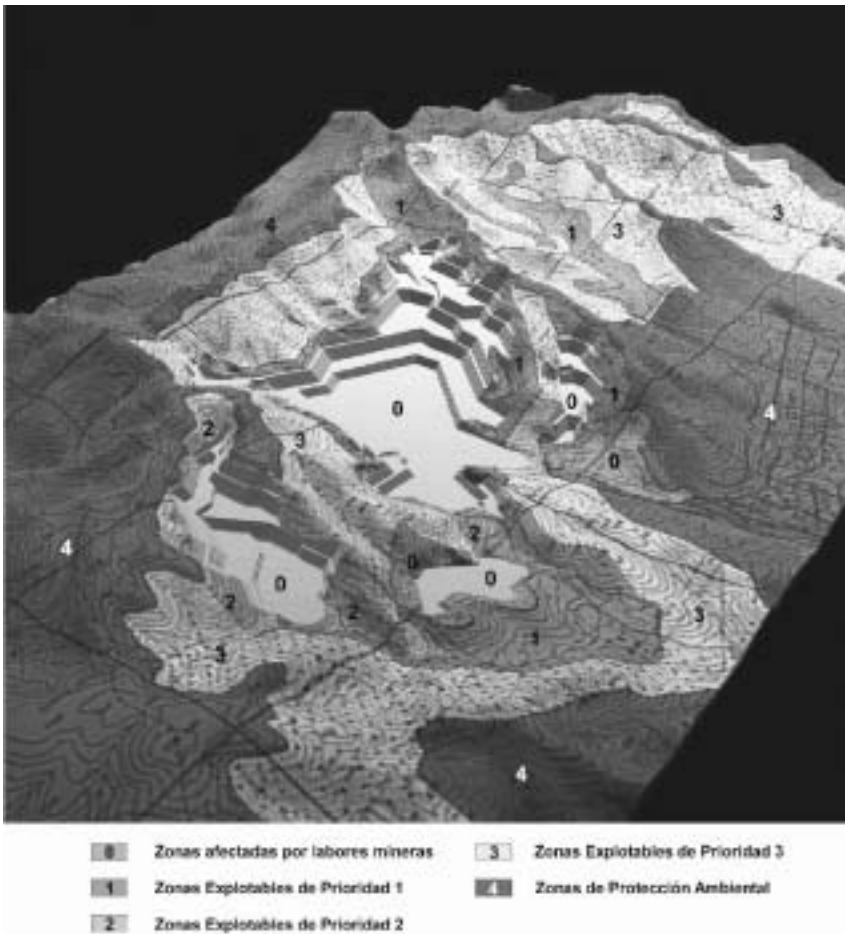


Figura 15. Plan Director Minero-Ambiental. Aplicación de los modelos de explotación sobre las zonas favorables del Mapa de Ordenación Minero-Ambiental en Alhaurín de la Torre (Málaga). (IGME, 2000)

3. *Restauración y definición de los diferentes niveles de exigencia ambiental.* De forma general, fue asumido que, con vistas a la restauración de los terrenos, se adoptan las geometrías de explotación propuestas, y se adoptan igualmente los criterios y modelos de restauración incluidos en el correspondiente documento, aunque siempre 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 (figura 14), 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. Se consideró que, 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. La idea es que, 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.

El Plan Director Minero-Ambiental propone 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 de un Mapa de Ordenación Minero-Ambiental y el diseño de modelos de explotación y restauración. Puede ser un instrumento fundamental para la planificación y gestión de áreas con una intensa explotación de los recursos minerales, e integración en el proceso general de ordenación territorial.

Algunos otros ejemplos de trabajos

8. ALGUNOS OTROS EJEMPLOS DE TRABAJOS DE ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL

Los métodos y procedimientos empleados en los trabajos realizados por el IGME a lo largo ya de más de diez años han servido para fomentar e inspirar trabajos de parecida naturaleza, con las lógicas adaptaciones. Entre las diferentes referencias posibles, son de destacar las que se comentan a continuación.

8.1. Proyectos de Ordenación Minero-Ambiental en Ecuador

En la Provincia de El Oro (Ecuador) se planteó un proyecto de Ordenación Minero-Ambiental que sigue, aunque con diferente desarrollo, el esquema general descrito en páginas anteriores, y que fuera aplicado en el proyecto de ordenación de pizarras en La Cabrera (IGME, 1995). Este distrito minero cuenta con cerca de 400 minas artesanales en actividad y cerca de 170 minas abandonadas (Díaz-Reinoso *et al.* 2003). La ubicación de minas y plantas de procesamiento es relativamente extensa, y por su dispersión, resulta dificultoso el control ambiental. La contaminación de ríos y quebradas, debido a la descarga de sólidos y sustancias contaminantes, ha eliminado la vida en los ríos Calera y Amarillo y ha disminuido seriamente la población de peces de los cauces, aguas abajo de la explotación minera, en la cuenca del Río Puyango, limítrofe con Perú, el cual continúa en el vecino país con el nombre de Tumbes y desemboca en el Océano Pacífico. (PRODEMINCA-SGAB, 2000).

Ante tal problemática, la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) se planteó la realización de un proyecto de Ordenación Minero-Ambiental, con el fin de contribuir al desarrollo sustentable de la zona (Loayza y Carrión, 2003).

Igualmente, en la Península de Santa Elena (Ecuador), donde existen abundantes recursos mineros no metálicos, se ha trabajado empleando semejantes fórmulas metodológicas para alcanzar los tres objetivos "clásicos" (Loayza y Carrión, 2003):

- Elaboración de un Mapa de Ordenación Minero-Ambiental.
- Establecimiento de modelos de explotación.
- Determinación de criterios de restauración de los terrenos afectados por la actividad minera.

Otro trabajo más reciente es el "Estudio de Ordenación Minero-Ambiental de la periferia de Guayaquil (Ecuador)" (Hernández Castillo, 2001), el cual incluye: un Plan de Ordenación Minero-Ambiental, un apartado dedicado al diseño del modelo de explotaciones mineras, una propuesta de criterios de rehabilitación y, finalmente, un Plan Director Minero-Ambiental.

8.2. Mapa de Ordenamiento Minero-Ambiental de áridos naturales de los depósitos sedimentarios de origen fluvial de la parte media y baja del río Jarama

Otro buen ejemplo de trabajo de Ordenación u Ordenamiento Minero-Ambiental es el realizado por Colegial Gutiérrez (2004) sobre los recursos de áridos naturales en la cuenca del río Jarama (Madrid), y cuyo resultado final es el "Mapa de Ordenamiento Minero-Ambiental de áridos naturales de los depósitos sedimentarios de origen fluvial de la parte media y baja del río Jarama". En palabras del autor: *"el fundamento metodológico del trabajo es un refinamiento de una línea de investigación en Ordenación Minero-Ambiental de recursos mineros desarrollada por el Instituto Geológico y Minero de España"*. La aproximación metodológica busca, de una parte, evaluar la influencia de las actividades extractivas de yacimientos de áridos naturales sobre el medio físico natural y, de otra parte, distribuir adecuadamente dichas actividades en el tiempo y el espacio, para lo cual se estimó conveniente conjugar aspectos del campo de la teoría de las decisiones con los procedimientos de ordenación. La combinación de los Sistemas de Información Geográfica con las técnicas multicriterio de ayuda a la decisión permitieron conformar una herramienta que, mediante el análisis espacial, es capaz de generar cartografías para la planificación y orientar la toma de decisiones de los planificadores.

El planteamiento básico asume que el tipo de situación presentada puede asimilarse a los análisis basados en sopesar varios puntos de vista que pueden ser conflictivos, pero que pretenden encontrar alternativas razonables de solución. Tales análisis se conocen en la literatura correspondiente como análisis multicriterio o evaluación multicriterio (EMC). Escudey *et al.* (1998), haciendo una revisión sobre la evaluación y decisión multicriterio, anotan que uno de los problemas centrales de tales métodos es generar una "ordenación" (*ranking*) de las alternativas consideradas (de la "mejor" a la "peor"). Esta aproximación resulta atractiva en estudios de ordenamiento minero ambiental porque se trata no de excluir áreas potenciales para la actividad, sino de establecer cuáles se considerarían menos conflictivas para implantar actividades extractivas.

El tipo de materiales a los que se dirigió el trabajo agrupa todos los tipos de áridos naturales susceptibles de explotación minera: conglomerados silíceos de las rañas, las gravas poligénicas y las arenas del sistema de terrazas del río Jarama, así como del fondo de valle de dicho río, y algunos depósitos de arena y grava de algunos coluviones y conos de deyección. La concentración de explotaciones de grava y arena en la Comunidad de Madrid se sitúa mayoritariamente a lo largo y ancho de la cuenca media y baja del río Jarama. El Jarama y sus tributarios, tales como el

río Manzanares, se sitúan al Este y Sudeste de la zona metropolitana de Madrid, con muy buenas conexiones y cercanía a los centros socioeconómicos más importantes de la región.

En la determinación tanto de los criterios de aptitud como de impacto, se realizó un análisis de diferentes trabajos. Se vio en los trabajos revisados que los aspectos de aptitud reiteradamente expresados se refieren fundamentalmente a los elementos de calidad del recurso y la factibilidad minera de este (ver tablas 5 y 6).

Tabla 5. Criterios y factores para la evaluación de la aptitud del territorio en referencia a las actividades extractivas para obtención de áridos naturales. Clave de los factores para evaluar: [1] índice de aptitud, [2] índice de aptitud física y económica, [3] índice de aptitud económica. Tomado de Colegial Gutiérrez (2004).

CONJUNTO DE CRITERIOS	CRITERIOS (Variables)	FACTORES (Indicadores)	
Calidad	Porcentaje de finos	Mapa de valores por porcentaje de finos	[1]
Espesor	Promedio del espesor del depósito	Mapa de valor de espesores	[2]
Económicos	Distancia a centros de consumo	Mapa de valor por distancia a centros de consumo	[3]

Para la elaboración de un modelo de criterios con el propósito de la evaluación de alternativas en cuanto al impacto, se realizó un cuidadoso examen de los trabajos del B.R.G.M. francés citado por Bascones & Gallego (1993), del IGME (1995) y de Letouzé-Zezula *et al.* (1996). Particularmente los dos primeros citados presentan estructuración (jerarquización) de los criterios en niveles de agregación (aspecto que fue tratado anteriormente).

La distribución de valores de aptitud y valores de los elementos del medio natural en categorías nominales u ordinales fueron llevadas a escalas de intervalo o razón para expresarlas como escalas de tipo cuantitativo. Las categorías previamente cuantificadas fueron normalizadas para que la información pudiera ser integrada y tratada matemáticamente. Las capas temáticas obtenidas fueron igualmente normalizadas.

Tabla 6. Criterios y factores para la evaluación del impacto del territorio en referencia a las actividades para efectos de localizar y compatibilizar actividades extractivas para obtención de áridos naturales. Clave para realizar la evaluación: [1] Grado de impacto (Interés de conservación), [2] Grado de incidencia sobre aspectos hídricos, [3] Índices de calidad o fragilidad del paisaje, [4] Grado de interés de conservación, [5] Distancias normativas sobre actividades molestas y nocivas, planes de protección nacionales y autonómicos, [6] Grado de impacto sobre el manto freático. Tomado de Colegial Gutiérrez (2004).

CONJUNTO DE CRITERIOS	CRITERIOS (Variables)	FACTORES (Indicadores)	
Ecológicos	Vegetación	Mapa de Formaciones Vegetales	[1]
	Fauna	Mapa de Ecosistemas Faunísticos	[1]
	Agua	Mapa de la Red de Drenaje Mapa de Distancias a Cauces Mapa de Intervalos de Profundidad del Nivel Freático	[2] [2] [6]
Productividad Primaria	Suelo	Mapa de Suelos	[1]
Paisajísticos y Estéticos	Paisaje	Mapas de Calidad y Fragilidad del Paisaje Capacidad de Conservación	[3] [4]
Culturales	Patrimonio histórico - artístico Patrimonio arqueológico. Recursos naturales y científicos	Mapas de Patrimonio con zonas de exclusión Mapas de Espacios Protegidos con zonas de exclusión	[5]
Estructura territorial	Conjuntos urbanos	Mapas de Polígonos Urbanos con zonas de exclusión	[5]

En la modelización de los criterios, una vez definidos tanto los aspectos de aptitud como los de impacto y realizada la correspondiente valoración de cada uno de estos, se obtienen como resultado los elementos de entrada para alimentar el prototipo de ayuda multicriterio a la decisión, enfocado al Ordenamiento Minero-Ambiental. Tras la definición de los diferentes criterios, se consideró necesario establecer las preferencias concernientes a ellos, y para esto se realizaron consultas técnicas de tipo Delphi, mediante encuestas estructuradas a expertos, por medio de las cuales se puso de manifiesto el grado de importancia o influencia relativa que debe tener cada uno de los factores ya determinados sobre una escala de valoración fija basada en Eastman *et al.* (1995) (ver tabla 7).

Tabla 7. Escala continua para la tasación de preferencias o pesos en procesos de evaluación (modificado de Eastman et al., 1995).

VALOR ASIGNADO								
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremadamente	Muy Fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy Fuertemente	Extremadamente
Menos importante				Importante	Más importante			

Los resultados de este orden de importancia están dados en una misma escala de números reales. Esto se puede traducir en clases de capacidad de acogida que definen categorías para la localización plena, condicionada o inaceptable de la actividad que se quiere implantar. Es de destacar que la valoración realizada por los expertos presenta el conjunto de criterios culturales y de estructura territorial como los de mayor relevancia, hasta el punto de ser considerados de carácter excluyente (tablas 8 y 9).

Tabla 8. Criterios y factores para la evaluación de la aptitud del territorio en relación con las actividades para efectos de localizar y compatibilizar actividades extractivas para obtención de áridos naturales. Tomado de Colegial Gutiérrez (2004).

CONJUNTO DE CRITERIOS	CRITERIOS (Variables)	VALOR DE IMPORTANCIA RELATIVA
Calidad	Porcentaje de finos	5
Espesor	Promedio del espesor del depósito	5
Económicos	Distancia a centros de consumo	1/3

Tabla 9. Valor de importancia relativa otorgados por expertos consultados a los diferentes criterios y factores para la evaluación del impacto del territorio en relación con las actividades para efectos de localizar y compatibilizar actividades extractivas para obtención de áridos naturales. Tomado de Colegial Gutiérrez (2004).

CONJUNTO DE CRITERIOS	CRITERIOS (Variables)	VALOR DE IMPORTANCIA RELATIVA
Ecológicos	Vegetación	1
	Fauna	1
	Agua	7
Productividad Primaria	Suelo	5
Paisajísticos y Estéticos	Paisaje	1/3
Culturales	Patrimonio histórico - artístico.	9 (criterio excluyente)
	Patrimonio arqueológico.	
	Recursos naturales y científicos.	
Estructura territorial	Conjuntos urbanos.	9 (criterio excluyente)

El modo para expresar las preferencias se sirve de pesos o coeficientes que ponderen cada factor a ser considerado en los términos de la evaluación a realizar. Para hallar los coeficientes de ponderación o los pesos se consideró conveniente utilizar el procedimiento de las jerarquías analíticas (AHP). En este caso, se hace una matriz de comparación por pares de factores donde en cada celda se asigna un juicio de valor que tiene como punto de partida lo aportado por el trabajo de los expertos; esta operación se puede realizar en el programa empleado para gestionar el tratamiento SIG, el cual calcula los denominados *eigenvectors* o vectores de pesos asignados a cada elemento para el cálculo de valores agregados mediante suma ponderada (ver tablas 10 y 11).

Tabla 10. Resultados de la aplicación del método de las jerarquías analíticas para ponderar los criterios de aptitud (obtención del "eigenvector" principal normalizado).. Tomado de Colegial Gutiérrez (2004).

CONJUNTO DE CRITERIOS	CRITERIOS (Variables)	PESOS
Calidad	Porcentaje de finos	0.4615
Espesor	Promedio del espesor del depósito	0.4615
Económicos	Distancia a centros de consumo	0.0769

Tabla 11. Resultados de la aplicación del método de las jerarquías analíticas para ponderar los criterios de impacto (obtención del "eigenvector" principal normalizado). Tomado de Colegial Gutiérrez (2004).

CONJUNTO DE CRITERIOS	CRITERIOS (Variables)	VALOR DE IMPORTANCIA RELATIVA
Ecológicos	Vegetación	0.0849
	Fauna	0.0849
	Agua	0.5234
Productividad Primaria	Suelo	0.2696
Paisajísticos y Estéticos	Paisaje	0.0371

En este punto se poseen las herramientas conceptuales que proporcionarán el modo para generar un modelo de Ordenamiento Minero-Ambiental. La determinación sobre cada una de las celdas en las que se divide el territorio en estudio del nivel del valor de *aptitud* y el de *impacto* permite obtener *mapas de aptitud* y *de impacto*, lo que conlleva a zonificar el terreno desde los agrupamientos de celdas más interesantes desde el punto de vista minero hasta las menos interesantes.

Una vez generadas las capas de aptitud e impacto, éstas se convierten en la base de información por medio de la cual se genera el mapa de capacidad de acogida. Para obtenerlo se sigue una de las posibilidades metodológicas planteadas por Gómez Orea (1994) para la determinación de la capacidad de acogida del territorio con integración de los temas o los factores de información al final del proceso. El mapa de capacidad de acogida de las alternativas en estudio asume que las capas de aptitud e impacto tengan la misma ponderación; los valores obtenidos

son positivos o negativos y esto tiene que ver con la medida hecha en cada celda (parcela de terreno) de la proporción de la aptitud en relación con el impacto a sufrir por los componentes del terreno. El resultado final es que valores positivos indican diferentes valores o niveles de aptitud de las actividades extractivas, los valores iguales a cero representan indiferencia a ésta, y los valores negativos indican diferentes niveles de impacto sobre el terreno. Los criterios y los aspectos que a lo largo de las valoraciones fueron calificados como factores de exclusión o restricción, son consignados en una capa donde se representan dos valores temáticos: uno tiene valor cero y representa la exclusión en esas parcelas para cualquier tipo de actividad; los demás tienen valor uno y representan las alternativas que están habilitadas para operar las puntuaciones que determinan su vocación para la actividad en estudio o su fragilidad frente a ésta. La combinación de la capa que contiene los píxeles excluidos para cualquier actividad se realiza una vez se haya formado la capa de capacidad de acogida.

Para conseguir el Mapa de Ordenamiento Minero-Ambiental de áridos naturales a partir del modelo de capacidad de acogida, se fija como premisa que los valores obtenidos de la capacidad de acogida para las actividades extractivas del territorio en estudio representan, de una parte, altas especificaciones y posibilidades de aprovechamiento minero de depósitos potencialmente explotables y, de otra parte, recursos naturales con excelentes cualidades desde el punto de vista ecológico, económico, cultural (entre otros aspectos) donde la explotación de los potenciales recursos mineros vulneraría tales cualidades. Entre los dos extremos existe un intervalo que gradualmente pasa de poseer una mayor aptitud relativa, pasando por una franja de indiferencia para, progresivamente, ir alcanzando valores correspondientes al intervalo del dominio del impacto, lo que da una medida de la fragilidad de componentes del medio físico al ser afectados por la actividad en estudio. Los valores obtenidos en el mapa de capacidad de acogida fluctúan entre $-0,65$ y $0,99$; estos resultados provienen de sumar algebraicamente la capa de aptitud y la capa de impacto, ocurriendo las siguientes posibilidades:

- Cuando el valor de la capacidad de acogida es positivo y, proporcionalmente hablando, muchísimo mayor que cero, entonces, la aptitud es máxima y, por lo tanto, el grado de idoneidad del terreno para el desarrollo de la actividad es pleno, lo que algunos autores denominan usos vocacionales del terreno (se debe considerar una muy alta a alta aptitud, con relación al impacto, éste se ha de asumir bajo o muy bajo).
- Cuando el valor es positivo pero intermedio entre cero y el máximo valor positivo, se puede considerar que hay aptitud para la actividad y que su uso del terreno se puede considerar aceptable (aptitud intermedia pero superior al impacto que supone poseer desde un bajo a muy bajo nivel).
- Cuando el valor es neutro o cercano al cero (debe entenderse como indiferencia), es decir, con valores positivos o negativos en un intervalo muy cercano a cero, se considera que la capacidad de acogida es intermedia y que la aptitud del terreno para soportar las actividades extractivas es ajustada ante la eventualidad de afectar otros factores del medio físico natural; en esta

banda podríamos tener un uso del suelo que varía desde de la compatibilidad para las actividades en estudio hasta compatibilidades condicionadas o limitadas (aptitudes bajas e impactos bajos o muy bajos, o viceversa).

- Cuando el valor es negativo pero intermedio entre cero y el máximo valor negativo, no hay aptitud para la actividad y su uso del terreno se considera incompatible (impacto intermedio pero superior a la aptitud que se supone tener desde un bajo a muy bajo nivel).
- Cuando el valor de la capacidad de acogida es negativo y muchísimo menor que cero, entonces el impacto es máximo y la aptitud insignificante, por lo cual, el uso es incompatible y eventualmente excluyente (de impacto muy alto o alto y aptitud desde baja a muy baja).

Además del Mapa de Ordenamiento Minero-Ambiental, se aporta finalmente un interesantísimo *Mapa de zonificación de reservas potenciales de áridos en la categoría de localización idónea*, que se acompaña de una evaluación de los tonajes que potencialmente se pueden extraer en las diferentes categorías anteriormente indicadas. Se llega a la conclusión de que, comparando entre las reservas establecidas para la categoría de mayor aptitud (localización idónea de la actividad extractiva) y el consumo de áridos del año 2002 en la Comunidad de Madrid, se ve que la categoría de mayor vocación ofrece reservas que superan en algo más de ocho veces el consumo teórico actual de la Comunidad.

Finalmente, conviene decir que en la metodología descrita someramente, la conformación de matrices de aptitud e impacto quedan directamente relacionadas con cada elemento del terreno, lo cual encaja de forma idónea con sistemas de información geográfica de estructura *raster*, en los que el formato de la información del terreno es de tipo matricial.

8.3. El Plan Regional de Ordenamiento del Territorio de la Zona de los Mármoles de Estremoz

El Consejo de Ministros de la República de Portugal sancionó la Resolución nº 86/94 de 21 de septiembre por la que se determina la elaboración del denominado "*Plano Regional de Ordenamiento do Território da Zona dos Mármoles*" (PROZOM). Un largo proceso de elaboración de documentos, consultas y revisión de planes municipales y normas legales llevó a la Resolución del Consejo de Ministros nº 93/2002 por la que se aprueba el PROZOM.

El ámbito de aplicación se circunscribe al Anticlinal de Estremoz (Portugal), que es considerado uno de los principales centros de origen de mármoles ornamentales del mundo. El PROZOM viene a establecer las opciones estratégicas, el modelo territorial y las normas orientadoras, que desde una óptica supramunicipal, tienen como objetivo el ordenamiento y la racionalización de la explotación de recursos de mármol, el establecimiento de reglas para la instalación de actividades ligadas al tratamiento y transformación, la gestión de estériles y subproductos, la recuperación paisajística de las áreas agotadas o abandonadas, y la gestión integrada de infraestructuras, salvaguardando el funcionamiento de los sistemas ecológicos.

Los objetivos fundamentales del mismo son:

- Garantizar la explotación racional del mármol.
- Proteger y poner en valor otros recursos naturales, con especial interés por los recursos hídricos, el suelo agrícola y los ecosistemas.
- Reorganizar las redes internas de infraestructuras.
- Garantizar el adecuado aprovechamiento de residuos y subproductos de la explotación.
- Fomentar la recuperación progresiva de la zona afectada.
- Definir usos y actividades alternativas, mediante una adecuada zonificación y establecimiento de normas de utilización del espacio.
- Impedir la continuación de la degradación ambiental dentro de la denominada "área cativa".

El PROZOM definió, en primer lugar, cinco "unidades de ordenamiento" (UNOR) sobre las que se deberían realizar cartografías de detalle a partir de los resultados de un trabajo previo de cartografía temática (Sobreiro *et al.*, 2003; Carvalho, 2004; Martins, 2004). Cada una de las unidades en que se ha dividido el territorio afectado por el PROZOM abarca uno o más núcleos de canteras, y su delimitación, tiene en cuenta la intensidad con que se verifica la explotación y los diferentes grados de sensibilidad ambiental existentes en la región, como pueden ser la proximidad a núcleos urbanos y vías de comunicación principales o bien la existencia de importantes valores ecológicos y arqueológicos (Falé *et al.*, 2006).

La metodología general se estructura en cuatro etapas. La primera fase tiene como objetivo obtener el denominado Mapa de Riesgo Geoeconómico, basado en la aptitud del territorio para la producción de rocas ornamentales. Los estudios geológicos de detalle realizados han permitido delimitar y agrupar por semejanzas los distintos tipos de mármol, discernir rigurosamente la estructura geológica y el estado de fracturación, para definir finalmente áreas de diferente potencial geológico-minero. La segunda etapa culmina con la realización de Mapas de Sensibilidad Ambiental. Cobran especial importancia aquí los recursos hidrogeológicos, por lo que adquieren un enorme peso en la definición de criterios de ordenación los "Mapas de Vulnerabilidad Hidrogeológica" en cada UNOR, junto al análisis de la sensibilidad de otros elementos del medio. La tercera etapa busca obtener Mapas de Exclusión. La cuarta culmina con los Mapas de Reordenamiento, en los que se plasman las propuestas de afección del espacio territorial en función del cruce de la información obtenida en etapas anteriores en una matriz de doble entrada (Sobreiro *et al.*, 2003; Falé *et al.*, 2006). La idea es que las zonas más favorables para la explotación por su mayor actitud (bajo riesgo geoeconómico) y donde se den menores condicionantes derivados de una baja sensibilidad ambiental serán óptimas para la localización de las explotaciones. Las áreas reconocidas como sin interés para la explotación y baja sensibilidad ambiental, pueden albergar las actividades complementarias de la industria extractiva.

Estudios de Ordenación

9. FUTURO DE LOS ESTUDIOS DE ORDENACIÓN TERRITORIAL EN ÁREAS MINERAS

La utilidad y el interés de los proyectos de Ordenación Minero-Ambiental, de los Planes Directores Mineros-Ambientales o la de otros trabajos de ordenación con denominaciones, metodologías y objetivos semejantes queda, a estas alturas, suficientemente acreditada, sobre todo en lo que se refiere al sector de las rocas y minerales industriales.

Abundando aun más, cabe referir que en el 1er Congreso Nacional de Áridos celebrado en España se propugnó como “inaplazable necesidad” el desarrollo de un Plan Nacional de Áridos, en el que alrededor de dos tercios de su presupuesto total (casi nueve millones y medio de euros) serían destinados a tareas y proyectos de ordenación minero-ambiental (García Cortés *et al.*, 2006).

Sin embargo, también ha quedado brevemente entrevisto que estos instrumentos pueden igualmente dar buenos frutos en lo que se denomina “pequeña minería artesanal”, con el inconveniente de que puede ser necesario aumentar el nivel de detalle cartográfico y dar mucho peso a los aspectos socioeconómicos, en lugares en los que la infraestructura del conocimiento es muchas veces pobre. Según CONAMA (Chile), la pequeña minería se define como la actividad minera que se realiza en plantas de beneficio o minas, cuya producción en mina o capacidad de tratamiento en planta es menor de 200 toneladas por día, que disponen de una tecnología mínima y su gestión es familiar o con personal muy reducido. La pequeña minería, en función del tipo de yacimiento, se sirve tanto de tajos a cielo abierto como de minería subterránea, y emplea pequeñas instalaciones, generando a su propia escala desmontes, vertederos y depósitos de relaves. Suele asumirse que los principales problemas ambientales se generan en las plantas y depósitos de relaves o lodos mineros. La principal problemática surge de la proliferación desordenada de pequeñas “faenas” en un determinado territorio rico en recursos, con escaso control de los efectos ambientales generados por procesos de refino altamente contaminantes, lo que sugiere *a priori* el interés de una aproximación territorial a la resolución de los problemas ambientales.

Ya se comentó algo acerca de los trabajos realizados por la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) en Ecuador (Loayza y Carrión, 2003), año en el que Pantoja Timarán (2003) ya abogaba por la necesidad de realizar un “Proyecto Demostrativo de Ordenamiento Territorial” en alguna región representativa de la problemática generada por la pequeña minería del oro, siendo abordado conjuntamente por la Comunidad y el Gobierno. En su opinión es de fundamental impor-

tancia “adquirir, en una primera instancia, un conocimiento integrado del territorio, para permitir después condicionar el aprovechamiento de los recursos a las necesidades sociales y económicas y al libre desarrollo del medio natural, marcando unas reglas de juego al sector privado mediante la redacción de normas, previa sensibilización y convencimiento social a través de campañas”.

Planes de minería abandonada

10. PLANES DE MINERÍA ABANDONADA

El objetivo principal de las páginas que siguen es proporcionar guías para facilitar la toma de decisiones necesaria para distribuir actuaciones concretas en un entorno relativamente amplio, como puede ser una comarca, una cuenca minera o una cuenca hidrográfica en la que existen minas, emprendimientos o estructuras mineras abandonadas (balsas, escombreras, vertederos, presas de relaves, parques de mineral, etc).

10.1. Problemática de la minería abandonada

La degradación producida por antiguas labores mineras es bien conocida globalmente. Existen multitud de referencias de los daños ambientales generados en tales lugares: terrenos sin destino, huecos mineros que pueden convertirse en trampas mortales, acuíferos, ríos y suelos contaminados, balsas de lodos mineros susceptibles de romperse o erosionarse, subsidencias, paisajes destruidos, etc. Si en algún momento se pensó que la existencia de graves alteraciones ambientales producidas por la minería de un pasado cercano o lejano en el tiempo, o la mera existencia de pasivos ambientales mineros, era algo con lo que había que conformarse, cada vez más se reclama desde la sociedad una reparación y la toma de medidas de corrección de los daños causados entonces y muchas veces perpetuados hasta el día de hoy. Gómez Orea (1994) apuntaba que la conservación de los valores ecológicos, paisajísticos, productivos y científico-culturales de un lugar o territorio es una actitud activa. La conservación, aun siendo necesaria, no es suficiente, siendo también necesarios: mejorar, recuperar y rehabilitar para otros usos aquellos recursos, ecosistemas o paisajes degradados, lo que necesariamente requiere identificar las áreas degradadas y proponer medidas directas o indirectas, a través de las instituciones de rango más adecuado al problema.

Los terrenos alterados por minería y abandonados a su suerte (*orphan*, en terminología anglosajona) generan reflexiones tales como las que se reproducen a continuación (Balkau, 1999):

- La degradación de recursos es un problema de todos.
- Los fundamentos para la rehabilitación son los mismos que los que puedan ser aplicados en explotaciones en activo.
- Es inevitable incluirlos como parte del más amplio debate sobre el desarrollo sostenible asociado a la minería.

Pasivos Ambientales
Mineros

Minería Abandonada

- Es parte importante del problema de imagen de la minería en su conjunto, pudiendo tener consecuencias para la futura concesión de permisos o autorizaciones de explotación.

La diferencia fundamental entre la minería activa y la minería abandonada es que la asignación de responsabilidades es diferente. De hecho, uno de los principales escollos con lo que se enfrentan las leyes, los programas, los planes o los organismos implicados en resolver la problemática que supone la minería abandonada es la asignación de responsabilidades, o la definición de fórmulas para el reparto de las mismas entre propietarios de los terrenos, organismos de la Administración, grupos empresariales, antiguos beneficiarios, etc. Íntimamente ligada a esta dificultad está la búsqueda de mecanismos para la necesaria financiación de los trabajos de rehabilitación. Estos aspectos, aún siendo de vital importancia, no serán tratados aquí. Como ocurriera en el tratamiento que se ha hecho de los temas de ordenación territorial, son los aspectos técnicos de apoyo a la decisión los que serán abordados, y siempre desde el enfoque territorial.

Los Pasivos Ambientales Mineros son todos aquellos elementos, tales como instalaciones, edificaciones, superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, áreas de talleres, parques de maquinaria o parques de mineral, que, estando en la actualidad en entornos de minería abandonada o inactiva, constituyen un riesgo potencial permanente para la salud de la población y el medio ambiente.

10.2. Ideas generales sobre planes de minería abandonada

Teóricamente, los fundamentos técnicos y científicos que son de aplicación en procesos de rehabilitación de áreas mineras abandonadas son los mismos que sirven a las tareas de restauración de minas en activo. Sin embargo, la intensidad y coste de las medidas a tomar para alcanzar resultados semejantes puede ser mucho mayor en las primeras, especialmente en aquellas circunstancias en las que el propio estado de alteración del terreno alcanzado dificulta la aplicación de medidas, o cuando se suceden o desencadenan procesos que incrementan continuamente el estado de degradación del terreno, o en aquellas situaciones en las que la prevención hubiera sido más eficaz que la corrección. En muchas ocasiones, la única vía práctica de rehabilitación de estos terrenos pasa por la reactivación de la explotación minera, si es que existen todavía recursos beneficiables.

Según la *National Academy of Science* de Estados Unidos (NAS, 1974), la realización de trabajos encaminados a devolver los terrenos alterados a su estado

original –lo que normalmente es reconocido como imposible– se llama restauración (*ing. restoration*). Si el resultado final es tal que el lugar es habitable para organismos vivos originalmente presentes, u otros semejantes que cubren los mismos nichos ecológicos, con aproximadamente la misma composición que la original, entonces se habla de reforestación (*ing. reclamation*). Por último, se dice rehabilitación (*ing. rehabilitation*) si se pretende que los terrenos adquieran un aspecto y productividad establecidos de acuerdo con un plan previo, y sean ecológicamente estables, de manera que no contribuyan sustancialmente al deterioro ambiental y se integren en el paisaje circundante (NAS, 1974). Muy ligado a estos conceptos, sobre todo cuando se trata de determinados tipos de minería, está el término remediación, el cual hace normalmente referencia a la retirada, reducción o neutralización de substancias, residuos o materiales peligrosos para prevenir o minimizar cualquier efecto adverso sobre el medio ambiente o la salud humana hasta límites aceptables.

Restauración
Reforestación
Rehabilitación
Remediación

Según Mc Kenzie (1980), es corriente no hacer distinción entre los términos ingleses *reclamation* y *rehabilitation*, empleándose comúnmente el primero. En España se suele emplear indistintamente los términos restauración y rehabilitación con el sentido que se asigna a los conceptos *reclamation* y *rehabilitation*. Las leyes españolas (R. D. 2994/82 y R. D. 1116/84, sobre restauración del espacio natural afectado por explotaciones mineras a cielo abierto) hacen un uso del término restauración que no puede considerarse estricto, equiparándolo al término rehabilitación. Desde un punto de vista práctico, esta equiparación de términos conceptualmente distintos no es grave, si de lo que se trata es de hacer referencia al proceso mediante el cual se articulan un conjunto de labores para modificar el estado de alteración de un terreno, reconstruyendo el suelo con el objeto de que sea capaz de soportar un uso predeterminado, independientemente de si era el original antes de que se produjera la actividad alteradora y del nivel alcanzado en la sucesión ecológica (Arranz González, 1995).

En Chile, es aceptada la siguiente definición: la remediación de un pasivo ambiental minero consistirá en la adopción de acciones y medidas tendentes a reducir el riesgo que presenta o genera actualmente a niveles no significativos para la vida o salud de las personas o para el medio ambiente. Conforme a ello, la remediación no es equivalente a la llamada restauración, con la que se buscaría actuar hasta alcanzar un estado cuando menos equivalente al original en todo el entorno minero afectado.

Puede verse que, según el sentido que habitualmente se le da a la terminología empleada, un plan *de remediación* de minería abandonada parece ser menos exigente que un plan *de restauración* o *rehabilitación* de minería abandonada. En efecto, desde un punto de vista técnico, un proyecto de restauración o rehabilitación puede ser entendido como el conjunto global de actuaciones sobre un área minera alterada, ajustadas a las necesidades de una serie de subdivisiones del terreno establecidas tras un proceso de evaluación ambiental, como por ejemplo: la no actuación o simple retocado, la aplicación de técnicas de bioingeniería, la rehabilitación de la vegetación natural con técnicas agrícolas, *la remediación*, o lo que proceda en cada caso. Un proyecto de rehabilitación tiene una componente que se

sirve de aplicar técnicas propias de la ingeniería para la planificación de movimientos de tierra, la construcción de sistemas de tratamiento de aguas, la creación de drenajes temporales, la reconstrucción del sistema hidrológico permanente, la conservación de suelos, la creación de accesos estables, etc. El diseño de las estructuras que se requieran (canales de conducción, diques, terrazas, balsas de decantación, humedales construidos, etc.) debe estar íntimamente ligado a la restauración ecológico-paisajística y, es más, los criterios de integración ecológica deben ser aplicados también a las obras de ingeniería que se requieran (Arranz González, 2002). Un proyecto de remediación puede ser también algo enormemente complejo con arreglo a la situación a la que se enfrenta, pero parece quedar limitado a la minimización de riesgos, dejando de lado todos los aspectos relativos al paisaje y a recuperación de los terrenos para soportar algún tipo de aprovechamiento o uso del suelo.

Lo que está claro es que, finalmente, los objetivos de un plan de minería abandonada habrán de venir expresamente fijados en términos precisos, tanto para establecer qué se pretende alcanzar con el plan, como para definir los elementos fundamentales objeto de actuación, los cuales pueden ser: todos aquellos elementos considerados pasivos ambientales de riesgo mirados de forma aislada, o el conjunto de todos los que pudieran considerarse incluidos dentro de una determinada mina abandonada, sean o no de riesgo. Por último, la definición exacta de lo que puede considerarse un riesgo ha de formar parte también de los objetivos del plan.

Al margen de las diferencias que pueden existir a la hora de abordar el tema, en los planes de actuación sobre minería abandonada se suelen dar una serie de circunstancias comunes. La iniciativa surge generalmente de un estamento gubernamental o varios, como forma de dar cumplimiento a su deber de velar por un medio ambiente saludable y preservar los recursos naturales. Esto puede verse reflejado en una norma legal de mayor o menor rango. Cuando no es así, suele adoptarse una resolución por la que se justifica y decide la toma de una serie de medidas. Se comprende fácilmente que las decisiones a tomar se pueden ver influidas por múltiples consideraciones: ambientales, técnicas, legales, económicas, sociales o políticas. De todos estos aspectos, como ya se ha comentado, sólo serán abordados aquellos de carácter técnico y ambiental, y siempre desde una perspectiva territorial, apoyada en la elaboración de mapas y, preferentemente soportada por herramientas SIG.

Normalmente la primera de las medidas es la realización de un *inventario*, al que simultánea o posteriormente acompaña una *evaluación* sencilla con objeto de obtener una *jerarquía* de prioridades de actuación. El tipo de investigación de campo que parece razonable plantear como primera fase, o parte de las primeras fases, de un plan de minería abandonada nunca alcanzará el nivel de detalle que por ejemplo se exige para calificar a un suelo como contaminado o para fijar en qué grado debe disminuirse el riesgo de un emplazamiento en un proyecto concreto de remediación. Es decir, empleando una terminología semejante a la que suele ser de uso corriente en materia de contaminación de suelos, un programa o plan de minería abandonada debe abordar los estudios necesarios para alcanzar un nivel de información que podría ser equivalente al de una situación intermedia entre lo

se denomina nivel de investigación o diagnóstico preliminar y lo que se califica como nivel exploratorio, para cada uno de los elementos del inventario. La idea es que la aproximación a la problemática de un territorio extenso de tradición minera se base, eso sí, en la visita por personal experimentado y la recogida del máximo posible de información en todas y cada una de las minas, estructuras o pasivos mineros presentes, con objeto de obtener una visión global y poder establecer fielmente una escala relativa de prioridades de actuación. Esta labor de inventario se facilita enormemente cumplimentando fichas de campo, preparadas en gabinete y probadas sobre el propio terreno en estudio. Conviene dejar claro que, teóricamente, el objetivo final de la jerarquización de prioridades de actuación es la elaboración de planes o proyectos de restauración, rehabilitación o remediación que intenten resolver lo más urgente en un contexto de medios económicos y materiales siempre limitados, para después continuar, siguiendo el orden de prioridades establecido, hasta donde sea posible o deseable.

Partiendo de estas reflexiones generales, y después de un examen de la información existente, es posible esbozar de modo sintético lo que podría ser un esquema general de las actuaciones a realizar para llevar a cabo un plan de minería abandonada en un determinado territorio. Se pueden precisar en términos análogos a los siguientes:

Plan de Minería Abandonada

- Análisis de la documentación científico-técnica existente, incluyendo toda clase de informes, mapas y datos geológicos, geoquímicos, hidrológicos, cartográficos, ambientales, etc. Si se considera oportuno, puede completarse este esfuerzo con la búsqueda y examen de información administrativa y periodística relevante.
- Análisis de la conveniencia de destinar partidas presupuestarias a la toma y análisis de muestras, o a la caracterización mediante equipos de campo de parámetros físicos y químicos.
- Búsqueda de inventarios previos y, si existen, análisis pormenorizado de los mismos.
- Toma de contacto con organismos, agencias o entes de la administración directamente interesados en el proyecto.
- Diseño de fichas o estadillos de campo, y comprobación de la validez del diseño sobre el terreno en circunstancias lo suficientemente variadas. Las fichas deben incidir en aspectos ambientales, pero también en cuestiones relacionadas con el riesgo para las personas y los bienes. Lo ideal es que las fichas sean el modelo de entrada de datos de una base de datos asociada al inventario de minas, estructuras o pasivos ambientales. Conviene también que las fichas contengan un apartado destinado a realizar una primera evaluación cualitativa de los efectos ambientales y los riesgos.
- Realización de visitas de campo hasta obtener un inventario completo de fichas de campo y toma de datos analíticos (si se considera oportuno o existe

capítulo presupuestario para ello). Conviene que el trabajo de introducción de los datos en las fichas lo realice personal con experiencia, al igual que toma de decisiones sobre cantidad de muestras y puntos de muestreo.

- Localización y/o delimitación lo más exacta posible de los elementos del inventario sobre una cartografía básica, preferentemente gestionada por un SIG.
- Análisis de la información conjuntamente a la interpretación de datos analíticos existentes (tanto obtenidos en trabajos de campo como bibliográficos).
- Valoración ambiental de los emplazamientos y elaboración de un listado ordenado de prioridades de actuación. Edición de resultados y conclusiones.

Es necesario dejar claro que los inventarios realizados en diferentes lugares o por diferentes organismos en los mismos lugares, no siempre son comparables, pues una ficha de inventario puede ocuparse de una mina entera, incluidas todas sus estructuras, o de cada una de las estructuras por separado. Otras veces, como ocurre en los inventarios de carácter ambiental realizados por el IGME en España, una sola ficha de inventario o cuadernillo de fichas (identificado con la misma clave de inventario) puede contener tantas páginas referidas a elementos presentes (hueco/s, escombra/as, balsa/as, instalaciones, etc.) como sean necesarias.

La valoración ambiental de los emplazamientos y la elaboración de un listado ordenado de prioridades de actuación puede hacerse de diversas formas. En ocasiones se opta por la simple consideración del juicio experto de una sola persona (lo que no parece muy conveniente). Lo más razonable es establecer las valoraciones y el orden de prioridades (*ranking*) a partir de la opinión conjunta de un equipo de expertos pluridisciplinar mediante un método de tipo Delphi, y con el apoyo o no de una fórmula sistemática de desagregación en componentes (Gómez Orea, 1994), que consiste, como ya se comentó, en subdividir el valor de cada componente de un nivel de agregación en varios componentes de nivel inferior cuya evaluación individualizada dará, por agregación, el valor total. En las páginas siguientes se exponen algunos ejemplos.

10.3. Planes de minería abandonada en los Estados Unidos de América. Iniciativa AMLI

Los Estados Unidos son un claro ejemplo de país concienciado tempranamente con la problemática asociada a la minería abandonada. Prueba de ésto es que en el Título IV de la ley sobre restauración de terrenos alterados por minería de carbón (*Surface Mining Control and Reclamation Act*), aprobada en el año 1977, ya se ordena la creación de un fondo para la rehabilitación de terrenos mineros abandonados y la resolución de problemas asociados a la descarga de aguas ácidas. Posteriormente han surgido diversas iniciativas orientadas a recuperar o remediar terrenos alterados por minería abandonada.

Algunas de ellas están enfocadas bajo el modelo “*Superfund*”, como por ejemplo la que se ocupa de terrenos alterados por minería metálica y de fosfato bajo la

perspectiva de la conocida CERCLA (*Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act*). La legislación CERCLA, aprobada en 1980, creó el programa *Superfund* dando un marco jurídico para la actuación de las autoridades federales. Concretamente, tales responsabilidades le fueron asignadas a la U.S. EPA que, de este modo, ampliaba sus competencias, pasando de ser un organismo de tipo regulador a tener capacidad ejecutiva en este área. En 1986 el Congreso de los EE.UU. revisó y modificó la legislación CERCLA promulgando la *Superfund Amendment Reauthorization Act* (SARA). Durante los seis primeros años de vigencia de CERCLA, la U.S. EPA acumuló una notable experiencia en los aspectos prácticos de su aplicación. SARA, de este modo, se configura como un conjunto de mejoras sobre la original. La legislación CERCLA encomienda a la U.S. EPA la identificación de terrenos contaminados y la jerarquización de actividades de recuperación. De este modo, aquellos terrenos que se consideran de mayor peligrosidad son incluidos en una lista de carácter nacional, y se autoriza a hacer uso de fondos federales para tareas de recuperación. En este contexto fue creado en 1998 el denominado *National Mining Team*, y en 2001 el subgrupo denominado *Abandoned Mine Lands Team* (equipo AML). El objetivo principal de este equipo de trabajo es facilitar la evaluación y la limpieza de minas abandonadas, y encontrar las vías para reducir las responsabilidades financieras de las autoridades federales norteamericanas. Desde su creación, el equipo AML buscó la colaboración con otras agencias y programas, así como con entidades privadas interesadas. Uno de sus primeros objetivos, fue desarrollar un inventario en colaboración con otras agencias estatales, aportando la información contenida en las bases de datos de la EPA (USEPA, 2004).

Otra iniciativa reseñable es, por ejemplo, la asumida por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (USACE). Este estamento recibió la potestad sobre la restauración de terrenos donde existe minería abandonada a través de la sección 560 de la ley *Water Resources Development Act* de 1990. Este programa de actuaciones, cuyas siglas en inglés son RAMS (*Restoration of Abandoned Mine Sites*), tiene un *enfoque regional* y su objetivo es la restauración de lugares mineros abandonados e inactivos en los que las reservas y ecosistemas acuáticos fueron degradados en tierras federales. Inicialmente, los entornos investigados bajo este programa no tienen porqué cumplir los requerimientos de programa *Superfund*, aunque eventualmente puedan pasar a estar bajo la jurisdicción de la EPA (U. S. Army Corps of Engineers, 2002).

Además de las anteriormente citadas, y dejando a un lado las numerosas iniciativas estatales, la más interesante de todas las propuestas de actuación sobre minería abandonada, desde una perspectiva territorial, es la denominada *Abandoned Mine Lands Initiative* (AMLI), dirigida desde el U. S. *Geological Survey* (USGS, en adelante). Dicho programa surgió como parte de una estrategia de colaboración entre el Departamento del Interior y el Departamento de Agricultura para la solución de problemas ambientales ligados a minería abandonada en terrenos federales gestionados por el *Bureau of Land Management*, el *U.S. Forest Service* y el *National Park Service*.

Inicialmente se eligieron dos cuencas piloto afectadas por numerosas explotaciones de minerales metálicos y situadas una en Montana y otra en Colorado.

El objetivo general fue desarrollar una estrategia de obtención y comunicación de información científica necesaria para desarrollar trabajos de remediación efectivos y económicamente eficientes en un marco de cuenca hidrográfica. Los objetivos se concretan en:

- Proporcionar la información científica necesaria a corto plazo para la toma de decisiones relacionadas con el diseño y la implementación de acciones de limpieza.
- Desarrollar una aproximación multidisciplinar haciendo intervenir a las diferentes divisiones del USGS que integrará información geológica, hidrológica, geoquímica y ecológica en un fondo documental de conocimiento básico para apoyar la toma de decisiones.
- Transferir tecnologías desarrolladas dentro de los programas científicos del USGS a la escala de campo y demostrar su capacidad para resolver problemas prácticos reales.
- Establecer relaciones de trabajos entre los gestores de terrenos y las agencias reguladoras dentro del marco de aproximación a nivel de cuenca hidrográfica para la solución de terrenos mineros abandonados.

La estrategia de AMLI pasa por identificar las principales fuentes de contaminantes dentro de la cuenca hidrográfica; determinar los procesos químicos, físicos, hidrológicos y biológicos que controlan la dispersión de contaminantes; determinar los efectos adversos sobre los ecosistemas acuáticos y ribereños, y reconocer las condiciones iniciales antes de la proliferación de minas para fijar objetivos de restauración realistas.

Los trabajos de inventario se complementaron con analítica de muestras compuestas tomadas en superficies de escombreras y balsas, muestras de rocas mineralizadas al descubierto y muestras de aguas. Los ensayos analíticos se realizaron tanto en campo como en laboratorio, comprendiendo según el lugar: mineralogía por difracción de rayos X, ensayos de lixiviación de residuos por dos métodos (EPA 1312 y método de lixiviación en campo), medida de contenidos en elementos traza por ICP-MS sobre los lixiviados y muestras de agua filtradas y aciduladas, medida de contenidos en elementos sobre muestras de residuos por fluorescencia de rayos X de energía dispersiva, análisis de la capacidad de neutralización potencial, etc. (véase, entre otros: Briggs & Fey, 1996; Desborough & Fey, 1997; Nash, 1999 a y b; Fey *et al.* 2000; Hageman & Briggs, 2000; Smith *et al.*, 2000; Smith *et al.* 2002)

En los trabajos del USGS en Colorado y Montana se han empleado diversos procedimientos para establecer una jerarquización de los diferentes emplazamientos de cara a ordenarlos según la urgencia o prioridad de rehabilitación. Nash (1999 a y b) emplea su propio criterio experto, justificado con razonamientos sobre los datos obtenidos en campo y laboratorio, para calificar un total de 26 lugares en la cuenca del Río Animas y otros 17 en la cuenca del *Mineral Creek*, ambas en el condado de San Juan (Colorado). Dicho autor establece cuatro niveles de prioridad de

cara a la rehabilitación: H (alta prioridad), M (media prioridad), B (baja prioridad) y N (ninguna prioridad, es decir, se recomienda no actuar).

Más sistemático es el método descrito en Desborough & Fey (1997). Este método se sirve, por un lado, de la medida del pH y la suma de los contenidos en ppb de As, Cd, Cu, Pb y Zn medidos en soluciones que son producto de ensayos simples de lixiviación de residuos. Por otra parte se evalúan en toneladas americanas los tamaños de las escombreras o balsas que entran en la evaluación. En función de los valores obtenidos para los diferentes parámetros, se asignan valores de clase. Fey *et al.* (2000) comparan este método con otro más complejo, en el que el ensayo de lixiviación utilizado es el método EPA-1312 y se añade otro parámetro que es el contenido de hierro disuelto. Las clases y valores definidos en Desborough & Fey (1997) son los siguientes:

Cuatro clases se definen para el valor de pH:

- Clase 0 (valor 0): $\text{pH} > 6$
- Clase 1 (valor 1): pH entre 4,5 y 6
- Clase 2 (valor 2): pH entre 3,5 y 4,5
- Clase 3 (valor 3): $\text{pH} < 3,5$

Otras cuatro clases se definen para la concentración de elementos contaminantes:

- Clase 0 (valor 0): < 500 ppb
- Clase 1 (valor 1): entre 500 y 1000 ppb
- Clase 2 (valor 2): entre 1000 y 5000 ppb
- Clase 3 (valor 3): > 5000 ppb

En tamaño de los depósitos de residuos da lugar a otras tres clases:

- Clase 1 (valor 1): < 500 t
- Clase 2 (valor 2): entre 500 y 2500 t
- Clase 3 (valor 3): > 2500 t

Para cada estructura evaluada se suman los valores de clase. La suma puede variar entre 1 (mínimo potencial para la degradación de la calidad del agua) y 9 (máximo potencial para la degradación de la calidad del agua). Cada una de las clases se traduce en un símbolo reproducido sobre mapas, con lo que se obtiene de forma inmediata una visión de los lugares más problemáticos en relación con su entorno geográfico dentro de la cuenca hidrográfica en estudio.

Para terminar, es importante recalcar que los métodos empleados por el USGS son multidisciplinarios y se apoyan en el empleo de herramientas SIG para la georreferenciación y gestión de todos los datos. La información obtenida en Colorado (Río Ánimas) y Montana (Río Boulder) es muy extensa (además de los ya citados: Buxton *et al.*, 1997; Kimball *et al.*, 1999; U. S. Geological Survey, 1999), y ha sido ya empleada para el diseño de actuaciones de remediación. Entre otras cosas,

es de destacar el aprendizaje obtenido sobre cuáles son los datos y los métodos analíticos más efectivos y útiles para obtener una mejor idea de dónde y cómo actuar. El éxito de la iniciativa permite afirmar que la aproximación a los problemas existentes en territorios con abundante minería abandonada histórica y reciente desde una perspectiva de cuenca hidrográfica puede ser una fórmula válida para su adaptación a otros lugares, tanto de los Estados Unidos como del resto del mundo. En especial, la iniciativa AMLI, instrumentada para cuencas afectadas por explotaciones de minería metálica, puede ser un buen modelo para otros tipos de minería, como la de carbón, donde las descargas de aguas ácidas también suelen ser un grave problema ambiental. Las referencias recogidas al final de estas páginas pueden servir para un mejor conocimiento de los métodos de trabajo del USGS.

10.4. Diagnóstico ambiental de áreas mineras degradadas en Portugal

En noviembre de 1998 el *Instituto Geológico e Mineiro* de Portugal planteó el denominado "Proyecto de Evaluación de Riesgos Ambientales para la Rehabilitación de Minas abandonadas". En su primera fase, denominada Diagnóstico Preliminar, se realizó una prospección parcial de los pasivos ambientales del país, acompañada de una caracterización y jerarquización de los casos estudiados, como base para una fase posterior de diagnóstico definitivo, orientada ya a encarar los pertinentes proyectos de rehabilitación. En dicho trabajo fueron investigados, desde la perspectiva de sus efectos ambientales, los principales lugares con minería abandonada de Portugal, poniendo especial énfasis en aquellos donde estuvieron establecidas minas metálicas (Santos Oliveira *et al.*, 2002). La metodología seguida, con las adaptaciones convenientes, bien puede servir para la realización de trabajos de índole parecida en grandes regiones con minería abandonada. Debe quedar bien claro que el trabajo no se ocupó de toda la enorme variedad de casos existentes en Portugal, sino que se llevó a cabo una selección atendiendo a diversos criterios y se otorgó mayor significación a la minería metálica. Finalmente, se estudiaron 85 lugares mineros localizados de forma dispersa por todo el país, dividiendo el trabajo en tres zonas: norte, centro y sur. La descripción que sigue está tomada de Santos Oliveira *et al.* (2002).

Las metodologías de estudio aunaron diversas técnicas de apoyo a las observaciones *in situ*. Entre ellas, se contó con el muestreo y análisis en laboratorio de rocas, suelos, sedimentos, aguas, aluviones y residuos mineros. También se tomaron medidas de pH, conductividad, potencial redox y temperatura de aguas con equipo portátil. Las referencias utilizadas para valorar los resultados analíticos fueron, por un lado, los valores máximos admisibles (VMA) de calidad de agua de riego marcados en la ley portuguesa *Decreto Lei nº 236/98* y por otro, los niveles fijados por Reiman & Caritat (1998) para los elementos As, Cd, Pb, Cr, Ni, Co, Zn, Cu, Sb, Mo, Be, V, Al, y Mn. Se elaboraron cartografías, en las que se situaron o delimitaron los emplazamientos estudiados, y se rellenaron lo que se denominó Fichas de Diagnóstico Preliminar.

Con toda esta información se realizó una evaluación combinada de una serie de factores, valorando en una escala numérica de 1 a 3.

- Factores intrínsecos de mina

- Seguridad minera global (pozos, galerías, cortas, instalaciones mineras)
 - Grado 3: Inseguridad general
 - Grado 2: Poca seguridad general
 - Grado 1: Seguridad general razonable
- Dimensiones de la explotación minera (volumetría y tonelaje de los estériles, cantidad y extensión de los trabajos mineros)
 - Grado 3: Expresión significativa (más de un millón de toneladas de estériles, con independencia de la cantidad y extensión de los trabajos mineros)
 - Grado 2: Expresión media (entre medio millón y un millón de toneladas de estériles, con independencia de la cantidad y extensión de los trabajos mineros, o menos de medio millón de toneladas de estériles, pero con existencia de muchos trabajos mineros tanto en cantidad como en extensión)
 - Grado 1: Poca expresión (menos de medio millón de toneladas de estériles, acompañada de escasos trabajos mineros tanto en cantidad como en extensión)
- Características y estado de los residuos de la explotación y del tratamiento (granulometría, drenaje, estabilidad, parques de mineral o de productos tratados)
 - Grado 3: Influencia significativa de (por lo menos) uno, dos o tres parámetros
 - Grado 2: Influencia media
 - Grado 1: Influencia baja
- Química de los materiales geológicos sólidos (escombreras, sedimentos, aluviones, suelos) a la luz de los valores fijados como referencia
 - Grado 3: Contaminación elevada (significativamente por encima de los valores, por lo menos para uno de los elementos admitidos como más nocivos)
 - Grado 2: Contaminación media (por encima de los valores, por lo menos para uno de los elementos admitidos como más nocivos)
 - Grado 1: Contaminación débil o prácticamente inexistente (cerca o por debajo de los valores, para todos los elementos admitidos como más nocivos)
- Química de las aguas (superficiales y subterráneas) a la luz de los valores de referencia
 - Grado 3: Contaminación elevada (50% de los parámetros por encima de los VMA)

- Grado 2: Contaminación razonable (50% de los parámetros al nivel de los VMA)
 - Grado 1: Contaminación débil o prácticamente inexistente (todos los parámetros con valores inferiores o semejantes a los VMA)
- Impacto visual y paisajístico
 - Grado 3: Influencia significativa
 - Grado 2: Influencia media
 - Grado 1: Influencia baja
- Factores ambientales exteriores al sitio minero
 - Existencia e importancia de aglomeraciones de población (en un radio de 10 km)
 - Grado 3: Muy significativa
 - Grado 2: Moderadamente significativa
 - Grado 1: Poco significativa o inexistente
 - Ocupación del suelo y aprovechamiento de la tierra (agricultura, pastoreo, aprovechamiento forestal)
 - Grado 3: Muy significativa
 - Grado 2: Moderadamente significativa
 - Grado 1: Poco significativa o inexistente
 - Utilización del agua (consumo humano, riego, consumo por el ganado)
 - Grado 3: Muy significativa
 - Grado 2: Moderadamente significativa
 - Grado 1: Poco significativa o inexistente
 - Actividad piscícola (en ríos, lagos y embalses)
 - Grado 3: Muy significativa
 - Grado 2: Moderadamente significativa
 - Grado 1: Poco significativa o inexistente

Con vista a evaluar el conjunto de factores se consensuó una formulación de cálculo principal:

$$AP = \frac{5 \cdot \text{Seg} + 6 \cdot \text{Esc} + 8 \cdot \text{Imp} + 5 \cdot \text{Hum}}{24}$$

Donde, AP significa el valor total que permite la evaluación final de todos los elementos (minas) inventariados. Seg es un factor relativo a la seguridad (entre 1 y 3); Esc es un factor relativo a las escombreras; Imp es un factor que hace referencia al impacto químico, y Hum es el factor de presencia o incidencia sobre los seres humanos y su actividad. Los diferentes factores de la fórmula se calculan, a su vez, con las siguientes expresiones:

$$\text{Esc} = \frac{1 \cdot \text{Vol} + 2 \cdot \text{Est} + 2 \cdot \text{Quim}}{5}$$

$$\text{Imp} = \frac{3 \cdot \text{Sol} + 4 \cdot \text{Agu} + 1 \cdot \text{Vis}}{8}$$

$$\text{Hum} = \frac{1 \cdot \text{Pop} + 1 \cdot \text{OcS} + 1 \cdot \text{UtA} + 1 \cdot \text{Pis}}{4}$$

Donde, Vol se refiere al volumen de escombrera; Est es un factor que valora la estabilidad de escombreras; Quim hace referencia al quimismo de los residuos; Sol alude a la geoquímica de suelos y sedimentos, Agu refleja la hidroquímica; Vis valora el impacto visual y paisajístico; Pop refleja la proximidad a poblaciones; OcS valora la ocupación del suelo; UtA se refiere al uso del agua, y Pis valora la actividad piscícola.

Los valores finales de AP permitieron una jerarquización de todas las minas. Los autores consideraron adecuado a los objetivos del trabajo presentar los resultados agrupando en cuatro grados de peligrosidad:

- Grado 4: peligrosidad elevada
- Grado 3: peligrosidad media
- Grado 2: peligrosidad baja
- Grado 1: peligrosidad irrelevante

Con una simbología apropiada, se ha dado a conocer un mapa final de la distribución de las minas estudiadas y su grado de peligrosidad en Portugal. Se concluye que, con la metodología seguida, sólo un 14% de las minas se pueden considerar con peligrosidad elevada. Se recomienda para ellas la toma de medidas urgentes, previo paso por un diagnóstico definitivo.

10.5. Primeros trabajos para la restauración ambiental de la región del Bierzo (León, España)

En la cuenca carbonífera del Bierzo (provincia de León, España) existen numerosas estructuras (escombreras, instalaciones, balsas de lodos, bocaminas emisoras de drenajes ácidos) sin restaurar, así como cielos abiertos, sobre los que se han realizado prácticas de restauración con resultados muy variables. Todo ello da lugar a

impactos ambientales que afectan, en mayor o menor medida, a los ecosistemas y las cadenas tróficas. Uno de los impactos más importante es el que produce la generación de aguas ácidas, como consecuencia de la oxidación de la pirita, que acompaña al carbón. Este fenómeno da lugar a la acidificación de las aguas y la disolución de metales pesados que afectan a los ecosistemas acuáticos de los cursos fluviales, y que en algunos casos ha provocado incluso la total aniquilación de los mismos.

Teniendo en cuenta esta situación ambiental, el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) y el IGME (Instituto Geológico y Minero de España) firmaron un acuerdo cuyo objeto es iniciar la realización de una serie de trabajos relacionados con la restauración y recuperación ambiental de las áreas del Bierzo afectadas por las actividades mineras y las de generación termoeléctrica asociadas, temas ambos en los que tanto el IGME como el CIEMAT poseen capacidades y especialización. Para la definición, diseño y realización de dichos trabajos se consideró necesario, como fase previa, realizar un diagnóstico de la situación ambiental de la minería del Bierzo que ha consistido en la caracterización minero-ambiental de los focos contaminantes existentes en la cuenca carbonífera, así como la tipología de los impactos y su intensidad (IGME, 2007; Vadillo *et al*; 2007).

El trabajo se ha realizado mediante reconocimiento de campo de cada una de las estructuras, identificadas mediante foto aérea, conocimiento directo y a través de los fondos documentales propios del IGME. Para la realización del inventario se diseñó una batería de fichas de campo que consta de ocho fichas, rellenándose en cada lugar las que fueran necesarias:

- Ficha I: Situación de la estructura minera
- Ficha II: Caracterización minera y geotécnica de la/las escombrera/as
- Ficha II: (1) Caracterización minera y geotécnica de balsas
- Ficha III: Caracterización de huecos mineros o cielos abiertos
- Ficha IV: Caracterización de aguas de mina
- Ficha V: Situación de bocamina/as
- Ficha V(a): Caracterización de bocamina/as
- Ficha VI: Evaluación ambiental

Estas fichas han servido como base para la realización de un inventario de cada uno de los focos contaminantes en el que se ha incluido, además, una valoración del impacto ambiental. Se diseñó también una base de datos en formato digital que recoge las fichas recopiladas y la información generada por el inventario y los trabajos de campo. Esta base de datos permite la explotación y un mejor acceso a

la información; y constituye una herramienta de gran utilidad para el análisis, evaluación y diagnóstico minero-ambiental del conjunto de estructuras mineras inventariadas, y facilita el diseño de futuras actuaciones de restauración ambiental.

Para determinar las características de las aguas superficiales se ha recurrido a los datos de aguas de la Confederación Hidrográfica del Norte y de la *Red Integrada de Calidad de Aguas* (Red ICA) del Ministerio de Medio Ambiente de España. Esta red, sostenida por las confederaciones hidrográficas, obtiene datos analíticos mensuales mediante muestreo periódico en estaciones de muestreo manual. Del mismo modo, se llevó a cabo una caracterización hidroquímica, mediante equipos portátiles de campo, de cada uno de los drenajes provenientes de bocaminas, escombreras y balsas, así como de los ríos afectados por descargas de mina. Se realizaron campañas de muestreo durante un periodo mayor a un ciclo hidrológico, con equipos portátiles de campo para medir pH, Eh, oxígeno disuelto, conductividad, temperatura, caudal, turbidez, acidez, alcalinidad, Fe²⁺, Fe³⁺ y Fe total, datos que han sido incluidos en el Inventario Minero-Ambiental de la Cuenca del Bierzo. En el caso del Bierzo la generación ácida está directamente relacionado con la lixiviación de la pirita existente entre las fracturas de la pizarra, material predominante en las escombreras y zonas excavadas. La alcalinidad presente en las aguas naturales superficiales de la Cuenca del Bierzo se debe principalmente a bicarbonatos, por lo que, la capacidad para reaccionar con los hidrogeniones de los drenajes ácidos es reducida. Además, las litologías que conforman la cuenca aportan poca alcalinidad, por lo que presentan una baja capacidad de neutralización.

Como se ha comentado, una primera caracterización y valoración cualitativa del impacto ambiental se realizó mediante una matriz de identificación, descripción y evaluación de impactos ambientales de tipo causa/efecto que aparece en las fichas de campo (ver figura 16). El método aplicado para la elaboración de las distintas matrices de impacto para cada una de las estructuras mineras ha sido el siguiente:

- Se consideran por un lado, aquellas estructuras o infraestructuras mineras que pueden causar impactos sobre el medio, como: huecos, escombreras, instalaciones, pistas y balsas.
- Por otro lado, se ha desagregado el medio natural en ocho componentes: Agua, Procesos Geológicos, Suelo, Vegetación, Fauna, Usos del Suelo, Paisaje y Patrimonio Cultural. Y a su vez, estos componentes han sido desagregados en diversos factores ambientales sobre los que se van a evaluar los efectos de la actividad minera.
- A continuación, se han caracterizado estos efectos en cada factor ambiental mediante la estimación de su importancia.
- Por último, se ha valorado cualitativamente el impacto en cada factor ambiental, en una escala de valor de 0 a 4, en: compatible, moderado, severo y crítico.

Figura 16. Tabla de identificación de impactos incluida en las fichas de campo enpleadas en los primeros estudios desarrollados para la restauración ambiental de la región del Bierzo (IGME, 2007).

IMPACTO AMBIENTAL

Identificación de impactos

		HUECO	ESCOMBRERAS	INSTALACIONES	PISTAS	BALSAS	VALOR TOTAL (*)
AGUA	Modificación red de drenaje	IMP	PI				3
	Calidad del agua	PI	PI				2
PROCESOS GEOLÓGICOS	Inundaciones						0
	Erosión	PI	PI				2
	Sedimentación	PI	PI				2
	Deslizamientos, inestabilidad	PI	PI				2
SUELOS	Pérdida de suelo vegetal	IMP	PI				3
VEGETACIÓN	Eliminación vegetación	IMP	PI				3
FAUNA	Efectos en especies animales	PI	PI				2
USOS DEL SUELO	Efectos en caminos, dominio público						0
	Afección usos del suelo	IMP	PI				3
PAISAJE	Cambios en la morfología	IMP	PI				3
	Cambios en la estructura cromática	IMP	PI				3
PATRIMONIO CULTURAL	Efectos en el patrimonio cultural						0

Valoración: Poco Importante (PI); Importante (IMP);
 1 COMPATIBLE 2 MODERADO 3 SEVERO 3 CRÍTICO

Para la evaluación del Impacto Ambiental Global (IPG) de cada estructura minera inventariada se aplicó un método de desagregación en componentes. Esta metodología consta de las siguientes fases:

- *Identificación de los componentes que definen el Impacto Ambiental Global.* En este caso, el impacto global se ha desagregado en los siguientes componentes: Impacto sobre el Agua (IpAg), sobre los Procesos Geológicos (IpGeo),

sobre el Suelo (IpSue), sobre la Vegetación (IpVeg), sobre la Fauna (IpFau), sobre los Usos del Suelo (IpUso), sobre el Paisaje (IpPai) y sobre el Patrimonio Cultural (IpCul). Cada uno de estos componentes se ha desagregado en otros componentes de nivel inferior (figura 17).

- Evaluación individualizada de cada uno de los componentes por expertos temáticos, utilizándose una escala de valoración homogénea en todos ellos (0 a 4). El proceso de valoración se inicia en el nivel más bajo de desagregación.
- Determinación del peso o importancia relativa con que cada componente contribuye al valor de un componente de nivel superior, o bien, al valor total agregado o impacto global. Para ello, se ha recurrido al método Delphi de consulta haciendo intervenir a todos los miembros del equipo de trabajo, a fin de reducir la carga subjetiva inherente a dicho proceso.
- Obtención del valor del Impacto Ambiental Global mediante suma ponderada de los valores de los principales componentes, según la siguiente fórmula:

$$IPG = 0,3 \cdot IpAg + 0,1 \cdot IpGeo + 0,05 \cdot IpSue + 0,2 \cdot IpVeg + 0,05 \cdot IpFau + 0,05 \cdot IpUsos + 0,2 \cdot IpPai + 0,05 \cdot IpCul$$

Donde:

- IpAg = Impacto sobre las Aguas.
- IpGeo = Impacto sobre los Procesos Geológicos.
- IpSue = Impacto sobre los Suelos.
- IpVeg = Impacto sobre la Vegetación.
- IpFau = Impacto sobre la Fauna.
- IpUsos = Impacto sobre los Usos del Suelo.
- IpPai = Impacto sobre el Paisaje.
- IpCul = Impacto sobre el Patrimonio Cultural.

Los valores obtenidos como resultado de la aplicación de dicho índice se agrupan en cuatro clases o tipos de impacto (tabla 12) (Anexo I. Conceptos técnicos del Real Decreto 1131/1988):

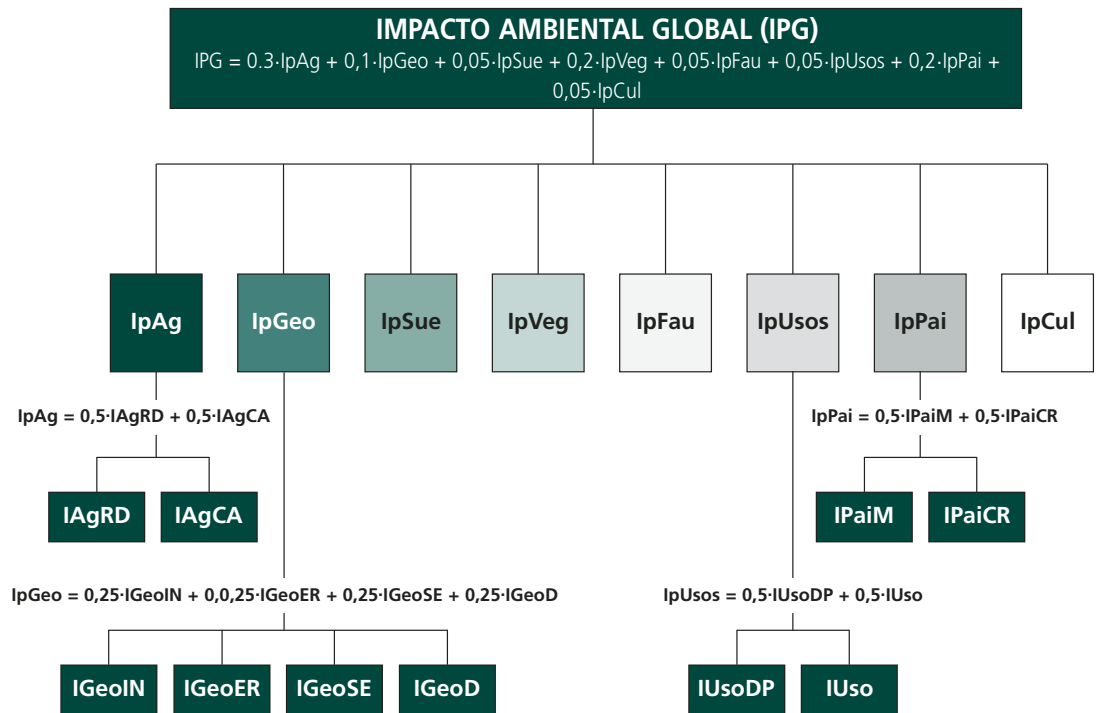
Tabla 12. Clases de impacto consideradas en la evaluación de los elementos del inventario realizado dentro de los primeros trabajos desarrollados para la restauración ambiental de la región del Bierzo (IGME, 2007).

VALOR IPG	TIPO DE IMPACTO
≤ 1	Compatible
> 1 a 2	Moderado
> 2 a 3	Severo
> 3	Crítico

La expresión espacial del inventario y la valoración de los impactos ambientales ha dado lugar a la generación de cartografías temáticas a distintas escalas, soportadas sobre un Sistema de Información Geográfica, lo que va a facilitar su consulta y actualización, así como la producción de cartografías derivadas. Se han realizado a escala 1/25.000 los siguientes mapas:

- Mapa de Inventario de Estructuras Mineras.
- Mapa de Impacto Ambiental de las Estructuras Mineras.

Figura 17. Esquema de desagregación en componentes de evaluación de impacto (IGME, 2007).



IpAg: Impacto sobre el Agua
 IpGeo: Impacto sobre los Procesos Geológicos
 IpSue: Impacto sobre el Suelo.
 IpVeg: Impacto sobre la Vegetación
 IpFau: Impacto sobre la Fauna.
 IpUsos: Impacto sobre los Usos del Suelo
 IpPai: Impacto sobre el Paisaje
 IpCul: Impacto sobre el Patrimonio Cultural

IAgRD: Impacto sobre la Red de Drenaje
 IAgCA: Impacto sobre la Calidad de las Aguas
 IGeoIN: Impacto sobre Inundaciones.
 IGeoER: Impacto sobre la Erosión.
 IGeoSE: Impacto sobre la Sedimentación.
 IGeoD: Impacto sobre Deslizamientos
 IUsosDP: Impacto sobre el Dominio Público
 IUsos: Afección usos del Suelo
 IPaiM: Impacto sobre la Morfología del Paisaje.
 IPaiCR: Impacto sobre la Estructura Cromática.

Además de esta producción cartográfica, se han realizado varios mapas temáticos de síntesis a escala 1/100.000:

- Mapa de Inventario de Estructuras Mineras de la Cuenca del Bierzo.
- Mapa de Impacto Ambiental de las Estructuras Mineras de la Cuenca del Bierzo.
- Mapa de Espacios Naturales de la Cuenca del Bierzo.
- Mapa de Calidad de las Aguas Superficiales en la Cuenca Minera del Bierzo. Valores de pH.
- Mapa de Propuesta de Áreas Significativas de Especial Actuación en la Cuenca Minera del Bierzo.

De los diferentes tipos de mapas generados, los denominados de impacto ambiental (figura 18) permiten obtener ya un claro elemento de juicio para la toma de decisiones. Esta cartografía temática muestra la valoración del impacto ambiental de cada una de las estructuras mineras sobre el medio, de manera cualitativa, en cuatro grados o categorías de impacto: compatible, moderado, severo y crítico, tal y como se definen en el Anexo I del Real Decreto 1131/1988 por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto 1302/1986 de Evaluación de Impacto Ambiental (ambos de la legislación española).

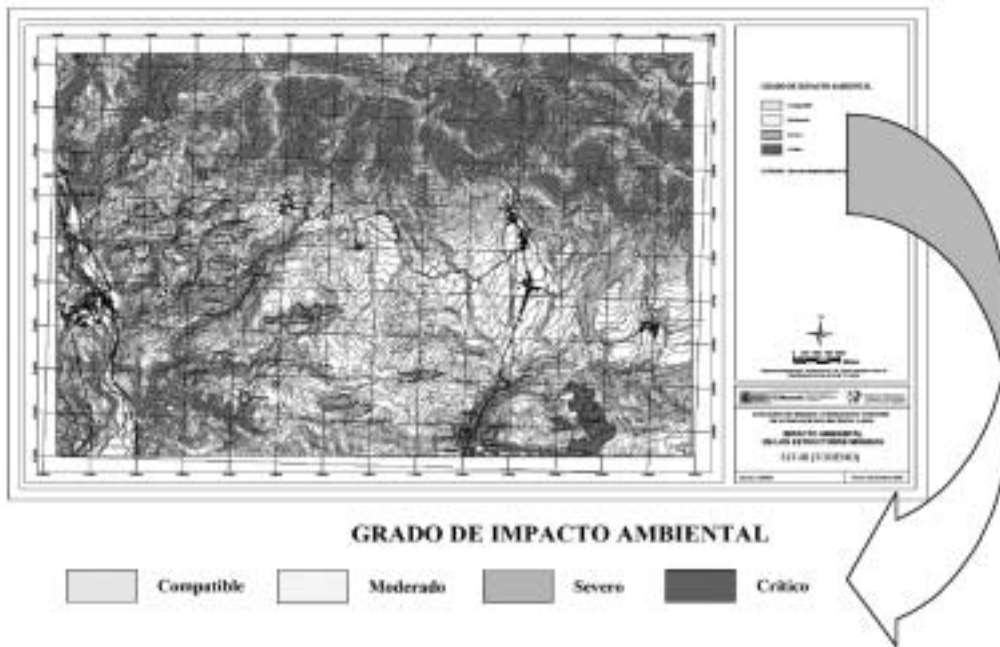


Figura 18. Mapa de Impacto Ambiental correspondiente a la hoja 1:25.000 127-III (Toreno, provincia de León) (IGME, 2007).

Otro de los mapas de mayor interés es en el que se muestra la calidad de las aguas superficiales en la cuenca minera del Bierzo, en función de la distribución de los valores de pH en cada punto muestreado según tres rangos o intervalos de pH:

- $\text{pH} < 3$
- $3 < \text{pH} < 5$
- $\text{pH} > 5$

En dicho mapa, se distingue, además, si los valores de pH se han obtenido de drenajes procedentes de bocamina, escombrera, balsa o directamente de los ríos afectados por descargas mineras. Por último, destaca el Mapa de Propuesta de Áreas Significativas de Especial Actuación en la Cuenca Minera del Bierzo (un ejemplo puede verse en la figura 19) en el que se señalan los emplazamientos en los que se considera prioritaria su restauración ambiental.

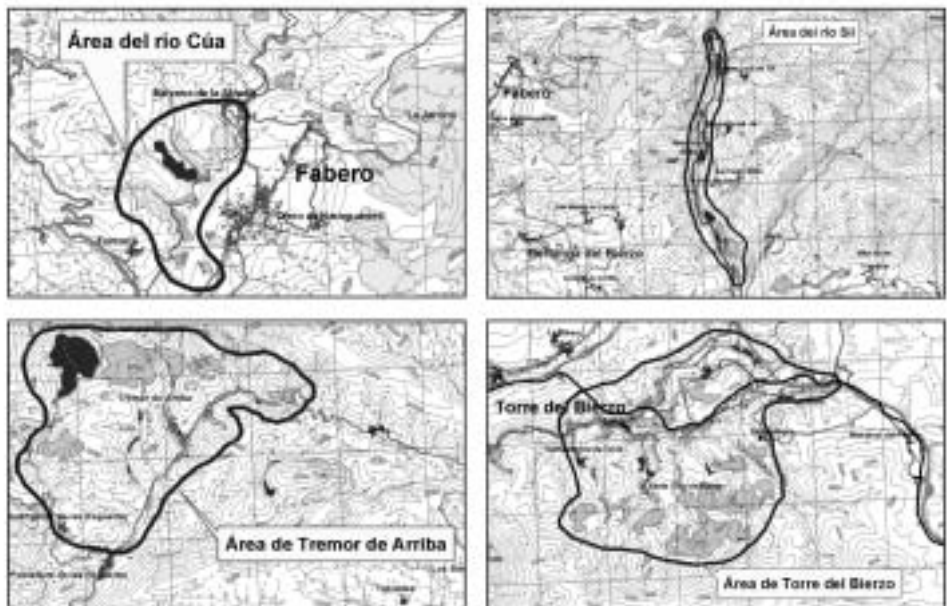


Figura 19. Propuesta de Áreas Significativas de Especial Actuación en la Cuenca Minera del Bierzo (IGME, 2007)

La evaluación del impacto ambiental global con la metodología descrita ha dado los siguientes resultados:

- De las 168 estructuras mineras que han sido inventariadas, 97 de ellas generan un impacto ambiental severo sobre el medio, esto es, más de la mitad del total de explotaciones (58%), y ocupan conjuntamente unas 1470 hectáreas.

- Las estructuras con impacto crítico ascienden a 19, esto es, el 11% del total de estructuras, y representan una superficie de ocupación de unas 339 hectáreas.
- Existen unas 50 estructuras con impacto moderado que representan el 30% del conjunto inventariado, y cuya superficie ocupada es de 2060 hectáreas. La alta extensión superficial (53% del total de superficie ocupada por estructuras mineras) del conjunto de estructuras clasificadas en este tipo de impacto, se debe fundamentalmente a que la denominada Gran Corta de Fabero se encuentra incluida en esta tipología.
- Por último, únicamente dos estructuras muestran un impacto compatible, siendo la superficie ocupada prácticamente testimonial (1 hectárea).

Epílogo

11. EPÍLOGO

La planificación territorial puede proporcionar instrumentos prácticos y provechosos para orientar la localización de explotaciones mineras en territorios con potencial geológico. Igualmente, la evaluación ambiental realizada desde una perspectiva territorial puede servir a los objetivos de rehabilitar los lugares alterados dispersos en grandes áreas que han sufrido el impacto acumulado de la explotación de sus recursos mineros.

La revisión, forzosamente incompleta, de una serie de estudios realizados en la Península Ibérica, Latinoamérica y los Estados Unidos permite mostrar que tales trabajos responden a una necesidad global, y que tal percepción es cada vez más universalmente asumida por las autoridades y gobiernos.

El punto de partida ineludible en cualquier proceso de toma de decisiones relacionadas con la distribución de las actividades extractivas, o con la distribución de recursos para la rehabilitación de los pasivos ambientales mineros es una valoración de alternativas de localización en el territorio, ordenando las opciones de mejor a peor. El tratamiento cartográfico de la información de carácter científico-técnico necesaria para sustentar las decisiones es fundamental, como también lo es ya el empleo de la herramienta SIG.



Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA

ALBERRUCHE E. (2002). El análisis de la fragilidad visual mediante SIG. En: IGME. 2002. *“Los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión de los Riesgos Geológicos y el Medio Ambiente”*. Madrid. Capítulo 11.

ALBERRUCHE E., ERREA M. P. y LAÍN L. (2001). Cartografía y análisis con Sistemas de Información Geográfica. En: IGME. 2001. *“El Medio Físico y su Peligrosidad en un Sector del Pirineo Central”*. Serie Medio Ambiente, nº 1. Madrid. pp. 103-106.

ALBERRUCHE E., MARTÍNEZ PLEDEL B., ARRANZ J. C. y BARETTINO D. (2003). La ordenación minero-ambiental como instrumento de integración de la actividad minera en el desarrollo sostenible. En: *“Actas del IV Congreso Internacional de Ordenación del Territorio”*. FUNDICOT y Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2003. pp. 105-108.

ARRANZ GONZÁLEZ J. C. (1995). La Restauración de Minas a Cielo Abierto. Ponencia presentada en las Jornadas sobre Restauración de Áreas Degradadas, organizadas por la Universidad de Valladolid y la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Castilla y León. Noviembre de 1995 (Palencia). Policopiado.

ARRANZ GONZÁLEZ J. C. (1996). Ordenación minero-ambiental y propuestas de restauración de las explotaciones en el yacimiento de pizarras de La Cabrera (León). Ponencias del *Seminário Internacional “Qualidade Industrial e Ecogestão na Indústria Mineral”*. Organizado por la *Delegação Regional da Economia do Alentejo*. Noviembre de 1996 (Évora, Portugal).

ARRANZ GONZÁLEZ J. C. (2002). *“Medio ambiente y actividades mineras a cielo abierto. Restauración de espacios degradados por minería a cielo abierto”*. Memorias del XXI Curso Internacional de Postgrado en Metalogenia. ISFIGEMPA, Universidad Central del Ecuador. pp. 1-26.

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). *“Actas del IX Congreso Internacional de Minería y Metalurgia”*. Tomo V. León 1994. Asociación Nacional de Ingenieros de Minas de España. pp. 247-270.

BALKAU F. (1999). Abandoned Mine Sites. Problems, Issues and Options. In: *“Protection of the Environment and Natural Resources”*. Natural Resources Management Unit Division. Report of the Berlin II International Roundtable of Mining and the Environment. S-40-43. Köln (Carl Duisberg Gesellschaft).

BARETTINO D. (1994). Ordenación minero-ambiental de recursos mineros. CD-ROM de Actas de las *“Ponencias de las I Jornadas sobre Minería y Medio Ambiente”*. Junta de Andalucía. Sevilla, 1994.

BARETTINO D. (2002). La explotación sostenible de los recursos minerales. Ponencias del *Seminario Europeo sobre “El desarrollo sostenible como base para la mejora de la salud y la seguridad en el trabajo dentro de las industrias extractivas”*. Oviedo (España). SHCMOEI, Comisión Europea.

BARETTINO D., ALBERRUCHE E. y RÍOS S. (1997). Integración del patrimonio geológico en el análisis del valor natural del territorio. El mapa de valor natural en el sector del Pirineo Central. *Rev. ZUBIA*, nº 15. Instituto de Estudios Riojanos. Logroño. pp 21-32.

BARETTINO D., ALBERRUCHE E., MULAS J., RÍOS S. y AZCÓN A. (2001). Valoración y análisis del territorio. En IGME. 2001. *“El Medio Físico y su Peligrosidad en un Sector del Pirineo Central”*. Serie Medio Ambiente, nº 1. Madrid. pp. 107-131.

BARETTINO D., ARRANZ J. C. y MARTÍNEZ PLÉDEL B. (1998). Ordenación Minero-Ambiental de los Recursos en el Sector de la Piedra Natural. CD.ROM de las *“Actas del II Congreso Internacional de la Piedra Natural”*. Madrid. España. 1998.

BARETTINO D., ARRANZ J. C., MARTINEZ-PLÉDEL B. y ALBERRUCHE E. (1994). Ordenación Minero-Ambiental del yacimiento de pizarra de La Cabrera (León). *“Actas del IX Congreso Internacional de Minería y Metalurgia”*. Tomo I. León 1994. Asociación Nacional de Ingenieros de Minas de España. pp. 509-532.

BARETTINO D., DONAIRE M., MARTÍNEZ-PLÉDEL B., ALBERRUCHE E., APARICIO M. y ARRANZ J. C. (1999). Mining and environmental planning of aggregate exploitation in Alhaurín de la Torre (Málaga). *“Proceedings of the International Congress on Mine, Water and Environment”*. IMWA. Sevilla. 1999. pp. 685-690.

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 L. Martins y P. Carrión (eds.): *“Integración de la Minería en la Ordenación del Territorio”*. ESPOL-CYTED, Guayaquil, Ecuador; pp. 139-152.

BARETTINO D., MARTÍNEZ-PLÉDEL B., ARRANZ J. C. y ALBERRUCHE E. (2005). La Ordenación Minero – Ambiental como instrumento para la integración de la actividad minera en la ordenación del territorio. Casos españoles de ordenación minero-ambiental de áridos. *“Ponencias del Encuentro Ibero-Americano Geología y Minería en la Planeación Regional”*, Chihuahua, Méjico, febrero de 2005.

BASCONES, M., GALLEGOS, E. 1993. Ordenación del territorio y actividades extractivas. Problemática geoambiental y desarrollo. V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Murcia. pp. 35-52.

BRIGGS P. H. and FEY D. L. (1996). Twenty-four elements in natural and acid mine waters by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. In: Arbogast, B. F. (ed.). *“Analytical methods manual for the Mineral Resource Survey Program”*. U. S. Geological Survey Open-File report 96-525, pp. 77-94.

BUXTON H. T., NIMICK D. A., VON GUERARD P., CHURCH S. E., FRAZIER A.G., GRAY J.R., LIPIN B. R., MARCH S. P., WOODWARD D. F., KIMBALL B. A., FINGER S. E., ISCHINGER L. S., FORDHAM J. C., POWER M. S., BUNCK C. M. and JONES J. W. (1997). *“A Science-based, Watershed Strategy to Support Effective Remediation of Abandoned Mine Lands”*. Fourth International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD) May 30-June 6, 1997, Vancouver, British Columbia, Canada.

CARVALHO J. (2004). "A Actuação do INETI no Sector das Rochas Ornamentais e Industriais do Alentejo - Situação Actual e Perspectivas Futuras". VI Congresso Internacional da Pedra Natural do Alentejo. Encontro Ibero Americano - Ordenamento Territorial e a Exploração de Rochas Ornamentais. Vila Viçosa, Outubro.

CEMAT (Conferencia de Ministros Responsables de Ordenación del Territorio). (1983). Carta Europea de Ordenación del Territorio). "Estudios Territoriales", 28:171-195.

CENDRERO A. (1988). Planificación ambiental y ordenación de usos del territorio. En IGME: "Geología ambiental". Publicaciones del IGME, Madrid, pp. 25-32.

CENDRERO A. y DÍAZ DE TERÁN J. R. (1987). The environmental map system of the University of Cantabria, Spain. In: P. Arnol y G. Luttig (eds.). "Mineral Resources extraction, Environmental Protection and Land-use Planning". Schwizervat Verlag, Stuttgart. pp: 149-181.

COLEGIAL GUTIÉRREZ J. D. (2004). "Evaluación Multicriterio para la Ordenación Minero-Ambiental de Áridos Naturales en la Cuenca del Río Jarama (Madrid)". Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Geológica, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Inédito.

DESBOROUGH G. A. and FEY D. L. (1997). "Preliminary Characterisation of Acid-generating Potential and Toxic Metal of some Abandoned Metal-mining Related Wastes in the Boulder River Headwaters, Northern Jefferson County, Montana". U. S. Geological Survey Open File Report 97-478. 20 p.

DÍAZ-REINOSO X., HOFFNER R. y PÁEZ-PÉREZ C. (2003). La pequeña minería y la ordenación territorial en Ecuador. En L. Martins y P. Carrión (Eds.): "Integración de la Minería en la Ordenación del Territorio". ESPOL-CYTED, Guayaquil, Ecuador; pp. 183-193.

DÍAZ DE TERÁN J. R. (1988). Tipos y metodologías de cartografías geoambientales o geocientíficas. En: ITGE. 1988. "Geología Ambiental". Serie Ingeniería Geoambiental. Madrid. pp. 239-257.

EASTMAN J. R., JIN W., KYEM A. K. and TOLEDANO J. (1995). Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions. "Photogrammetric Engineering & Remote Sensing", vol. 61, nº 5, pp. 539-547.

ESCUDEY M. y MARTINEZ E. (eds.). (1998). "Evaluación y Decisión Multicriterio: Reflexiones Y Experiencias". Editorial Universidad de Santiago, Santiago de Chile. 222 p.

FALÉ P., HENRIQUES P., MIDÔES C., CARVALHO E. J. (2006). O reordenamiento da actividades extractiva como instrumento para planeamiento regional: Vila Viçosa, Portugal. "Boletín Geológico y Minero", vol. 117, mm.z. pp. 277-288.

FEY D. L., DESBOROUGH G. A. and CHURCH S. E. (2000). Comparison of two leach procedures applied to metal-mining related wastes in Colorado and Montana and a relative ranking method for mine wastes. *"Proceedings of the Fifth International Conference on Acid Rock Drainage"*, Denver, Colorado (ICARD 2000), Vol. 2. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. pp. 1477-1487.

GARCÍA CORTÉS A., ARRANZ J. C., MARCHÁN C., MARTÍNEZ PLÉDEL B., MUÑOZ DE LA NAVA P., REGUEIRO M. y RUBIO J. (2006). Un plan nacional de áridos. Necesidad inaplazable. *"Libro de ponencias del 1º Congreso Nacional de Áridos"*, Zaragoza, España. pp. 517-530.

GÓMEZ OREA D. (1994). *"Ordenación del Territorio. Una aproximación desde el Medio Físico"*. Publicaciones IGME. Madrid, 238 p.

HAGEMAN P. L. and BRIGGS P. H. (2000). A Simple Field Leach Test for Rapid Screening and Qualitative Characterization of Mine Waste Dump Material on Abandoned Mine Lands. *"Proceedings from the Fifth International Conference on Acid Rock Drainage"*, Denver, Colorado, (ICARD 2000). Society for Mining Metallurgy and Exploration, Inc., Vol. 2, pp. 1463-1475.

HERNÁNDEZ CASTILLO J. R. (2001). Ordenación Minero-Ambiental de los recursos no renovables. El caso de Guayaquil (Ecuador). En: Calvo, B., M. Maya y J. L. Parra (eds.). *"Primeras Jornadas Iberoamericanas sobre Caracterización y Normalización de Materiales de Construcción"*. Programa CYTED. Madrid

IGME. (1995). *"Ordenación minero – ambiental del yacimiento de pizarras ornamentales de La Cabrera (León)"*. Informe inédito. Servicio de Documentación del IGME. Madrid. 7 tomos.

IGME. (2000). *"Ordenación minero – ambiental de la explotación de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga)"*. Informe inédito. Servicio de Documentación del IGME. Madrid. 6 tomos.

IGME. (2002). *"Ordenación minero – ambiental de la explotación de áridos de Camargo (Cantabria)"*. Informe inédito. Servicio de Documentación del IGME. Madrid. 4 tomos.

IGME. (2006). *"Investigación y Ordenación Minero-Ambiental de los recursos de roca ornamental en la Región de Murcia"*. Informe inédito. Servicio de Documentación del IGME. Madrid. 6 tomos.

IGME. (2007). *"Acuerdo específico de colaboración entre el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) para la restauración ambiental de la región del Bierzo"*. Informe inédito (incluye memoria, mapas, inventario de fichas y base de datos). Servicio de Documentación del IGME. Madrid. CD-ROM.

KIMBALL B. A., BENCALA K. E. and BESSER J. M. (1999). *"Synthesis of Watershed Characterisation of Making Remediation Decisions"*. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4018A. pp. 3-7.

LETOUZÉ-ZEZULA, G., KOÇIU, A., LIPIARSKI, P., PFLEIDERER, S., REITNER, H. 1996. *GIS-applications in order to protect aggregate resources by land use planning*. VI Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. pp. 103-109.

LOAYZA G. y CARRIÓN P. (2003). Metodología de la Ordenación Minero-Ambiental. Casos de aplicación: Península de Santa Elena y sector Zaruma-Portovelo (Ecuador). *"Revista Tecnológica"*, edición especial ESPOLCiencia 2003. pp. 257-269.

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 P. Arndt y G.W. Lüttig (eds.). *"Mineral resources extraction, environmental protection and land-use planning in the industrial and developing countries"*. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 7-13.

Mc KENZIE G. D. 1980. *Resource potential of abandoned surface mines*. In: Proceedings of 1980' Symposium on Surface Mining, Hydrology, Sedimentology and Reclamation. Univ. Kentucky. Lexington, KY. pp. 311-313.

MITCHELL C. W. (1973). *"Terrain Evaluation"*. Edit. Longman. London.

MARTINS L. (2004). Cartografia Temática e Ordenamento do Território do Anticlinal de Estremoz - Borba - Vila Viçosa. *"Rede Ibero-Americana Ordenamento do Território e Recursos Minerais, Encontro Ibero-Americano Ordenamento do Território e a Exploração de Rochas Ornamentais"*, Vila Viçosa, 14 e 15 de Outubro.

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). CD ROM de las *"Actas del XI Congreso Internacional de Industria, Minería y Metalurgia"*. Asoc. Nacion. de Ingenieros de Minas. Zaragoza (España).

MARTÍNEZ PLÉDEL B., ARRANZ J. C., ALBERRUCHE E. y BARETTINO D. (2006). Los proyectos de ordenación minero-ambiental de las rocas y minerales industriales. Algunos casos en España. *"Boletín Geológico y Minero"*, 117 (2): 305-316.

MARTINS J. (2005). *"Recuperação ambiental da área mineira de Aljustrel"*. Abst. III Encontro Comunidades Mineiras de Aljustrel, CM Aljustrel.

MATOS J. X. e MARTINS L. P. (2006). Reabilitação ambiental de áreas mineiras do sector português da Faixa Piritosa Ibérica: estado da arte e perspectivas futuras. *"Boletín Geológico y Minero"*, vol. 117, mm.z. pp. 289-304.

MÉNDEZ E. (1990). *"Gestión ambiental y ordenación del Territorio"*. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos naturales, 1990. Mérida, Venezuela.

NASH J. T. (1999a). *“Geochemical Investigations and Interim Recommendations for Priority Abandoned Mine Sites on U.S.D.A. Forest Service Lands, Mineral Creek Watershed, San Juan County, Colorado”*. U. S. Geological Survey Open File Report 99-170. 31 p.

NASH J. T. (1999b). *“Geochemical Investigations and Interim Recommendations for Priority Abandoned Mine Sites, BLM Lands, Upper Animas River Watershed, San Juan County, Colorado”*. U. S. Geological Survey Open File Report 99-323. 38 p.

NERO G. (2005). A problemática da recuperação ambiental das áreas mineiras degradadas a nível nacional. *“Abst III Encontro Comunidades Mineiras de Aljustrel”*, CM Aljustrel.

PANTOJA TIMARÁN F. (2003). Una visión de la minería del oro en pequeña escala en América Latina: problemas y soluciones. En: L. Martins y P. Carrión (eds.). *“Integración de la Minería en la Ordenación del Territorio”*. ESPOL-CYTED, Guayaquil, (Ecuador). pp. 193-206.

PRODEMINCA-SGAB. (2000). Plan Maestro Ambiental para la Cuenca del Río Puyango. Ministerio de Energía y Minas, Quito (Ecuador).

QUEREDA RODRIGUEZ-NAVARRO J. M. y SIGÜENZA AMICHIS F. (1996). Plan Director Marmoles de Macael. Objetivos, esquema de funcionamiento, desarrollo, principales logros obtenidos Ponencia presentada en *“Seminário Internacional “Qualidade Industrial e Ecogestão na Indústria Mineral”*. Organizado por la *Delegação Regional da Economia do Alentejo*. Noviembre de 1996 (Évora, Portugal).

SANTOS OLIVEIRA J. M., FARINHA J., MATOS J. X., ÁVILA P., ROSA C., CANTO MACHADO M. J., DANIEL F. S., MARTINS L. e MACHADO LEITE M. R. (2002). Diagnóstico Ambiental das Principais Áreas Mineiras Degradadas do País. *“Boletim de Minas, Lisboa”*, 39 (2): 67-85.

SMITH K. S., RAMSEY C. A. and HAGEMAN P. L. (2000). Sampling Strategy for the Rapid Screening of Mine-Waste Dumps on Abandoned Mine Lands. *“Proceedings from the Fifth International Conference on Acid Rock Drainage”*, Denver, Colorado, (ICARD 2000). Society for Mining Metallurgy and Exploration, Inc., Vol. 2, pp. 1453-1461.

SMITH, K. S., CAMPBELL D. L., DESBOROUGH G. A., HAGEMAN P. L., LEINZ W. R., STANTON M. R., SUTLEY S. J., SWAYZE G. A. and YAGER D. B. (2002). Toolkit for the rapid screening and characterisation of waste piles on abandoned mine lands. In: R. R. Seal II and N. K. Foley (eds.). *“Progress on Geoenvironmental Models for Selected Mineral Deposit Types”*, Chapter C. U. S. Geological Survey Open-File Report 02-0195.

SOBREIRO S., CARVALHO J., VINTÉM C., HENRIQUES P., FALÉ P., SAÚDE J., MIDÕES C., LUÍS G., BONITO N., ANTUNES C., DILL A e MARTINS L. (2003). Recursos Minerais e o Ordenamento do Território - o caso do Anticlinal de Estremoz. "V Congresso Internacional da Pedra Natural do Alentejo". Vila Viçosa. 10 p.

STENESTAD E. & SUSTRAC G.(1994). The role of geoscience in planning and development. In: Lumsden, G.I. (ed.): "Geology and the Environment in Western Europe". Oxford Academic Press, Londres, pp. 281-301.

U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (2002). "Restoration of Abandoned Mine Sites. Final Work Plan". U. S. Army Corps of Engineers, Omaha District. Omaha, Nebraska.

USEPA (2000). "Abandoned mine site characterization and cleanup handbook". U.S. Environmental Protection Agency. EPA-910-B-00-01. 129 p.

USEPA (2004). "Reference Notebook". U.S. Environmental Protection Agency, Abandoned Mine Lands Team. 79 p.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY (1999). "The USGS Abandoned Mine Lands Initiative, Protecting and Restoring the Environment Near Abandoned Mine Lands". U.S. Geological Survey Fact Sheet 095-99.

VADILLO, L., E. ALBERRUCHE, C. MORENO, O. ADUVIRE, J. C. ARRANZ, M. LACAL, B. MARTÍNEZ y A. DE LA LOSA. Evaluación del impacto ambiental de la Cuenca Minera del Bierzo. Ponencia presentada en el XII Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales. Oviedo del 7 al 11 de Octubre de 2007.

ZOIDO F. (1998). Geografía y ordenación del territorio. "Íber, Didáctica de las ciencias sociales. Geografía e Historia", núm. 16, pp. 19-31.

