

MINERÍA, MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO.

Daniel Baretino

Dr. Ingeniero de Minas

Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio

Comunidad de Madrid

c) Princesa, 3.

28008 MADRID

daniel.baretino@madrid.org

1. LA MINERÍA Y EL MEDIO AMBIENTE EN LA SOCIEDAD ACTUAL

La sociedad en general ha ido formándose en los últimos años la idea de que la extracción y aprovechamiento de los recursos minerales y la protección del medio ambiente son antagonistas, y que la actividad minera se traduce en la destrucción del medio natural y en la generación de problemas ambientales por contaminación, que pueden incluso llegar a afectar a la salud humana.

La minería es percibida por el ciudadano medio como una actividad tremendamente agresiva con su entorno, que conduce a la degradación irreversible del territorio. Esta percepción tiene mucho que ver con el pasivo ambiental que la actividad minera histórica ha legado a las generaciones actuales y futuras. Con anterioridad a la década de los 80 del siglo XX, tiempo en el que la sociedad, y por tanto su Administración, empieza a considerar realmente que la actividad extractiva de los recursos minerales debe efectuarse preservando los valores del medio ambiente, el resultado final de las explotaciones mineras se traducía en muchos casos en ríos y aguas marinas contaminados por drenajes ácidos, metales pesados, sales, carbón, o sólidos en suspensión, con afección severa a los ecosistemas fluviales y marinos, contaminación de suelos y sedimentos, modificación de la red natural de drenaje superficial, modificación o contaminación de acuíferos, pérdida de los suelos y vegetación natural, afección a la fauna natural, modificación de la fisiografía y del paisaje con la creación de huecos, escombreras, presas y balsas de estériles, y la presencia de edificaciones y estructuras mineras que acababan convirtiéndose en ruina industrial.

Un recorrido por las zonas de minería intensiva abandonada en los distritos históricos españoles, por ejemplo, en Sierra de Cartagena - La Unión (Murcia) o la Faja Pirítica (Huelva y Sevilla), muestra al visitante un catálogo de imágenes impactantes, difíciles de borrar de la memoria, acerca de cómo puede llegar a degradarse un territorio minero abandonado si no se abordan labores de restauración y recuperación de usos del suelo. Pero la responsabilidad de esta imagen negativa de la minería no recae únicamente en la gran minería metálica o energética. El entorno de los núcleos urbanos y de las vías de comunicación se encuentra jalonado por multitud de cicatrices ocasionadas por antiguas canteras y graveras, que se abrieron para cubrir la demanda de materiales de construcción originada por el crecimiento de esas ciudades y por la creación y mantenimiento de esas infraestructuras de transporte, y que no han sido restauradas, contribuyendo a la imagen de la minería como actividad fuertemente agresiva con el paisaje, y por ende, con el medio ambiente.

Además, los graves accidentes mineros que han ocurrido en el mundo en los últimos tiempos, especialmente en nuestro país el acaecido en Aznalcóllar por la rotura de la balsa de lodos mineros en el mes de abril de 1998, han causado un gran impacto en la sociedad, contribuyendo a empeorar aún más esa mala imagen del sector.

Sin embargo, hoy en día es factible que la actividad minera se pueda ejercer sin ocasionar graves efectos medioambientales. Tanto en nuestra legislación sectorial minera, como en la ambiental, existen en la actualidad instrumentos de prevención y corrección ambiental que tienen como fin la minimización de los impactos ambientales negativos de los proyectos mineros. La evaluación de impacto ambiental del proyecto y la elaboración del plan de restauración de los terrenos afectados por la explotación minera, requisitos previos a la autorización de la actividad, son dos elementos que permiten a la Administración velar para que los efectos ambientales adversos se eliminen o reduzcan a un mínimo razonablemente admisible.

La experiencia que se ha ido adquiriendo en los últimos años en la introducción de medidas correctoras de impactos ambientales permite hoy afirmar que existen en el mercado una gran variedad de soluciones técnicas a los diferentes problemas ambientales que se presentan en una mina o cantera. La lucha contra el polvo y el ruido, el tratamiento de efluentes líquidos de la mina y de los procesos de concentración de minerales, o de tratamiento, elaboración y fragmentación en canteras de piedra natural o áridos, el diseño de los depósitos de estériles y balsas de decantación de lodos de final de proceso, los nuevos tratamientos para estos lodos, son asuntos en los que se ha avanzado enormemente, y para los que pueden encontrarse un amplio abanico de métodos, técnicas y equipos diversos que pueden ser adaptados a las necesidades propias de cada proyecto minero.

Se puede afirmar también que la necesidad de minimizar los efectos ambientales adversos ha tenido como consecuencia que en estos últimos años, de manera paulatina, haya ido cambiando la propia concepción de los proyectos mineros, al tener que incorporar desde las fases iniciales los factores y condicionantes ambientales. Los proyectos se plantean ahora buscando las mejores soluciones y alternativas para prevenir y minimizar los impactos ambientales, comenzando con el propio diseño de la explotación como mejor medida preventiva, y los costes de las medidas correctoras de impacto ambiental del proyecto se han incorporado como una partida más en los estudios de viabilidad de la explotación.

Hoy tenemos ejemplos en todos los sectores de la actividad extractiva (minería energética, metálica, no metálica, áridos y piedra natural) de una explotación de los recursos minerales acorde con las exigencias de protección de nuestro medio ambiente y preservación de los elementos valiosos del medio natural que la propia sociedad impone.

Por otra parte, la explotación y utilización de los recursos minerales ha estado presente en la evolución del hombre desde sus orígenes, y ha sido motor impulsor del desarrollo y progreso de la humanidad. A lo largo de la historia, el nivel de dependencia de las sociedades más desarrolladas con respecto a los recursos minerales siempre ha sido muy alto. Hoy en día, este nivel de dependencia sigue siendo muy elevado. Los recursos minerales son imprescindibles para un gran número de actividades económicas: la industria aeronáutica, automovilística, naval, de bienes de equipo, electrónica e informática, de fabricación de herramientas, del vidrio, de la cerámica, química, petroquímica, de recubrimiento de superficies, de fabricación de papel, alimentaria, farmacéutica, cosmética, la generación de energía, la construcción, las obras públicas, incluso la agricultura y ganadería, consumen en mayor o menor medida recursos minerales.

En el mantenimiento del alto nivel de calidad de vida actual en las sociedades más avanzadas, y en el crecimiento de los países en desarrollo, el consumo de materias primas minerales juega un papel fundamental. Así, en el comienzo del nuevo milenio, en los 15 países de la Unión Europea (antes de

la incorporación de los nuevos diez estados miembros) el consumo de materias primas minerales era de unas 30 t/habitante/año.

En Estados Unidos de Norteamérica, en el año 2007 el consumo de recursos minerales fue de 21 t/habitante/año, y se estima que un norteamericano medio a lo largo de su vida necesitará unas 1.630 t de recursos minerales. Lejos de lo que podría pensarse por la puesta en marcha de políticas de fomento de la reutilización y reciclado de los residuos, en el periodo 1995 – 2007 el consumo de recursos minerales en EEUU ha tenido una tendencia al alza cercana al 14%, con una evolución casi paralela a la población, que se incrementó el 14,8% (Mineral Information Institute , 2008).

Sirva también de indicador de la importancia de los recursos minerales para el desarrollo la cifra de consumo de áridos en España, que alcanza los 11 t/habitante/año, según los datos de la Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos (ANEFA). Hay que tener en cuenta que para fabricar 1 m³ de hormigón son necesarias entre 1,8 y 1,9 t de áridos, que para la construcción de una vivienda unifamiliar son necesarias unas 400 t de áridos, para construir una escuela de tamaño medio unas 3.000 t, para construir 1 km de línea de ferrocarril son necesarias unas 11.400 t si es convencional y 15.000 t si es de alta velocidad, y para construir 1 km de autopista unas 30.000 t. (UEPG, 2007; ANEFA, 2008; García Cortés *et al.*, 2006).

Aunque la OCDE trazó hace ya algún tiempo para los países industrializados un objetivo a largo plazo de disminución del consumo de materiales en un factor 10, los datos y análisis efectuados sobre el flujo global de materias primas en las economías industriales apuntan más bien a que, lejos de disminuir, el consumo de recursos naturales minerales ha aumentado gradualmente (Adriaanse *et al.*, 1997).

Por otro lado, vivimos en una economía cada vez más global, donde en muchos casos los recursos naturales son extraídos en un país, transformados en otro, y finalmente consumidos en un tercero. Los impactos ambientales más importantes se originan en la extracción de los recursos minerales, mientras que el mayor valor añadido se obtiene en su transformación. Europa consume un tercio de los recursos minerales producidos en el mundo, pero rara es la sustancia que se extrae en esa proporción en el continente; los áridos, la piedra natural, el feldespato y, en menor medida, el estroncio, son las excepciones. La extracción de la mayor parte de las materias primas minerales en Europa no alcanza el 5% de la producción mundial (García Cortés, 2008).

En conclusión, se presenta hoy una situación en la que la sociedad tiene una enorme dependencia de los recursos minerales, tanto mayor cuanto mayor es su grado de desarrollo, con una previsión de que esa dependencia no se va a reducir significativamente a medio plazo, pero existe en ella un rechazo generalizado hacia las explotaciones mineras. La sociedad española puede servir como un buen ejemplo donde este rechazo está muy enraizado.

Parece que, consciente o inconscientemente, las sociedades más desarrolladas, al obstaculizar el acceso a sus recursos minerales, están desviando a los países en desarrollo los problemas ambientales que genera la extracción de dichos recursos, y no son estos países los mejor posicionados para enfrentarse a ellos, al disponer de menos recursos económicos, tener menor desarrollo tecnológico y no disponer de una administración pública robusta para abordar estos problemas. Se les endosan los mayores problemas ambientales y se les priva de obtener un mayor desarrollo económico y social, al estar ubicada la transformación de los recursos minerales en los países industrializados, por lo que se les está induciendo a un modelo de desarrollo no sostenible y limitado, en contra de lo que se predica desde el año 1.992 cuando se impone el concepto de desarrollo sostenible.

2. LA INCORPORACIÓN DE LA MINERÍA A LAS ESTRATEGIAS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Cabe plantearse la pregunta de que si para en verdad adoptar modelos de desarrollo sostenible a escala de planeta, nuestras sociedades más desarrolladas no deberían corresponsabilizarse de los problemas ambientales que puede plantear la extracción de los recursos minerales, permitiendo el acceso a ellos en sus territorios siempre que se haga bajo una estrategia de sostenibilidad, además de fomentar que en los países en desarrollo, éste sea concebido con las mismas bases.

La cuestión clave para responder de manera afirmativa a esta pregunta pasa por la integración de la actividad minera en las estrategias para el desarrollo sostenible.

En este punto, después de hablar de cómo la minería es percibida por la sociedad desde un punto de vista ambiental, tiene interés plantearse también la cuestión de cómo percibe el sector minero al medio ambiente. En este sentido, las conclusiones de un diagnóstico sobre la problemática ambiental en la industria extractiva no energética, efectuado por primera vez en nuestro país por las propias asociaciones empresariales de la minería metálica, de minerales industriales, productores de áridos y de la piedra natural, y recogido en un estudio coordinado y publicado por el Instituto Geológico y Minero de España (Barettino, Obis y Espí, *eds.*, 2005), identifican las siguientes debilidades y carencias del propio sector minero, así como los factores externos, que han conducido a la situación actual, y condicionan la evolución futura del sector en esta materia. Estas debilidades son:

- Legislación muy numerosa y no homogénea
- La ordenación del territorio no considera en la mayoría de los casos a la actividad extractiva, o bien la posterga
- Mala imagen de la minería en la sociedad
- No existe un marco estable de comunicación entre las partes interesadas en el aprovechamiento de las materias primas minerales
- Actitud reactiva de la mayor parte de las empresas ante el medio ambiente
- Carencia, casi generalizada, de responsables de la gestión medioambiental dentro de los organigramas de las empresas
- Escasa formación y sensibilización medioambiental, incluyendo a los cuadros profesionales, en la mayor parte de las empresas mineras
- Escasa inversión en investigación, desarrollo e innovación minero-ambiental
- Pasivo medioambiental importante en las zonas mineras tradicionales
- Falta de medios profesionales en las Administraciones mineras
- Minifundio en la mayor parte del sector minero
- Escasa preocupación por la exploración de nuevos recursos

Para conseguir que la minería se integre en los esquemas del desarrollo sostenible, y la industria extractiva se desarrolle bajo las premisas de la sostenibilidad económica, social y ambiental, se deberían acometer por parte de todos los actores involucrados una serie de iniciativas y acciones clave, que se exponen a continuación:

- Integración de la industria extractiva en la ordenación territorial, a partir de un balance entre la potencialidad del territorio desde el punto de vista del aprovechamiento de sus recursos mineros y la vulnerabilidad del medio ambiente ante la actividad extractiva, y de la compatibilidad con otros usos del suelo concurrentes. Para ello, se considera que la

Administración debe afrontar la realización de planes y programas de ordenación minero – ambiental, siendo el ámbito de actuación óptimo el autonómico.

- Fomento de la exploración e investigación de los recursos minerales y rocas industriales con el fin de que el conocimiento sobre los mismos sea lo suficientemente elevado para que la integración de la actividad extractiva en la Ordenación Territorial sea óptima. No se puede ordenar con criterios minero – ambientales la explotación de los recursos minerales si no se posee previamente un adecuado nivel de conocimiento de los mismos: su distribución geográfica, sus características geológicas, sus características físico – químicas que condicionan sus usos posteriores, el volumen de recursos y reservas, etc.
- Fomento de la investigación y desarrollo en modelos de explotación, métodos y tecnologías de aprovechamiento, gestión de residuos, medidas correctoras y de restauración de máxima rentabilidad y seguridad, y mínimo impacto ambiental. Un buen resultado de esta línea de actuación sería poder disponer de una base de documentos sobre las mejores técnicas disponibles en todas y cada una de las fases de la operación extractiva, base documental que habría que mantener actualizada.
- Reducción de la generación de residuos mineros, tanto en la propia explotación, como en las plantas de concentración o instalaciones de transformación y elaboración del producto final, para lo cual se deben abordar los siguientes objetivos:
 - o Incremento de los ratios de aprovechamiento, para lo que es necesario la I+D+i, tanto en la extracción, como en los procesos de concentración o de elaboración.
 - o Fomento de la valorización de los residuos mediante:
 - Puesta en oferta de estos materiales para usos potenciales ya conocidos.
 - I+D+i para la utilización de estos residuos en otros usos.
- Fomento de la gestión sostenible en las empresas mineras, promoviendo la utilización de los diferentes instrumentos de gestión medioambiental de la empresa: indicadores de sostenibilidad, evaluación de riesgos ambientales, sistemas de gestión medioambiental, análisis de coste – beneficio ambiental, análisis del ciclo de vida, memorias de sostenibilidad, etc.
- Incorporación en los planes y programas nacionales de I+D+i de las necesidades identificadas para el sector minero, estableciendo áreas en materia minero – ambiental y en innovación tecnológica para el desarrollo de tecnologías limpias en minería.
- Fomento de la formación superior de los trabajadores de la industria extractiva, con el fin de lograr una mayor competitividad.
- Promoción del diálogo entre todas las partes involucradas en la industria extractiva: empresarios, trabajadores, administraciones sectoriales, ONGs, mediante la creación de un marco estable para el diálogo.

3. LA MINERÍA Y LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Uno de los principales problemas que se plantea hoy en día para el abastecimiento de los recursos minerales que necesita nuestra sociedad es la dificultad de acceso a dichos recursos, dificultad que estriba en multitud de ocasiones en la no consideración de estos recursos en la planificación de usos del territorio. Veamos ahora cómo se podrían integrar los recursos minerales, y su explotación, en la ordenación del territorio, acción que se considera clave para la integración de la minería en las estrategias de desarrollo sostenible.

La extracción de los recursos minerales a cielo abierto implica generalmente unos períodos de ocupación de los terrenos que no superan los 20 ó 30 años, salvo casos especiales como los grandes yacimientos metálicos. El abandono de estas áreas se debe efectuar de una forma juiciosa y responsable, de manera que los terrenos afectados vuelvan a ser útiles para un determinado uso, sin perjudicar al medio ambiente. Por lo tanto, las operaciones extractivas deben ser consideradas como usos del suelo transitorios y no terminales, por lo que es necesario reacondicionar los terrenos afectados para alcanzar un equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación de la naturaleza.

En nuestros días, la idea de que la garantía para adoptar un modelo eficaz de desarrollo sostenible en un determinado ámbito geográfico de gestión (nación, región o municipio) reside en una adecuada ordenación del territorio, es una idea ampliamente asumida, por lo menos desde un punto de vista teórico.

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 ligadas a la ocurrencia y descubrimiento de los yacimientos y depósitos minerales.

La ordenación del territorio, desde un punto de vista conceptual, tal y como se define en la Carta Europea de Ordenación del Territorio, *es la expresión espacial de la política económica, social, cultural y ecológica de una sociedad*. Es un proceso a través del cual se analizan los factores físico-naturales y socioeconómicos de un área geográfica, se determinan las formas de uso que se consideran idóneas para cada parte de la misma, se define la amplitud y localización y se establecen las normas que han de regular el uso del territorio y los recursos de dicho área (Cendrero, 1988).

Por otra parte, la ordenación del territorio tiene como fin distribuir actividades en el espacio de acuerdo con un plan, dentro del marco de una estrategia de desarrollo económico, social, cultural y ambiental, y según un triple principio (Gómez Orea, 1994):

- adaptación de la actividad a la capacidad de acogida del medio
- optimización de las interacciones entre las actividades a localizar, en el espacio y en el tiempo.
- uso múltiple del territorio: superposición de las actividades compatibles en espacio y tiempo, aproximando las complementarias y alejando las incompatibles.

El concepto de *capacidad de acogida* es fundamental en la ordenación del territorio, y es la clave para que esta ordenación conduzca a un desarrollo socioeconómico equilibrado, a la mejora de la calidad de vida, a la gestión responsable de los recursos naturales, a la protección de los valores ambientales y, en definitiva, al uso y aprovechamiento racional del territorio. En el análisis de la capacidad de acogida de un territorio para una determinada actividad se efectúa el balance entre la

aptitud o potencialidad de dicho territorio para el buen desarrollo de la actividad, y la fragilidad o vulnerabilidad de medio ambiente ante ella.

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 los impactos ambientales generados por ellas, de la capacidad de acogida del medio, y del grado de compatibilidad entre los diferentes usos de los recursos naturales, dentro del marco de una estrategia de desarrollo económico, social, cultural y ambiental.

A diferencia de otros tipos de actividades humanas, en las que se puede estudiar y analizar la localización óptima para su implantación dentro de un ámbito territorial, en la minería la puesta en marcha de la actividad extractiva está condicionada por la localización y existencia de los recursos mineros. En la mayoría de los casos, la localización viene prefijada por la ubicación de los recursos, determinando el espacio físico donde implantar la explotación minera. Cuando se presentan estos casos no cabe más análisis que el de la viabilidad económica y ambiental del proyecto minero en la única localización posible, que es aquella donde se ubica el yacimiento. Este es el caso de la minería metálica y energética. Sin embargo, dado que este tipo de recursos minerales tiene un alto valor económico unitario, el compromiso entre explotación y protección ambiental puede alcanzarse en estos yacimientos, cuyo carácter es de anomalías geológicas localizadas en ciertos lugares específicos y escasos de la corteza terrestre, 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.

El aprovechamiento minero de los recursos geológicos entra en fuerte competencia con otros usos del suelo. Ejemplo de esta fuerte competencia se presenta en la extracción de áridos en las grandes urbes. Este tipo de operación minera se tiende a emplazar en las proximidades de las ciudades, que son importantes núcleos de consumo, dado el bajo valor unitario de este tipo de recurso, y la gran incidencia que el coste de transporte tiene sobre el precio final de venta del material. Por ello, la actividad extractiva entra en competencia con la urbanización, la industria, la agricultura, el esparcimiento y recreo para la población, el transporte, la conservación de biotopos, la utilización de los acuíferos para abastecimiento, etc., para la ocupación del suelo, en áreas donde éste es un bien escaso, y donde la operación minera puede entrar en conflicto con otros usos del suelo.

No obstante, a pesar de existir estos importantes conflictos de usos del suelo en áreas donde éste es un recurso escaso, en ciertos tipos de recursos mineros, en los que existe relativa abundancia, se puede plantear el estudio y análisis de alternativas de localización de la actividad minera dentro del ámbito territorial considerado, en el marco de la ordenación territorial, es decir, en función de la capacidad de acogida del medio y del grado de compatibilidad con los otros usos de los recursos naturales.

Como ya se ha indicado, algunos tipos de rocas y minerales industriales se presentan en la naturaleza con relativa abundancia y amplia distribución geográfica. Este es el caso de los recursos de áridos, tanto naturales como de machaqueo, calizas, y algunos tipos de arcillas. En menor grado, las rocas ornamentales, fundamentalmente pizarras, granitos y mármoles, también se presentan con relativa abundancia, en unas áreas más localizadas geográficamente que en los casos anteriores, pero con suficiente extensión superficial como para poder plantearse la selección de los emplazamientos más adecuados para la apertura de canteras, en el marco de la ordenación territorial.

Por lo tanto, la actividad extractiva de estos recursos mineros debe contemplarse en el marco de la ordenación del territorio, pero al mismo tiempo, ésta debe tener en cuenta los aspectos y peculiaridades propios de dicha actividad. La falta de este conocimiento básico geológico-minero en los planes de ordenación del territorio ha conducido, en numerosas ocasiones, a imponer fuertes restricciones al acceso a los recursos geológicos para su explotación, por lo que parte de éstos quedan bloqueados o “esterilizados” por haber sido asignado al terreno otro uso (Stenestad y Sustrac, 1994). Un buen ejemplo de ello es que únicamente el 30 % de los recursos de arenas y gravas de Francia y Alemania son accesibles para su explotación por imposición de la planificación territorial (Lüttig, 1987). Por otro lado, se pueden bloquear las zonas con materiales de ciertas calidades y especificaciones técnicas para algunas utilidades como materia prima, mientras se asigna el uso minero a zonas con recursos que no cumplen los estándares de calidad, o donde no existe la cantidad necesaria para satisfacer la demanda futura de estos materiales.

Es evidente pues, que para llevar a cabo una adecuada planificación y ordenación territorial, en lo que a actividad minera se refiere, es necesario previamente:

- Conocer a fondo y delimitar geográficamente aquellas zonas del territorio que son soporte de los diferentes recursos mineros, caracterizando la calidad y cantidad de los diferentes recursos.
- Analizar el consumo actual y la previsión de la demanda futura de estos recursos.
- Analizar las características propias y los condicionantes técnico-económicos que presenta la explotación minera de los diferentes tipos de recursos geológicos.

4. PROBLEMÁTICA GENERAL DEL SECTOR DE LOS ÁRIDOS

Una de las características propias del sector de los áridos es la proximidad de las explotaciones a los centros de consumo (núcleos urbanos), y a las obras lineales de comunicación (carreteras, ferrocarriles, vías fluviales), por lo que son foco de constante observación y comparación con su entorno paisajístico y natural.

En cuanto a los áridos de machaqueo, en España un alto porcentaje de las canteras existentes tiene sus dimensiones exteriores reducidas y condicionadas por el grado de tecnificación. Su ubicación preferencial es a medida ladera, con frentes de altura comprendida entre 10 y 80 m, con uno ó dos bancos de trabajo (Sanz Contreras, 1992).

Los yacimientos detríticos de áridos naturales se encuentran generalmente asociados a los sistemas fluviales actuales, en zonas de terrazas y llanuras aluviales. Los principales problemas ambientales que presenta la explotación de estos yacimientos radican en la afección a los ecosistemas fluviales y de ribera, y en los conflictos con otras actividades, ya que se ubican en zonas de gran fertilidad agrícola, donde es frecuente que tengan también su emplazamiento los principales asentamientos humanos.

La extracción de áridos por debajo del nivel freático genera, en todos los casos, un importante impacto ambiental residual, al crear una laguna artificial. Este hecho tiene como consecuencia la pérdida de suelo en el territorio, generando en el mismo unas áreas a las que sólo se les puede dar un uso recreativo y, en algunos casos, de reservas de aves acuáticas tras el abandono de la explotación. Se pueden alterar, así mismo, los niveles freáticos de los acuíferos, así como la calidad de las aguas de los mismos y de los cursos superficiales.

Si la extracción de áridos se lleva a cabo sin profundizar hasta el nivel freático, la explotación puede y debe ser compatible con otros usos del suelo, entre ellos el agrícola, ya que se pueden recuperar los suelos afectados por la actividad extractiva. El diseño de la explotación coordinada con el Plan de Restauración, mediante un Estudio de Impacto Ambiental previo, permite la recuperación de los terrenos, en algunas ocasiones con mejora de las condiciones iniciales del suelo (Vadillo y Baretino, 1992).

Este hecho se pone de manifiesto en la actualidad en algunas vegas, donde es práctica común que el propietario arriende unos terrenos de uso agrícola con la condición de que al final del plazo de explotación según contrato, el terreno deberá ser devuelto en condiciones de ser nuevamente utilizado para la actividad agraria.

Se puede afirmar, pues, que para hacer compatible la satisfacción de la demanda de estos materiales con la protección y salvaguarda del medio natural, en la explotación de los recursos de áridos deben tenerse en cuenta criterios de ordenación territorial. En principio, una actitud racional a nivel global exige la minimización del número de extracciones, seleccionando aquellas zonas alternativas de menor incidencia en el medio, siguiendo además el criterio de su ocultación parcial o total, en función de la calidad del paisaje, desde áreas o corredores de frecuente observación.

5. PROBLEMÁTICA GENERAL DEL SECTOR DE LAS ROCAS ORNAMENTALES

En el sector de las rocas ornamentales, donde las pizarras, los granitos y los mármoles tienen el mayor peso, se presenta, en general, una problemática común. La explotación de estos recursos en España ha ido adquiriendo una importancia económica creciente desde la década de 1960, cuando comienza un desarrollo espectacular de las explotaciones como consecuencia del fuerte aumento de la demanda externa. Hasta esas fechas, la explotación tenía un carácter marcadamente artesanal, en pequeñas canteras con reducidas producciones.

En las áreas de máxima explotación los yacimientos se han venido atacando desde un gran número de pequeñas canteras, correspondientes a derechos mineros de muy reducida extensión superficial, muy concentrados en áreas concretas. Estas canteras han ido creciendo y dotándose de medios de producción cada vez más modernos a medida que ha ido aumentando la demanda, quedando en numerosas ocasiones constreñidas por la mínima superficie de los derechos mineros. Este hecho ha generado problemas para la ampliación de estas canteras una vez agotados los bancos de explotación, así como en la ubicación de los vertederos de escombros, máxime si se tienen cuenta la importante generación de estériles que se produce en este tipo de minería.

Si a estos hechos se añade la falta de tradición minera previa en este sector, el resultado se traduce, en general, en una problemática que se puede resumir en los siguientes puntos:

- Merma en el rendimiento económico de la explotación a causa de la falta de investigación de los recursos y de las reducidas dimensiones de los derechos mineros.
- Problemas originados por la ubicación de los estériles, por los mismos motivos citados en el punto anterior. En algunas ocasiones, la continuidad de la explotación queda hipotecada por la ubicación de las escombreras sobre zonas con recursos explotables. En aquellas áreas de máxima concentración de explotaciones en pequeñas superficies se han generado problemas de

invasión con escombros en derechos mineros adyacentes, e incluso graves problemas de seguridad minera.

- Graves problemas de seguridad en las canteras, fundamentalmente en el sector de la pizarra, debido a la falta de estudios geotécnicos en los importantes desmontes que se han tenido que acometer.

Como conclusión se puede afirmar que en numerosas ocasiones faltan criterios racionales en el diseño y planificación de la explotación.

Desde el punto de vista ambiental también existe, en general, una grave problemática, íntimamente relacionada con esa falta de criterios racionales en el diseño y planificación de las explotaciones. Estos problemas tienen su origen en:

- el muy bajo ratio de aprovechamiento en la mayoría de estos recursos, lo que supone la generación de un importantísimo volumen de escombros.
- las reducidas dimensiones de los derechos mineros han impedido el diseño óptimo de los vertederos de escombros, efecto que se acentúa cuando existen fuertes pendientes.
- el no haber tenido en cuenta los factores ambientales en el diseño y planificación de la explotación, lo que ha impedido la adecuada restauración de los terrenos.
- la gran concentración de explotaciones en áreas muy reducidas ha acentuado la magnitud de los impactos ambientales. En algunas ocasiones se ha llegado a extremos de degradación máxima e irreversible del medio.
- la apertura de explotaciones en lugares y parajes de alto valor natural.

En este tipo de minería, dentro de los aspectos ambientales hay que tener también en cuenta los procesos e instalaciones de transformación y elaboración del producto final vendible, pues en ellos se producen también importantes impactos ambientales.

En algunas áreas en las que hay una gran atomización de canteras en espacios muy reducidos (por ejemplo en los mármoles de Macael (Almería), donde existen unas 90 canteras activas en un área de 4 x 2 km), se han elaborado Planes Directores con el fin de lograr una mayor racionalización y planificación en las explotaciones, mediante la realización de proyectos globales de infraestructura, proyectos conjuntos de explotación y asesoramiento técnico a las canteras (Quereda *et al.*, 1992).

Para estas áreas con gran concentración de explotaciones, el camino a seguir para intentar paliar la problemática anteriormente enumerada pasa por la elaboración de estos Planes Directores, en los que se deben contemplar también los aspectos ambientales, principalmente en lo que atañe a la restauración de los terrenos afectados.

En aquellos casos de existencia de recursos explotables en zonas donde no se ha llegado a explotar intensamente, la puesta en marcha de la actividad extractiva se debe efectuar con criterios de ordenación del territorio, seleccionando, en función de la demanda, aquellas áreas explotables de mínima incidencia ambiental.

6. LOS ESTUDIOS DE ORDENACIÓN MINERO – AMBIENTAL

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) comenzó en el año 1993 a desarrollar una línea de trabajo denominada “*ordenación minero – ambiental de los recursos minerales*”, cuyo fin primordial es sentar las bases para hacer compatible la optimización del aprovechamiento de los recursos mineros con la minimización de los impactos ambientales.

Los estudios y proyectos de ordenación minero – ambiental se plantean con los siguientes objetivos:

- elaboración de un Mapa de Ordenación Minero – Ambiental, que sirva de base para la integración de la actividad minera en los planes de ordenación territorial.
- diseño de explotaciones de manera que el aprovechamiento de los recursos sea de la forma más racional y segura, con la menor afección al medio ambiente.
- definición de criterios y modelos de restauración de los terrenos afectados por la actividad minera.

El desarrollo de este *Mapa de Ordenación Minero – Ambiental* ha supuesto un importante paso 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, combinando ambos enfoques para lograr de forma simultánea el óptimo aprovechamiento los recursos con los mínimos efectos sobre el medio. En el mapa se definen y delimitan sobre las áreas con recursos potencialmente explotables diferentes categorías para una propuesta de ordenación: zonas de protección ambiental, donde no es recomendable la explotación, y zonas explotables con diferentes niveles de prioridad.

Con el diseño de explotaciones tipo se persigue la optimización de la rentabilidad de la explotación, la mejora de las condiciones de seguridad en las explotaciones y la minimización de los impactos sobre el medio ambiente. El contenido técnico de este bloque de los estudios de ordenación minero – ambiental incluye 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.

El tercer bloque de estos estudios tiene como finalidad establecer los criterios y modelos de restauración de las explotaciones tipo. Su contenido técnico incluye la determinación del uso del suelo más recomendable, la remodelación y preparación de superficies, los drenajes, las enmiendas edáficas, la selección de especies vegetales, los métodos y técnicas de plantación y siembra, el programa y secuencia de operaciones y de seguimiento y control.

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

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

En cuanto a su ámbito geográfico de aplicación, éste es variable, pudiendo variar desde el nivel regional, con escalas de trabajo desde la 1:200.000 a la 1:50.000, al nivel comarcal o supramunicipal, con escalas entre la 1:50.000 y la 1:10.000, hasta el nivel local, con escalas 1:10.000 ó superiores. En la Tabla 1 se incluyen los estudios de ordenación minero – ambiental realizados por el IGME.

ESTUDIO	RECURSO	RESULTADOS	MAPA DE ORDENACIÓN MINERO – AMBIENTAL		PLAN DIRECTOR	
			Superficie (ha)	Escala	Superficie (ha)	Escala
LA CABRERA (LEÓN) 1995	Pizarra para techar	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa de Ordenación Minero – Ambiental • Modelos de Explotación • Modelos de Restauración 	84.450	1:25.000	-	-
ALHAURÍN DE LA TORRE (MÁLAGA) 2000	Áridos	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa de Ordenación Minero – Ambiental • Modelos de Explotación • Modelos de Restauración • Plan Director 	3.200	1:10.000	1.368	1:5.000
CAMARGO (CANTABRIA) 2002	Áridos	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa de Ordenación Minero – Ambiental • Modelos de Explotación • Modelos de Restauración • Plan Director 	3.946	1:10.000	1.120	1:5.000
MURCIA 2005	Mármol Comercial	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa de Ordenación Minero – Ambiental • Modelos de Explotación • Modelos de Restauración 	199.600	1:50.000	-	-

Tabla 1.- Estudios del IGME de Ordenación Minero – Ambiental

Una descripción y discusión sobre las claves metodológicas de los estudios de ordenación minero – ambiental del IGME se encuentra en el trabajo de Martínez Plédel (2008).

En la actualidad, el IGME está llevando a cabo, en colaboración con la Administración de la Comunidad de Navarra, un estudio de ordenación minero – ambiental del sector de los áridos en la zona occidental de la Ribera del Ebro (Navarra), donde se va a realizar un *Mapa de Ordenación Minero – Ambiental* a la escala 1: 25.000.

En España, además de los trabajos del IGME, el Gobierno de La Rioja, en el marco del Plan Director de las Actividades Mineras en la Comunidad Autónoma de la Rioja (PLAMINCAR), ha realizado el *Mapa de Compatibilidad Minero Ambiental de La Rioja*, y las *Directrices de Ordenación Minero Ambiental de La Rioja*, que se presentan en esta jornada por sus responsables.

Se han realizado también estudios y mapas de ordenación – ambiental en Ecuador, por un equipo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) de Guayaquil, siguiendo la metodología diseñada en el IGME, tanto en el sector Zaruma – Portovelo de la Provincia del Oro, aplicado a recursos minerales metálicos, como en la Península de Santa Elena en recursos no metálicos (Loayza y Carrión, 2003).

En Austria, el Servicio Geológico austriaco desarrolló una metodología propia para realizar el “*Mapa de Protegibilidad de los Recursos de Áridos*” a escala 1:20.000 (Letouzé-Zezula *et al.*, 1996), siendo estos mapas utilizados por el Departamento Provincial de Ordenación Territorial de Alta Austria. Este mapa representa las zonas del territorio donde se debe dar prioridad a la explotación de áridos para satisfacer la demanda de estas materias primas, protegiendo estas zonas y reservándolas para la actividad extractiva futura. La definición de estas zonas se basa también en un modelo de impacto ambiental – aptitud del territorio para la explotación de sus recursos minerales.

En Portugal, el Instituto Geológico y Minero (IGM, actualmente integrado en el INETI: Instituto Nacional de Ingeniería, Tecnología e Innovación) ha desarrollado un *Mapa de Reordenación de la Actividad Extractiva*, con una metodología también basada en un análisis y balance de los factores geológico – mineros y los factores ambientales, y ha realizado estos mapas a escala 1:5.000 para los recursos de mármol en el Anticlinal de Estremoz (Falé *et al.*, 2006)

7. CASOS DE ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL EN ESPAÑA

En este apartado se tratarán los casos de proyectos de ordenación minero – ambiental en que el autor participó dirigiendo los trabajos desde el IGME, proyectos que tuvieron su inicio en el año 1993, y que se desarrollaron hasta el año 2005. Un resumen extenso de los resultados de estos proyectos se puede consultar en la publicación de Martínez Plédel *et al.* (2006).

Tal y como se aprecia en la Tabla 1, se han realizado dos estudios de ordenación minero-ambiental de la explotación de áridos, uno de ellos en la provincia de Málaga, y el otro en la Comunidad de Cantabria, tal y como se puede observar en la Fig. 1. En el primero de ellos, dentro del municipio de Alhaurín de la Torre, situado muy próximo a la ciudad de Málaga, en las siete canteras existentes se concentraba el 80% de la producción total de áridos de la provincia, estimándose la producción anual en dicha zona de 9 a 12 millones de toneladas. Esta producción alimentaba 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 el municipio de Camargo se concentraba el 41 % de la producción de áridos de Cantabria, estimándose en unos 3,5 millones de toneladas la producción anual en dicha municipalidad. Esta producción abastecía la demanda del sector de la construcción fundamentalmente de la ciudad de Santander, de unos 200.000 habitantes y situada muy próxima a Camargo, así como la demanda originada por las obras públicas en Cantabria.



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

En ambos casos se trata de zonas donde han radicado canteras de áridos desde hace décadas, pero que el crecimiento demográfico en ambas grandes ciudades, y sobre todo el cambio cultural experimentado por la población orientándose a la vivienda unifamiliar en el extrarradio de las urbes, ha provocado que la urbanización desde dichas urbes se haya extendido hacia los municipios productores de áridos. De esta manera, en la actualidad estas áreas productoras de áridos se encuentran rodeadas de urbanizaciones y complejos residenciales, que están ejerciendo una fuerte presión urbanística sobre las explotaciones. Hay una fuerte oposición al mantenimiento de la actividad extractiva, y más aún a su ampliación en el futuro, existiendo importantes conflictos entre los habitantes de estas urbanizaciones, las empresas productoras de áridos, los ayuntamientos, los órganos de la administración, tanto minera como ambiental, las organizaciones no gubernamentales, etc. Por estos motivos, los órganos competentes en materia de minería de las administraciones regionales de Andalucía (Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Junta de Andalucía) y de Cantabria (Dirección General de Industria del Gobierno de Cantabria), con el soporte científico y técnico del IGME, abordaron la realización de sendos proyectos de ordenación minero-ambiental.

En cuanto a las rocas ornamentales, se han realizado el estudio de ordenación minero-ambiental de las pizarras para techar de La Cabrera (León), y el estudio de los mármoles de la Región de Murcia. En la Fig. 1 se indica la localización de las áreas de trabajo de estos dos estudios.

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

Así como en la comarca orensana de Valdeorras existen numerosas explotaciones mineras de pizarra, en la actualidad hay pocas explotaciones activas en el área de La Cabrera, concentrándose éstas en las zonas de San Pedro de Trones, Sotillo-Benuza y Lago de la Baña. Aún así, estas canteras de La Cabrera produjeron en el año 2003 unas 130.000 t que se destinaron a la exportación, con un valor de 57,8 millones de euros. Esta producción supuso el 21 % en peso de la exportación

de pizarras españolas, y un 19 % de su valor económico (datos provenientes de FDP, 2003; y elaboración propia).

En las áreas de máxima explotación, el yacimiento de pizarra se ha venido atacando desde un gran número de pequeñas canteras, correspondientes a derechos mineros de muy reducida extensión superficial, muy concentrados en áreas concretas. En estas zonas de minifundio y concentración de explotaciones los efectos ambientales han sido muy adversos, con importantísimos impactos sobre la red fluvial, vegetación fauna y ecosistemas, y un elevadísimo efecto negativo sobre el paisaje. Hay que tener en cuenta que el muy bajo ratio de aprovechamiento de estos recursos supone la generación de un importantísimo volumen de escombros, que acaban cegando la red de drenaje superficial, o bien tapizando las laderas de los valles.

La investigación geológica del Sinclinal de Truchas puso de manifiesto la existencia de una importante cantidad de recursos de pizarra técnicamente explotables para cubiertas, demostrándose la existencia dentro de la Comarca de La Cabrera de los niveles de pizarra explotados actualmente en la Comarca de Valdeorras. Dicha investigación, finalizada en el año de 1.990, tuvo como resultados la identificación y caracterización de los niveles potencialmente explotables, así como una cartografía geológico-minera a escala 1:50.000 para todo el Sinclinal, y a escala 1:10.000 para algunos sectores (ITGE, 1990).

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

La Región de Murcia se encuentra entre las zonas productoras de mármol (en su denominación comercial) más importantes de España, alcanzando el 14% de la producción nacional, con 135 canteras y una producción de 775.000 toneladas en el año 2003, cuyo valor fue de 200 millones de euros, lo que supuso el 6 % de la facturación total del sector de la Piedra Natural en España (FDP, 2003). Ello es debido a su gran potencial geológico, que ofrece más de 50 variedades comercializadas de mármol y areniscas, siendo la región que pone en el mercado una mayor variedad de litologías con aprovechamiento para uso ornamental. El gran prestigio en mercados tanto nacionales como internacionales, alcanzado por variedades como el Crema Marfil, Rojo Quípar, y Marrón Imperial, ha favorecido además el gran desarrollo experimentado recientemente por esta industria, así como una importante tasa de exportaciones. Por otro lado, la explotación de este recurso ha generado problemas ambientales que están relacionados fundamentalmente con la ubicación de los yacimientos, y con el contraste de las canteras con el medio circundante, incluyendo un impacto paisajístico importante.

La Región de Murcia tiene una extensión de 11.317 km², que supone el 2,24 % del territorio nacional español, con una población de 1.197.646 habitantes. Dentro de la Región se seleccionaron 5 áreas susceptibles de ordenación minero-ambiental en cuanto a los recursos de roca ornamental que en ellas se encuentran (Fig. 2), cuya superficie total acumulada es de unos 2.000 km². Algunas de las zonas poseen una gran concentración de explotaciones, mientras que en otras apenas se encuentran canteras. Sin embargo, es necesario estudiar estas últimas debido a la existencia de recursos potencialmente explotables.

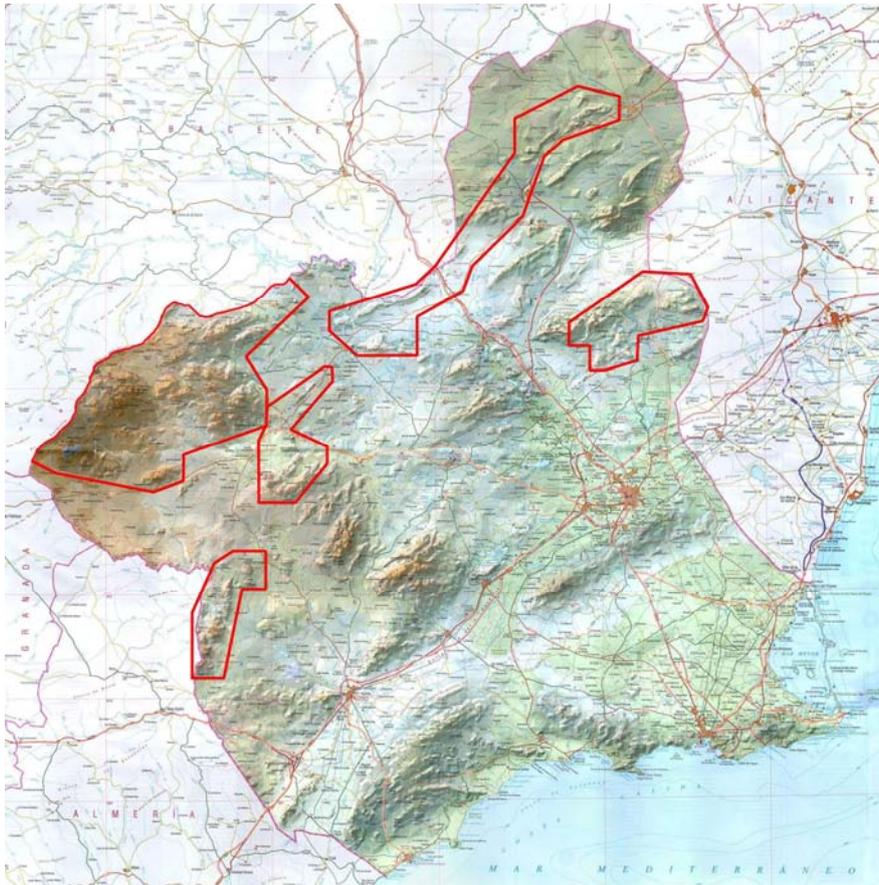


Figura 2.- Delimitación de las 5 zonas de la Región de Murcia donde se centró la investigación y ordenación minero-ambiental de las rocas ornamentales.

Por ello, desde la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Región de Murcia se ha abordado 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..

8. EL MAPA DE ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL

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

El análisis de la capacidad de acogida se efectúa a partir de un modelo de impacto/aptitud (Gómez Orea, 1994) ante la actividad minera, para lo que es necesario disponer de una información cartográfica con el suficiente nivel de calidad, rigor científico y detalle, tanto geológico – minera, como de los diferentes elementos que componen el medio ambiente: vegetación, suelos, aguas, fauna, paisaje, etc. En la Fig. 3 se muestra el esquema metodológico general desarrollado para la realización de mapas de ordenación minero – ambiental. El sistema metodológico tiene dos fases o etapas fundamentales denominadas “diagnóstico territorial” y “zonificación del territorio”. Para alimentar el sistema es necesario disponer de información y cartografías temáticas de los diferentes elementos que constituyen el medio, que integran el denominado “inventario ambiental”, así como una caracterización geológica y tecnológica de los diferentes tipos de recursos potencialmente explotables, junto con su delimitación geográfica en un mapa de recursos. También es necesario disponer de la caracterización técnica y ambiental de la explotación minera de los recursos, con el fin de identificar la problemática que ésta induce desde ambos puntos de vista.

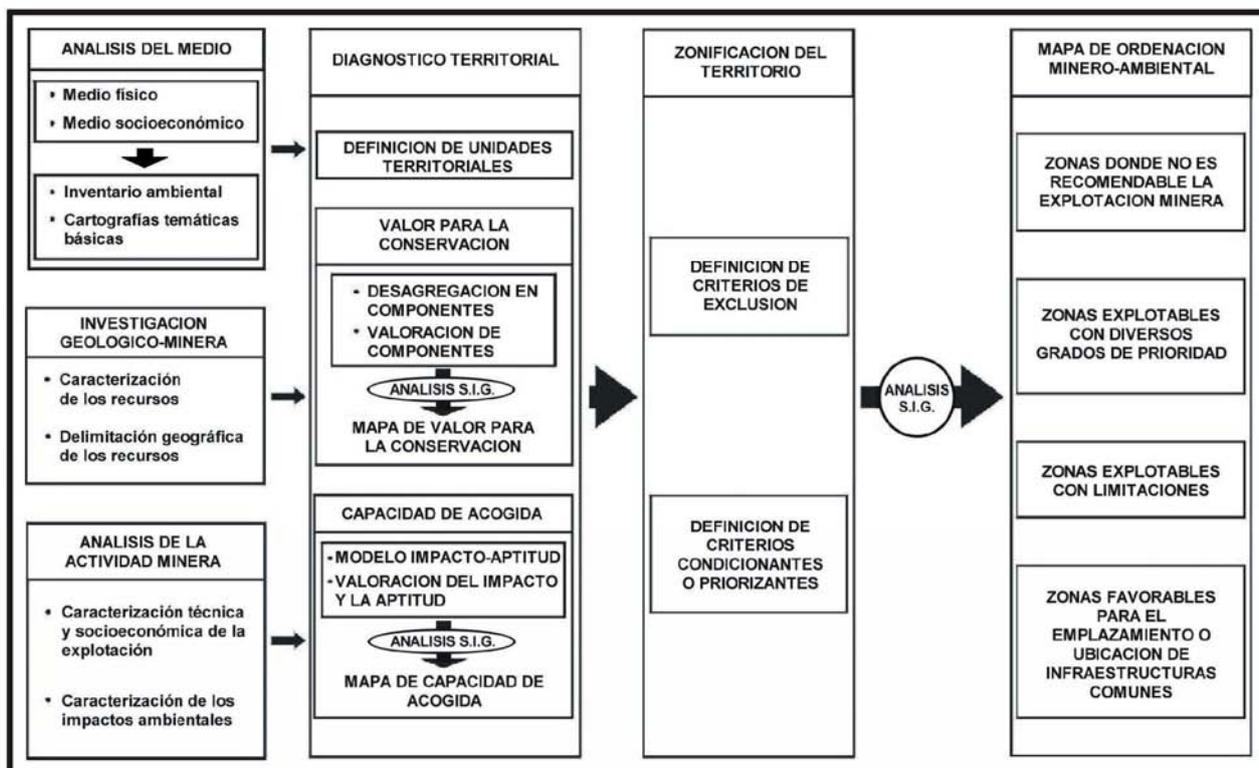


Figura 3.- Esquema metodológico para la realización de mapas de ordenación minero – ambiental (Barettino *et al.*, 2003)

El objetivo de la fase de diagnóstico territorial es el análisis de la capacidad de acogida del territorio, expresado éste por medio de unidades territoriales, denominadas también como unidades de integración (Gómez Orea, 1994), para la actividad minera. Este análisis se efectúa a partir de un modelo impacto/aptitud, valorando ambos sobre cada unidad territorial. Para la evaluación del impacto se parte de un análisis del valor natural o valor para la conservación. Se ha diseñado un sistema en el que las evaluaciones del valor natural, impacto y aptitud se realizan por desagregación en componentes, y asignación de coeficientes de ponderación a cada componente. La utilización de escalas de valoración y coeficientes de ponderación normalizados para todos los componentes a evaluar permite que los resultados intermedios y finales de las valoraciones sean siempre homogéneos y fácilmente comparables y manejables. Con el uso de un SIG en el proceso se consigue un alto grado de automatización en las evaluaciones, así como la posibilidad de obtener de manera automática mapas de valoración de cualquiera de los componentes evaluados. Una descripción detallada de la metodología desarrollada para la fase de diagnóstico territorial puede consultarse en el trabajo de Alberruche *et al.* (2006)

En la fase de Zonificación del Territorio soporte de los recursos de rocas y minerales industriales, éste se zonifica de cara a la explotación minera en función de la capacidad de acogida, y por la aplicación de criterios excluyentes y condicionantes para la actividad extractiva (por ejemplo, protección a núcleos habitados, protección de ecosistemas fluviales, protección de yacimientos arqueológicos, protección de formaciones vegetales de alto valor, incidencia visual, etc.). En la Fig. 4 se muestra el esquema seguido para la zonificación del territorio en el estudio de los áridos de Alhaurín de la Torre .

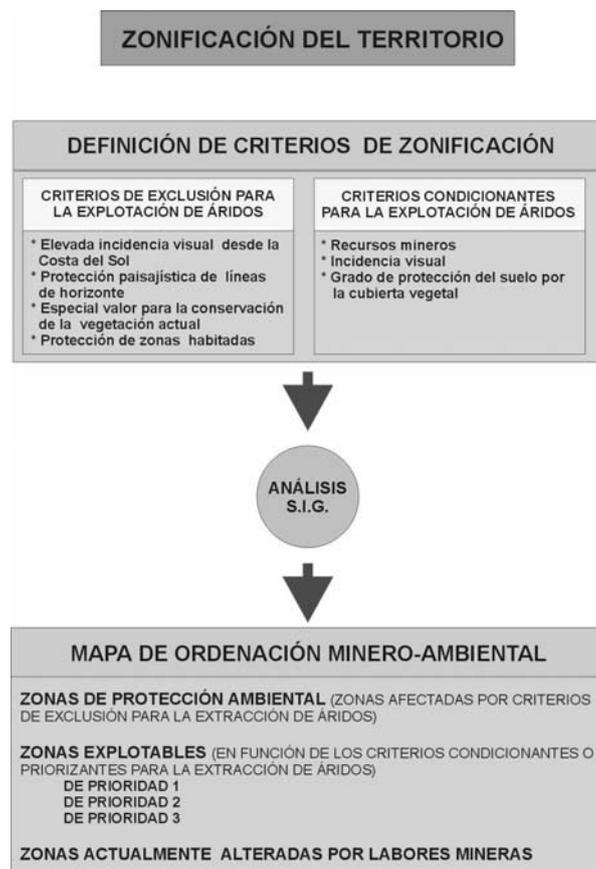


Figura 4.- Esquema metodológico para la zonificación del territorio y obtención del mapa de ordenación minero-ambiental de la explotación de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga). (IGME, 2.000)

En la Figura 5 se presenta el mapa de ordenación minero – ambiental de los recursos de pizarra para cubiertas de la comarca de La Cabrera (León). En la Figura 6 se muestra el mapa de ordenación minero – ambiental para la explotación de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga).

El método diseñado es sistemático y logra una gran transparencia y reproducibilidad en todos los procesos de evaluación (valor natural, impacto, aptitud, capacidad de acogida). Por otra parte, presenta una relativa simplicidad en los procesos de evaluación, sin dejar de tener en cuenta la complejidad que presenta los elementos que estructuran el medio y sus interrelaciones. El método, al estar soportado y gestionado en un SIG, permite el manejo eficaz y relativamente sencillo de gran volumen de información cartográfica, consiguiendo un alto grado de automatización

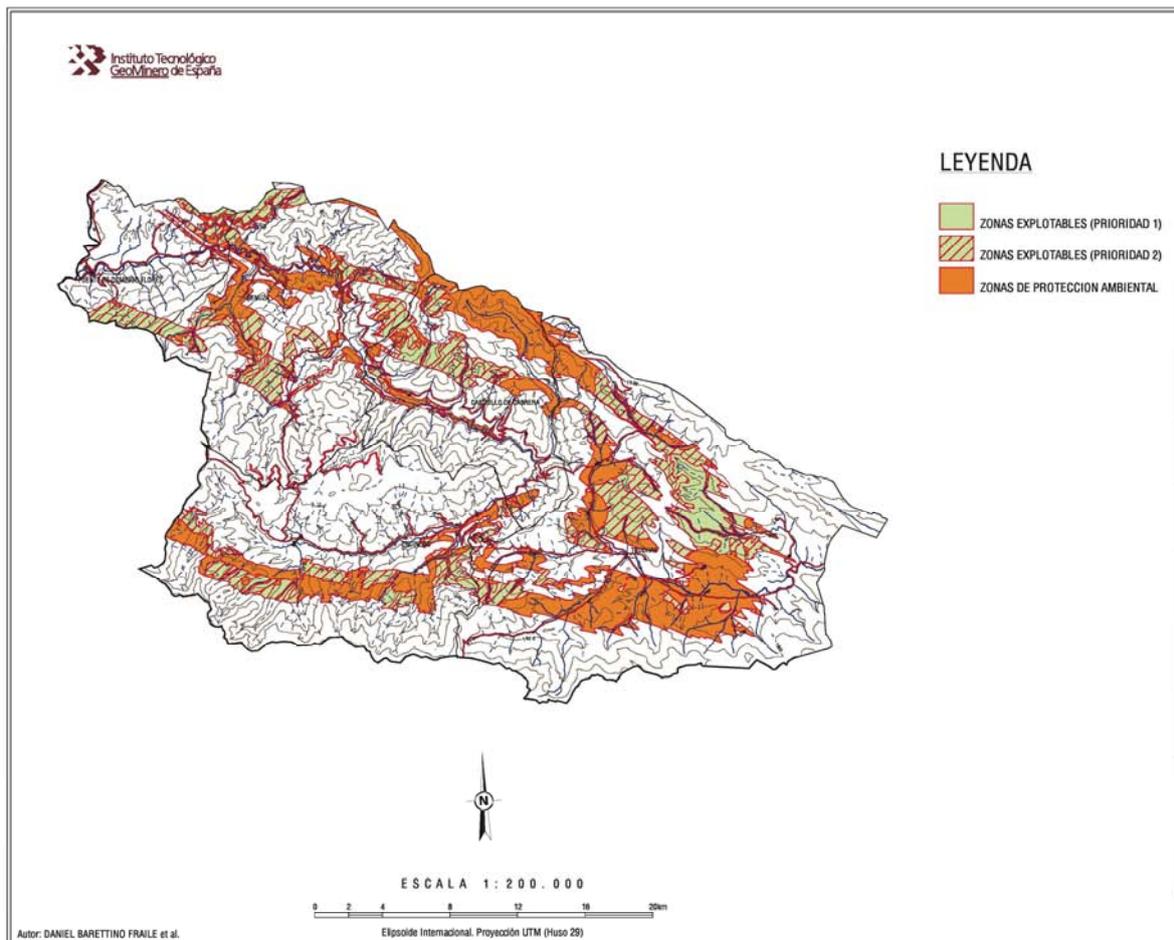


Figura 5.- Mapa de ordenación minero – ambiental de los recursos de pizarra en La Cabrera (León). Escala original de presentación del mapa comarcal 1:200.000; escala de trabajo del mapa de ordenación minero-ambiental 1:25.000. (IGME,1995).

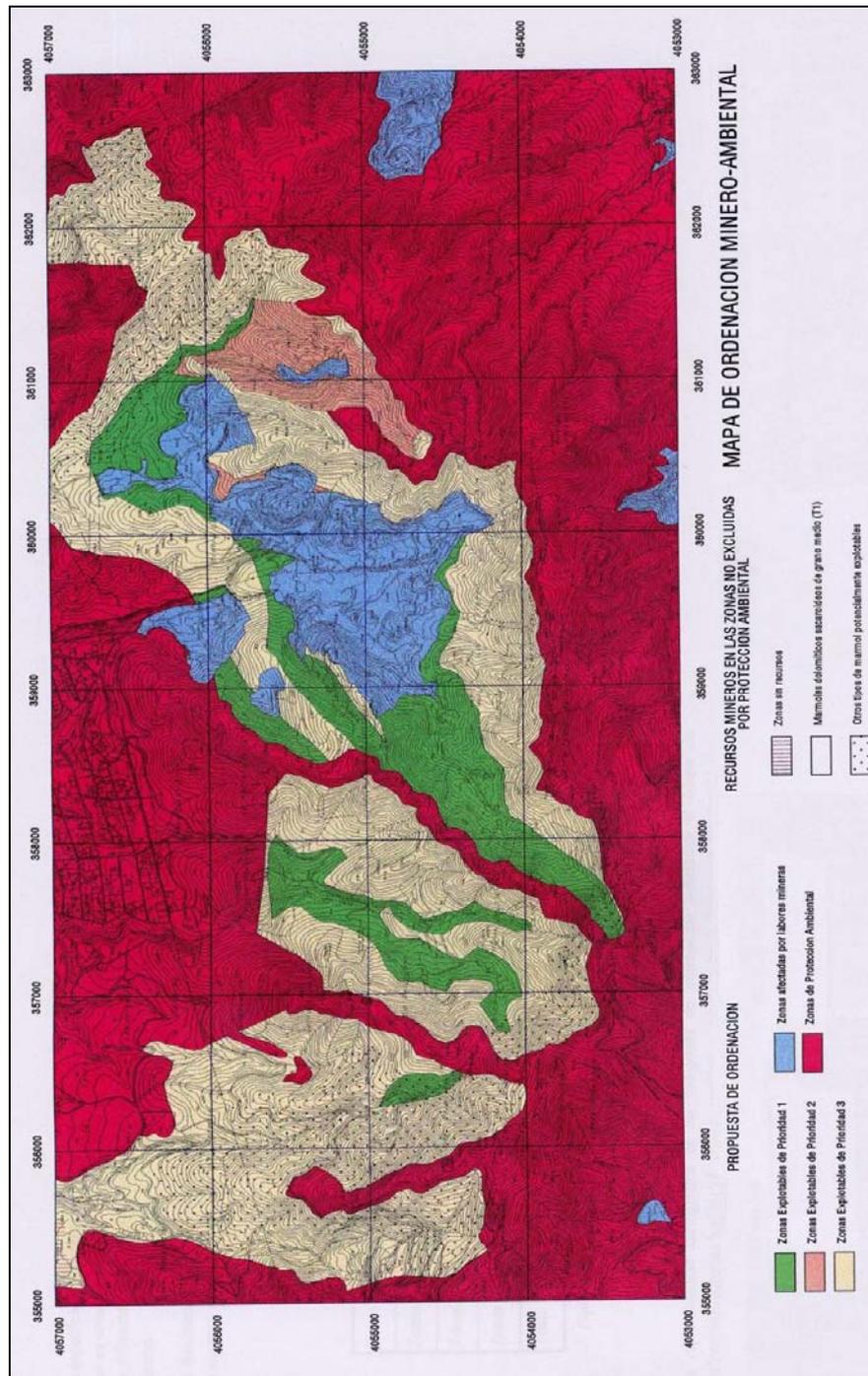


Figura 6.- Mapa de ordenación minero – ambiental de la explotación de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga). Escala original 1:10.000 (IGME, 2000; Martínez Plédel *et al.*, 2002).

9. DISEÑO DE MODELOS DE EXPLOTACIÓN

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

Los aspectos que se abordan en este diseño de modelos de explotación son:

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

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

En el diseño de modelos de explotación que se viene realizando en los estudios y proyectos del IGME se distinguen tres etapas:

- Análisis previo de alternativas
- Cálculo de la estabilidad global
- Geometría de la explotación

En el **análisis previo de alternativas** se consideran todas las posibles inestabilidades para cualquier geometría y orientación de los bancos de explotación. En los estudios realizados en Alhaurín de la Torre, Camargo y Murcia, dadas las características geomecánicas de los correspondientes macizos rocosos estudiados, se considera que las posibles inestabilidades ligadas a un talud de excavación se encuentran asociadas a las roturas por las discontinuidades estructurales que pueden estar presentes, y que son: planar, vuelcos y cuñas de roca. Los resultados se resumen en forma de ábacos como el de la Fig. 7, donde se muestran las posibles tipologías de roturas en las canteras de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga), en función de la dirección y pendiente del talud. En el caso de las pizarras de La Cabrera, el análisis es bastante más complejo, al existir muchos más factores estructurales que condicionan tanto la estabilidad de los taludes en el macizo rocoso, como la propia explotabilidad de los recursos de pizarra para techar: pizarrosidad, *kink-bands*, foliaciones de crenulación, fallas y diaclasas; para el lector interesado, el análisis de alternativas y el cálculo de la estabilidad realizado para el diseño de los modelos de explotación de las canteras de pizarra en La Cabrera se puede consultar en Baretino *et al.* (1994) e IGME (1995).

Una vez analizada de forma general la estabilidad de los taludes ante la formación y caída de bloques de roca por roturas planas, vuelco y cuñas, se analiza la **estabilidad global** de un frente de cantera con todos sus bancos de explotación. La geometría que se analiza es la más desfavorable. Para el cálculo en elastoplasticidad de la estabilidad de este tipo de excavación se ha recurrido a resolverlo por el método de diferencias finitas, haciendo uso del programa FLAC para la simulación del terreno como un continuo. En la Fig. 8 se muestra a modo de ejemplo la distribución general de los incrementos de la tensión cortante para el perfil tipo estudiado en Alhaurín de la Torre. Con los parámetros geomecánicos obtenidos en ensayos y sobre muestras de mármoles sacaroideos de grano

medio, el modelo indica que dicha geometría es estable, pudiendo producirse ligeros síntomas de plastificación en su banco inferior, iniciándose un círculo de rotura incipiente que no llega a la superficie, que indica lo afinado que resulta el diseño geométrico adoptado.

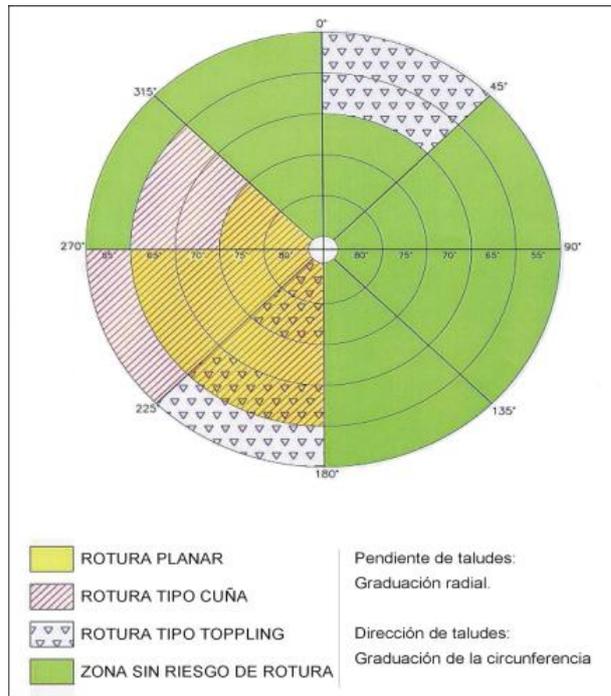


Figura 7.- Tipologías de roturas posibles en las canteras de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga), en función de la dirección y pendiente de los taludes (IGME, 2000; Martínez Plédel *et al.*, 2002).

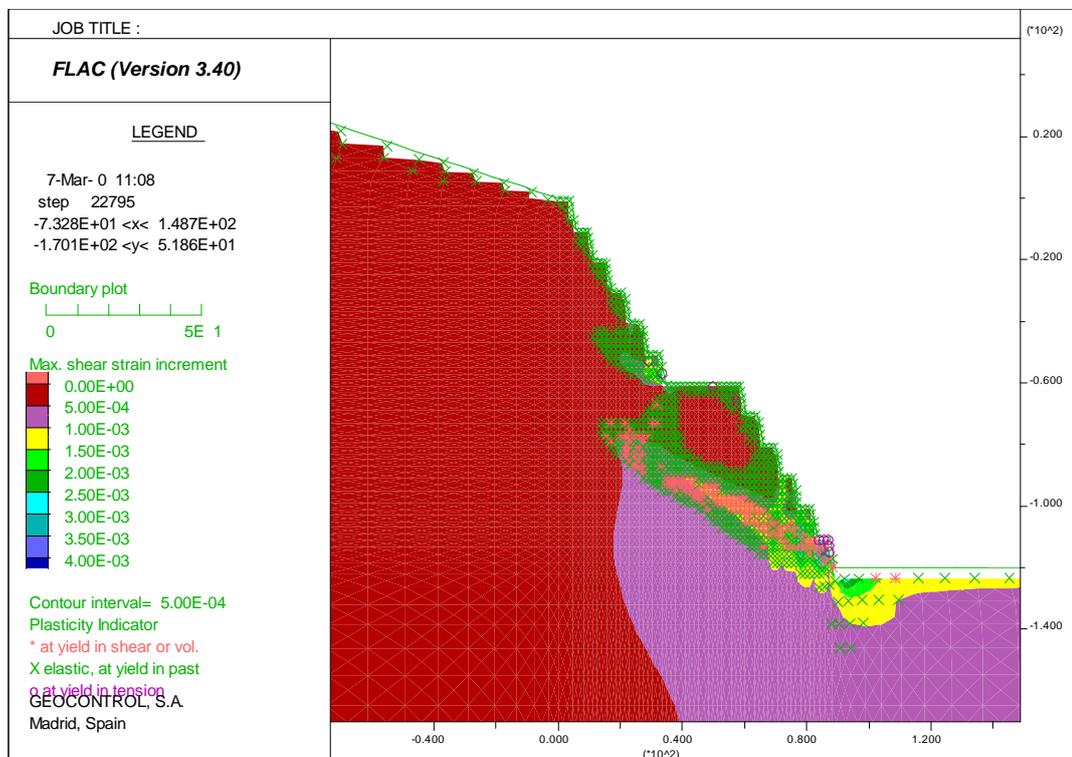


Figura 8.- Distribución general de los incrementos de tensión cortante para el perfil tipo estudiado en Alhaurín de la Torre (IGME, 2000; Martínez Plédel *et al.*, 2002).

Finalmente, de acuerdo con los cálculos de estabilidad realizados para los diferentes litotipos definidos en cada zona en estudio, se establece la **geometría de la explotación**.

A modo de ejemplos de modelos de canteras tipo diseñados en los estudios de ordenación minero-ambiental, en la Fig.11 se presenta un perfil transversal genérico de una explotación con la geometría tipo que ha resultado en el diseño de modelos de explotación de áridos en Alhaurín de la Torre, y en la Fig. 9 se muestran los perfiles transversales genéricos de las geometrías de canteras tipo obtenidas como resultado del diseño de modelos de explotación en el estudio de ordenación minero-ambiental de la explotación de áridos en Camargo (Cantabria), donde existen dos litologías explotables: calizas y dolomías, lo que da lugar a dos geometrías diferentes.

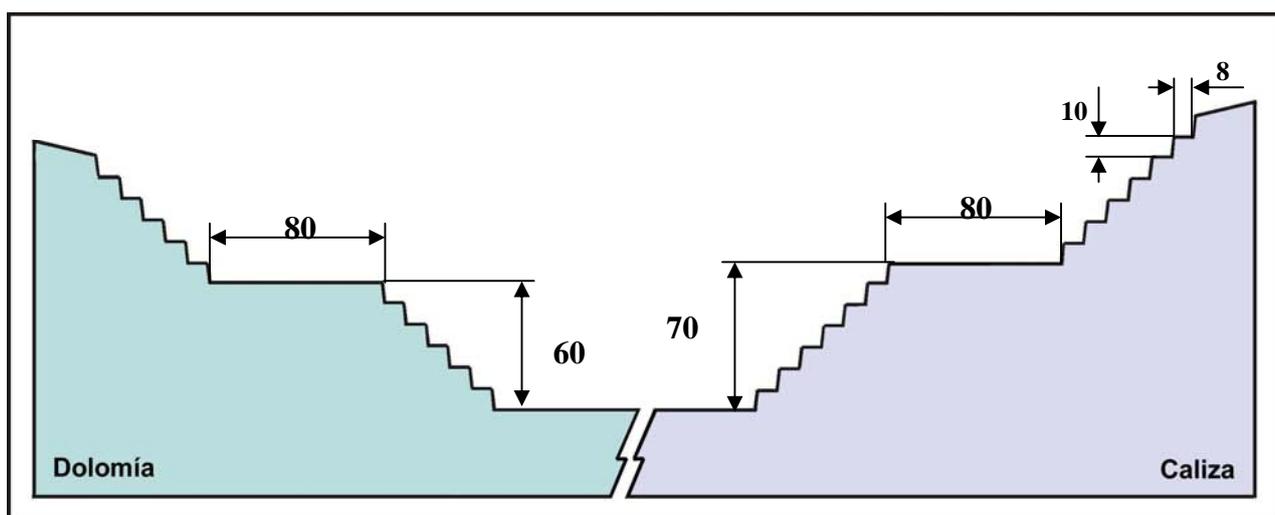


Figura 9.- Perfiles genéricos (cotas en m) para las canteras tipo de caliza y dolomía obtenidos en el estudio de ordenación minero-ambiental de la explotación de áridos de Camargo (IGME, 2002).

10. CRITERIOS Y MODELOS DE RESTAURACIÓN

Las bases fundamentales para establecer criterios y modelos de restauración de explotaciones están relacionadas con los suelos, la vegetación y el clima del área en estudio, y con las geometrías finales de huecos y escombreras.

En este bloque de los estudios de ordenación minero-ambiental se analizan los usos potenciales de los terrenos afectados y se establecen los criterios, recomendaciones y modelos para efectuar la revegetación, que se centran en las siguientes operaciones:

- Manejo y tratamiento de la capa superficial del suelo.
- Tratamiento de los taludes en la preparación de los terrenos (modelado, estabilización y drenajes, protección superficial).
- Enmiendas o mejoras edáficas.
- Selección de especies vegetales
- Métodos y técnicas de implantación de la vegetación.
- Programa y secuencia de las operaciones.

- Programa de seguimiento y control de la restauración.

En la Fig. 10 se muestra un esquema de la evolución del proceso de integración paisajística en frentes y plazas de cantera según el modelo de restauración propuesto en el estudio de ordenación minero-ambiental de las pizarras de La Cabrera (León).

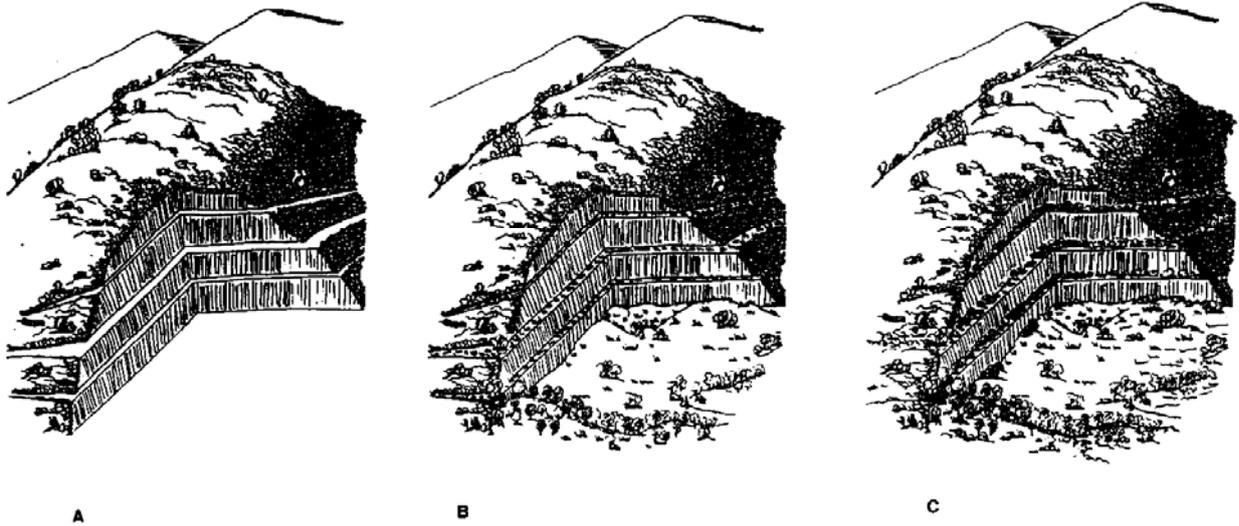


Figura 10:- Evolución del proceso de integración paisajística en frentes y plazas de cantera según los criterios y modelos de restauración establecidos para las explotaciones de pizarra en la Cabrera (IGME, 1995)

11. PLAN DIRECTOR MINERO-AMBIENTAL

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

Los Planes Directores contemplan los siguientes aspectos:

- Diseño de escombreras: el objetivo es elaborar un proyecto tipo de escombrera, donde se incluya la geometría, método constructivo, drenajes, etc...
- Selección de emplazamientos idóneos para escombreras comunes a varias explotaciones. Se delimitan aquellas zonas que cumplan los requisitos impuestos para el sustrato de escombreras (pendientes, características geotécnicas adecuadas) y se analizan los factores técnico-económicos y ambientales para seleccionar las más idóneas desde ambos puntos de vista
- Infraestructuras comunes a las diferentes explotaciones: en las zonas de estudio se planifican y diseñan infraestructuras comunes para las diferentes explotaciones como son pistas, abastecimiento de energía eléctrica, abastecimiento de agua, etc...

- **Proyectos tipo de explotación:** se elaboran proyectos de explotación en canteras tipo, para lo cual se parte de los resultados del diseño de explotaciones.
- **Proyectos tipo de restauración:** se elaboran proyectos de restauración de espacios afectados por la explotación de canteras tipo

Así, en el estudio de ordenación minero-ambiental de la explotación de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga) el Plan Director Minero-Ambiental pretende ser el documento final en el que se recogen las acciones necesarias para corregir los actuales problemas y prevenir los que en el futuro pueden presentarse como consecuencia de la continuación de la explotación, a la luz de los resultados obtenidos después de la elaboración del Mapa de Ordenación Minero-Ambiental y el diseño de modelos de explotación y restauración.

Básicamente, las propuestas más destacables de dicho Plan Director hacen referencia a los siguientes aspectos:

1. **Trazado de pistas de acceso común a la zona de canteras:** Se han contemplado tres alternativas que evitarían, unas en mayor medida que otras, el paso de los camiones por Alhaurín de la Torre y las zonas urbanizadas que lo rodean, desviando el paso de camiones a vías con menos problemas de tráfico.

Todas las pistas contempladas deben ser proyectadas y realizadas teniendo en cuenta, además de la normativa vigente, el intenso tráfico que soportarían. Por ello deben ser pistas que no generen polvo con el paso de vehículos, siendo recomendable la utilización de mezclas asfálticas para la capa de rodadura.

2. **Modelos de explotación y geometría final de las explotaciones:** Se adopta la geometría de explotación diseñada, que conduce a perfiles transversales genéricos como el que se muestra en la Fig. 11.

Partiendo de los modelos geométricos establecidos, se ha diseñado un modelo tridimensional de explotación a escala 1:5.000 que respeta estrictamente las superficies incluidas en las Zonas de Protección Ambiental para la explotación de áridos, ciñéndose lo más posible a las zonas de prioridad 1 y 2 establecidas en el Mapa de Ordenación Minero-Ambiental. Las nuevas superficies a explotar según el modelo diseñado están incluidas dentro de los derechos mineros actualmente no caducados, bastando la explotación de estos derechos para abastecer al mercado durante más de 20 años, con un incremento de superficie afectada del 56,1 %.

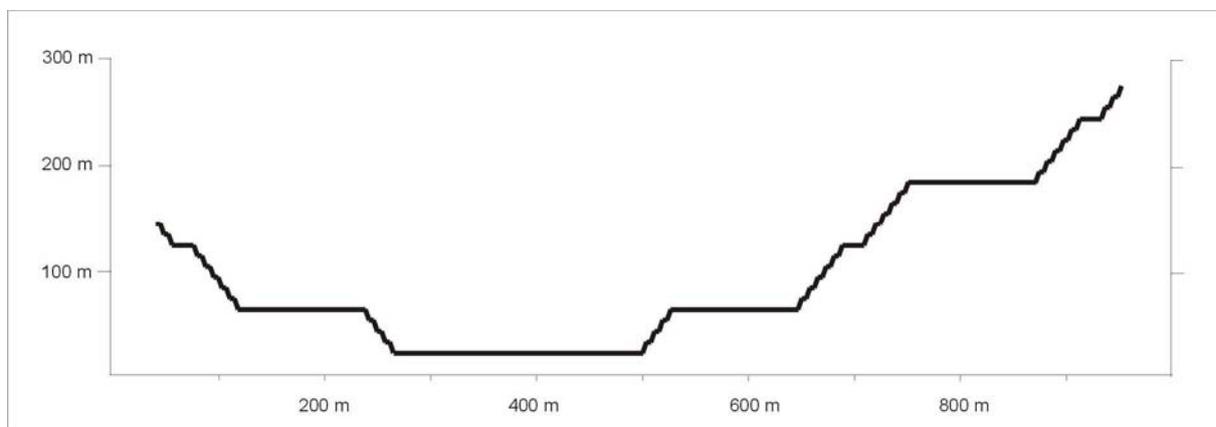


Figura 11.- Perfil transversal genérico de las explotaciones planteadas en el Plan Director de Alhaurín de la Torre (IGME, 2000)

3. **Desarrollo de la explotación:** Se ha considerado siempre un sistema de explotación de forma descendente, de modo que se pueda restaurar a medida que avanza la explotación y se eviten los riesgos que supone el hoy habitual trabajo a pié de taludes que no ofrecen las garantías suficientes de estabilidad.

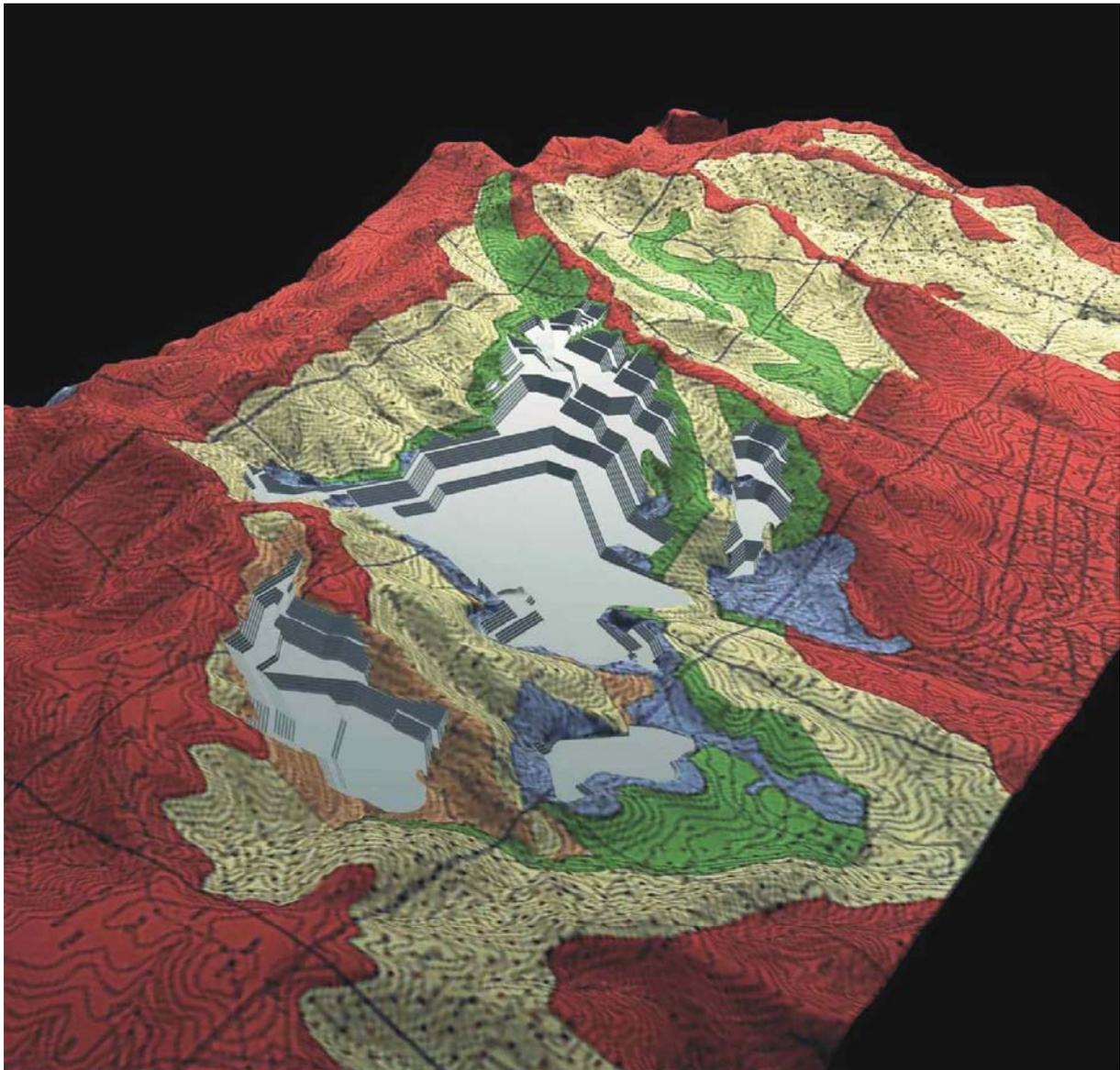
La restauración debe seguir a la explotación en las superficies finales en cuanto éstas existan y no esté suficientemente justificada su utilización para otros fines (pistas, plantas móviles, zonas de acopios, etc). Esta cuestión es de especial importancia para las zonas de talud ya que, dada la naturaleza deleznable de la roca en muchos lugares, el tránsito por las bermas puede llegar a cortarse, tanto como consecuencia de acarcavamientos como por la creación de canchales sobre las bermas. En este sentido, debe considerarse que ya existe la superficie que será berma desde el momento en que se crea el talud final superior a la misma.

El avance de la explotación queda establecido en tres fases. No se pretende, al definir estas grandes fases, sino establecer de forma general el orden de explotación entre los cuatro huecos y dentro de cada uno de ellos pues, obviamente, el mayor o menor avance de la explotación estará condicionado al ritmo de producción de las canteras. La representación cartográfica de estas fases se ha realizado a escala 1/5.000. En la Fig. 12 se muestra la superposición de los huecos de explotación finales sobre el mapa de ordenación minero-ambiental.

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

Por otro lado, según queda reflejado en el Mapa de Ordenación Minero-Ambiental, se proponen Zonas de Protección Ambiental, en las que no es recomendable la explotación, y zonas explotables con distintos grados de prioridad dentro de las zonas con recursos que no han sido excluidas para la explotación ni han sido ya afectadas por labores mineras.

Para que la ordenación de los recursos sea más efectiva, la explotación de una determinada superficie considerada dentro de alguna de las tres zonas ha de tener reflejo en el nivel de exigencia de los objetivos y en los resultados finales que se quieran alcanzar con las labores de restauración que se adopten. Así, el nivel de exigencia que se impone en el Plan Director para la restauración en *Zonas Explotables de Prioridad 3* es más alto que en las de prioridad 2, y en éstas lo es con respecto a las de prioridad 1. En cualquier caso, la decisión de explotar una determinada superficie debe ser tomada sabiendo que, por lo anteriormente dicho, se adquiere el compromiso de rehabilitar los terrenos hasta obtener unos resultados acordes con unas exigencias diferentes según la zona de que se trate.



- | | | | |
|---|-------------------------------------|---|----------------------------------|
|  | Zonas afectadas por labores mineras |  | Zonas Explotables de Prioridad 3 |
|  | Zonas Explotables de Prioridad 1 |  | Zonas de Protección Ambiental |
|  | Zonas Explotables de Prioridad 2 | | |

Figura 12.- Aplicación de los modelos de explotación sobre las zonas favorables del mapa de ordenación minero – ambiental en Alhaurín de la Torre (Málaga). (IGME, 2000).

En todos los casos, sobre las superficies de los frentes finales se tomarán medidas encaminadas a la protección contra la erosión y a la integración paisajística de mayor intensidad que sobre las plataformas y plazas de cantera. En estas superficies no cabe plantear ningún aprovechamiento del terreno, por lo que deberá establecerse una vegetación de carácter protector e integrador con la máxima densidad posible. En las bermas de mayor anchura deberá instalarse un canal de drenaje que se continuará en la cuneta del acceso a las mismas. Será importante controlar el posible desarrollo de regueros de erosión sobre los taludes, tomando medidas cuando sea necesario para impedir que nunca el crecimiento de un reguero llegue a afectar a dos bancos sucesivos por erosión remontante.

BIBLIOGRAFÍA

- ADRIAANSE, A., BRINGEZU, S., HAMMOND, A., MORIGUCHI, Y., RODENBERG, E., ROGICH, D. y SCHÜTZ, H: *Resource flows: The material basis of industrial economies*. World Resources Institute. Washington DC. 1997
- ALBERRUCHE, E., BARETTINO, D., MARTÍNEZ PLEDEL, B. y ARRANZ, J.C.: Minería y desarrollo territorial. En R. Rodríguez y A. García –Cortés (Eds.): *Los residuos minero – metalúrgicos en el medio ambiente*. Publicaciones del IGME. Serie Medio Ambiente nº 11, pp. 67-87. 2006
- ALBERRUCHE, E., MARTÍNEZ PLEDEL, B., ARRANZ, J.C. y BARETTINO, D.: 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; pp. 105-108. Zaragoza. 2003.
- ANEFA: *Conoce los áridos. Materias primas esenciales*. Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos (ANEFA). <http://www.aridos.org/>. Madrid, 20 p.; 2008.
- BARETTINO, D.: Ordenación minero-ambiental de recursos mineros. *Ponencias de las I Jornadas sobre Minería y Medio Ambiente*. Junta de Andalucía. Sevilla, 1994.
- BARETTINO, D.: 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). SHCMOEL, Comisión Europea. 2002.
- BARETTINO, D., ARRANZ, J.C. y MARTÍNEZ PLEDEL, B.: 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, B. y ALBERRUCHE, E.: Ordenación Minero-Ambiental del yacimiento de pizarra de La Cabrera (León). *Actas del IX Congreso Internacional de Minería y Metalurgia*. Tomo I. pp. 509-532. León 1994. Asociación Nacional de Ingenieros de Minas de España. 1994.
- BARETTINO, D., BARROS, J.C., DIÉGUEZ, R., GALERA, J.M. y RODRÍGUEZ SOTO, A.: Criterios geotécnicos para la modelización de explotaciones de pizarra en La Cabrera (León). *Actas del IX Congreso Internacional de Minería y Metalurgia, León*, 6: 361-383. Asociación Nacional de Ingenieros de Minas de España. 1994.
- BARETTINO, D., DONAIRE, M., MARTÍNEZ-PLEDEL, B., ALBERRUCHE, E., APARICIO, M. y ARRANZ, J.C.: 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: 685-690. 1999.
- BARETTINO, D., MARTÍNEZ PLEDEL, B., ARRANZ, J.C. y ALBERRUCHE, E.: 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. 2003.
- BARETTINO, D., OBIS, J. y ESPÍ, J.A.(eds.): *La industria extractiva no energética y el medio ambiente en el marco del desarrollo sostenible*. Publicaciones IGME. Madrid, 335 p. 2005
- CENDRERO, A.: Planificación ambiental y ordenación de usos del territorio. En IGME: *Geología ambiental*. Publicaciones del IGME, Madrid, pp. 25-32. 1988.
- FDP: *Informe del sector de la Piedra Natural 2003*. Federación Española de la Piedra Natural (FDP), 102 p. Madrid. 2003.

- GARCÍA CORTÉS, A.: *Minería y Desarrollo Sostenible*. VIII Trobada de Professorat de Ciències de la Terra i del Medi Ambient del Batxillerat. ICE de la Universidad de Barcelona y Facultad de Geología de la UB. 13 p. Cosmocaixa. Barcelona. 2008
- GARCÍA CORTÉS, A., ARRANZ, J. C., MARCHÁN C., MARTÍNEZ PLÉDEL, B., MUÑOZ DE LA NAVA, P., REGUEIRO, M. y RUBIO J.: Un plan nacional de áridos. Necesidad inaplazable. “*Libro de ponencias del 1º Congreso Nacional de Áridos*”, Zaragoza, España. pp. 517-530. 2006
- GÓMEZ OREA, D.: *Ordenación del Territorio. Una aproximación desde el Medio Físico*. Publicaciones IGME. Madrid, 238 p. 1994
- IGME: *Ordenación minero – ambiental del yacimiento de pizarras ornamentales de La Cabrera (León)*. Informe inédito. Servicio de Documentación del IGME. Madrid. 7 tomos. 1995
- IGME: *Ordenación minero – ambiental de la explotación de áridos en Alhaurín de la Torre (Málaga)*. Informe inédito. Servicio de Documentación del IGME. Madrid. 6 tomos. 2000.
- IGME: *Ordenación minero – ambiental de la explotación de áridos de Camargo (Cantabria)*. Informe inédito. Servicio de Documentación del IGME. Madrid. 4 tomos. 2002.
- ITGE: *Investigación de pizarras en la Reserva Estatal "Sinclinal de Truchas" (León)*. Informe inédito. Servicio de Documentación del IGME. Madrid. 1990.
- LÜTTIG, G.W.: 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. Schweizerbart’sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 7-13. 1987.
- MARTÍNEZ-PLÉDEL, B.: Claves para la definición de metodologías a emplear y trabajos a abordar en los Estudios de Ordenación Minero - Ambiental. En J.A. López-Geta, J. Loredó, L. Fernández y J.M. Pernía (Eds.): *Investigación y gestión de los recursos del subsuelo. Libro homenaje al Profesor Fernando Pendás Fernández*, pp. 619-630. 2008
- MARTÍNEZ-PLÉDEL, B., ARRANZ, J.C., ALBERRUCHE, E. y BARETTINO, D.: Los proyectos de ordenación minero – ambiental de las rocas y minerales industriales. Algunos casos en España. *Boletín geológico y Minero*, 117 (2): 305 - 316
- MARTÍNEZ-PLÉDEL, B., ARRANZ, J.C., ALBERRUCHE, E., DONAIRE, M. y BARETTINO, D.: 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). 2002.
- MINERAL INFORMATION INSTITUTE: *mmi Minerals Baby*. Mineral Information Institute, Golden, Colorado. <http://www.mii.org/>. 2008
- QUEREDA, J.M., SIGÜENZA, F. y ALCARAZ, A.: El agua en los mármoles de Macael y su Plan Director. *Jornadas sobre Tecnología del Agua en la Minería*. Colección Temas Geológico-Mineros, IGME. Madrid. 1992.
- SANZ CONTRERAS, J.L.: Explotación de canteras y yacimientos granulares para la obtención de áridos. *Ingeopres*, 1:52-58. 1992.
- STENESTAD, E. Y SUSTRAC, G.: The role of geoscience in planning and development. En Lumsden, G.I. (ed.): *Geology and the Environment in Western Europe*. Oxford Academic Press, Londres, pp. 281-301. 1994.
- UEPG: *Sustainable Development in the European Aggregates Industry. For the benefits of future generations*. European Aggregates Association (UEPG), Bruselas. 20 p.; 2007
- VADILLO, L. y BARETTINO, D.: Problemática ambiental de la minería de áridos naturales. *Tecnoambiente*, 13: 47-50. 1992