



DIRECCIÓN GENERAL
DE POLÍTICA
ENERGÉTICA Y MINAS

Guía de Buenas Prácticas Medioambientales en la Industria Extractiva Europea



APLICACIÓN AL CASO ESPAÑOL



Dr. F. Brodtkom



MINISTERIO
DE ECONOMÍA

DIRECCIÓN GENERAL
DE POLÍTICA
ENERGÉTICA Y MINAS

Guía de
Buenas Prácticas Medioambientales
en la Industria Extractiva Europea
| Aplicación al Caso Español |



GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS MEDIOAMBIENTALES en la industria extractiva europea

Un estudio preparado para las Asociaciones Europeas
**CEMBUREAU, CERAM – UNIE, EULA, EURO – ROC,
IMA – EUROPE, UEPG**

CON EL APOYO DE:
**DIRECCIÓN GENERAL DE EMPRESAS
COMISIÓN EUROPEA**



POR
DR. F. BRODKOM
(CENTRE TERRE ET PIERRE – BÉLGICA)



COMITÉ EDITORIAL DE LA GUÍA EUROPEA:
PH. BENNETT (EUROGYPSUM) & **D. JANS** (IMA – EUROPE)

APLICACIÓN AL CASO ESPAÑOL

Noviembre 2002

EDITA:
**DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA Y MINAS
MINISTERIO DE ECONOMÍA**



CON LA COLABORACIÓN DE:
**AINDEX, ANCADE, ANEFA, ATEDY,
CONFEDEM, FDP, OFICEMEN**

COORDINACIÓN:
C. LUACES FRADES
(ANEFA)

ÍNDICE

Presentación	7
Preámbulo	9
Capítulo 1. Objetivos y estructura de la Guía	11
Capítulo 2. La industria extractiva europea	13
2.1 Los recursos minerales en Europa	13
2.2 Principales mercados e importancia socioeconómica de la industria extractiva en Europa	15
2.3 Operaciones básicas de la industria: extracción, tratamiento y producción	17
Capítulo 3. Gestión del impacto medioambiental de la actividad extractiva	21
3.1 Ruido y vibraciones	24
3.2 Polvo	31
3.3 Impacto visual	38
3.4 Gestión del agua	45
3.5 Transporte y expedición	54
3.6 Gestión de estériles inertes, tierras de cobertera, lodos de proceso y residuos industriales	59
3.7 Biodiversidad	64
3.8 Patrimonio arqueológico	70
3.9 Política de puertas abiertas, relaciones con el entorno y otras actuaciones.	73
Capítulo 4. Restauración de explotaciones	83
Capítulo 5. Conclusiones	109
Anexo 1. Mercados y aplicaciones	111
I. La industria de los áridos	111
I.1 La industria de los áridos en Europa	111
I.2 La industria de los áridos en España	112
II. La industria del cemento	114
II.1 La industria del cemento en Europa	114
II.2 La industria del cemento en España	114
III. La industria de la cal	115
III.1 La industria de la cal en Europa	115
III.2 La industria de la cal en España	115
IV. La industria del yeso y de la escayola	115
IV.1 La industria del yeso y de la escayola en Europa	115
IV.2 La industria del yeso y de la escayola en España	116
V. El sector de los minerales industriales	116
V.1 El sector de los minerales industriales en Europa	116
V.2 El sector de los minerales industriales en España	116
VI. La industria de las rocas ornamentales	117
VI.1 La industria de las rocas ornamentales en Europa	117
VI.2 La industria de las rocas ornamentales en España	117
Anexo 2. Organizaciones sectoriales de la industria extractiva	119
I. Organizaciones sectoriales europeas	119
II. Organizaciones sectoriales españolas	121
Anexo 3. Centre Terre et Pierre	125
Anexo 4. Bibliografía y complementos de lectura	126
I. Bibliografía de la Guía europea	126
II. Bibliografía de la “Aplicación al Caso Español”	129
Anexo 5. Empresas colaboradoras	132

PRESENTACIÓN

La industria extractiva española, gestora de recursos mineros necesarios e insustituibles para el desarrollo de la sociedad y la mejora de la calidad de vida, es consciente de que debe conciliar la eficacia económica de la actividad con la calidad de producción y de producto y con la preservación del entorno ambiental.

Toda explotación minera debe constituir un proyecto de futuro a medio o largo plazo dentro de un marco legal de desarrollo sostenible, mediante el equilibrio de la realidad geológica, que determina, ineludiblemente, la ubicación de los yacimientos, con la explotación de los recursos y con una restauración de los terrenos adecuada a las prescripciones de la legislación ambiental.

Hay que señalar que, en términos generales, es perfectamente viable el equilibrio entre una explotación minera y el medio ambiente; esto requiere una concepción de la actividad que considere los factores ambientales de forma integrada en cada una de las fases de los procesos. Un número creciente de empresas extractivas integra la prevención de las afecciones sobre el medio ambiente en las diferentes etapas de la actividad.

Desde la **Dirección General de Política Energética y Minas** del **Ministerio de Economía**, se ha considerado de gran interés editar en castellano la "**GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS MEDIOAMBIENTALES EN LA INDUSTRIA EXTRACTIVA EUROPEA**" financiada por la **Dirección General Empresas** de la **Comisión Europea**, en el año 2000, completándola con una **APLICACIÓN AL CASO ESPAÑOL** en la que se recogen casos reales aportados por empresas de los distintos subsectores mineros del país, en particular, **áridos, cales, cementos, minerales industriales, rocas ornamentales y yesos**.

La difusión de las actuaciones concretas que se describen en esta Guía, entre las administraciones del Estado -local, autonómica y central-, así como entre los empresarios y técnicos relacionados con el sector, ayudará, sin duda, a mejorar el control de los efectos sobre el medio ambiente que, en cada caso se produzcan. Sin olvidar que la divulgación de las buenas prácticas que aplica la industria extractiva española puede contribuir a cambiar la imagen negativa que, en muchas ocasiones, la sociedad tiene de la minería.



Eduardo Ramos García
Subdirector General de Minas
Ministerio de Economía



La iniciativa de preparar esta Guía de ***Buenas prácticas medioambientales en la industria extractiva europea*** procede de la cooperación entre la **Dirección General de Empresas** de la **Comisión Europea** y las principales asociaciones europeas del sector de la industria extractiva no energética y no metálica: **Cembureau, Cérame – Unie, EuLA, Eurogypsum, Euro – Roc, IMA – Europe** y **UEPG** (ver Anexo 1.1).

El **Centre Terre et Pierre**, entidad consultora en aspectos relacionados con las canteras, los procesos de tratamiento y el medio ambiente, fue designado, dentro del marco de este proyecto europeo, para realizar la coordinación del trabajo y la redacción de la Guía europea (ver Anexo 3).

La **Dirección General de Política Energética y Minas** del **Ministerio de Economía**, ha promovido el proyecto consistente en traducir al castellano esta Guía europea, completándola con una **Aplicación al Caso Español** donde se recogen casos prácticos aportados por empresas españolas. Para su ejecución se ha recabado la colaboración de las siguientes asociaciones mineras del país: **AINDEX, ANCADE, ANEFA, ATEDY, CONFEDEM, FDP** y **OFICEMEN**, designándose a **ANEFA** para la labor de coordinar la ejecución de los trabajos y la redacción de la adenda española (ver Anexo 2.2).



PREÁMBULO



Desde hace varios años y, concretamente, desde el comienzo de los años 1980, un cierto número de industrias, entre las que se encuentra la minería, viene siendo cada vez más criticado, a veces con razón, por las alteraciones que éstas producen sobre el medio ambiente. A pesar del hecho de que la búsqueda de materias primas sea una de las actividades humanas básicas que, junto con la obtención de alimentos y de abrigo, se remonta a la Edad de Piedra, la sociedad continúa considerando esta industria con desconfianza y temor por los efectos que puede llegar a producir sobre el medio ambiente. Aunque el ruido, las vibraciones, el polvo o los movimientos de transporte continúen produciéndose al realizar la actividad minera, la industria extractiva ha hecho grandes esfuerzos para minimizar el impacto ambiental y los inconvenientes causados a los habitantes de la zona.

Por otra parte, debe comprenderse que las actividades de extracción están íntimamente ligadas a la geología y a la localización particular de los yacimientos minerales, una realidad natural ineludible. Con frecuencia, este hecho obliga a los empresarios de canteras a explotar los yacimientos minerales en circunstancias poco ideales: en la proximidad de zonas residenciales o con posibles impactos medioambientales. Esto continúa siendo, sin embargo, indispensable, puesto que no hay alternativas económicas a la extracción de unos recursos que son fundamentales para la sociedad.

En consecuencia, la industria extractiva opera, no solo dentro de un marco de reglas estrictas y directivas legales, sino también con mucha autodisciplina en todas las etapas de su actividad. El sector ha desarrollado así sus propios estándares de calidad, en lo que respecta a la protección de los trabajadores, al respeto del bienestar de los habitantes de la zona, al cuidado del medio ambiente natural y a la restauración de los emplazamientos de las explotaciones.

Tanto de manera voluntaria como bajo la presión de la legislación, los empresarios de la minería de canteras han venido implementando un número creciente de medidas para reducir al mínimo todos los efectos y perturbaciones producidos por la actividad. Estas medidas comprenden, entre otras, los estudios de impacto medioambiental (EIA), los procedimientos de autorización, los planes de restauración, las inversiones en equipos de mejor rendimiento, el control de los valores límite de emisión de ruido y polvo, las nuevas rutas de transporte para desviar el tráfico de las zonas urbanizadas, etc.

Todas estas actuaciones repercuten, por supuesto, de forma negativa sobre la rentabilidad, hasta tal punto que se está produciendo un cierto desequilibrio entre las consideraciones medioambientales y las económicas. Desde esta perspectiva, es importante tener en cuenta que el valor añadido por tonelada de las rocas y los minerales es relativamente pequeño y que las instalaciones necesarias para obtenerlos son costosas, siendo preciso realizar, en ciertos casos, inversiones de varios centenares de euros por tonelada producida. Por esto, siempre que sea posible, la inversión deberá ser razonablemente proporcional a los beneficios obtenidos y, por lo tanto, se planificará a largo plazo con el fin de permitir un rendimiento económico realista así como la subsistencia de la actividad industrial. Dicho de otro modo, la estabilidad y las políticas reglamentarias a largo plazo son factores clave para la supervivencia de esta actividad.

La industria extractiva carece de una buena imagen pública y es una actividad desconocida para la mayor parte de la sociedad. Por lo tanto, para esta industria es vital mejorar los medios y los cauces de comunicación y de intercambio de información con las autoridades y con la sociedad en general.

Uno de los objetivos principales de la presente Guía consiste en desempeñar un papel importante en este intercambio de información, intentando explicar de qué forma afronta la industria extractiva el trabajo cotidiano. Para ello, presenta casos reales que ilustran un

cierto número de “buenas prácticas” empleadas por el sector y que muestran cómo se aplican métodos eficaces y prácticos para la protección medioambiental.

En numerosas ocasiones, las empresas interesadas han sobrepasado las exigencias reglamentarias, simplemente porque las opciones elegidas eran las mejores disponibles, en las circunstancias locales o técnicas que prevalecían en el momento de tomar las oportunas decisiones.

La consideración de las **condiciones locales** de explotación es uno de los hilos conductores de **esta Guía** que, ciertamente, **no tiene entre sus objetivos prescribir normas o códigos de buena práctica aplicables de forma general**. En todo caso, **la intención es ilustrar la voluntad que tiene la industria extractiva de alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible** dentro del marco de una legislación medioambiental equilibrada.



CAPÍTULO 1

Objetivos y estructura de la Guía

La intención de esta Guía es pasar revista a las prácticas medioambientales de la industria extractiva a lo largo de todas las etapas del proceso, desde la extracción y el tratamiento, hasta la entrega de los productos acabados al consumidor. También se consideran las fases de mantenimiento y de restauración de las zonas afectadas por la explotación de las canteras. En este trabajo no han sido tenidas en cuenta las fases de exploración de recursos mineros ni tampoco los procedimientos de calcinación, ya que, estos últimos han sido objeto de diversos estudios dentro del marco de la Directiva IPPC (Prevención y Control Integrados de la Contaminación).

Dentro del término "industria extractiva" puede estar comprendida una amplia gama de productos y de actividades. No obstante, esta Guía considera, exclusivamente, los **sectores de extracción de materias primas minerales no energéticas y no metálicas**, que representan una parte muy importante de la minería en Europa. Cualquier utilización del término "industria extractiva" dentro de la Guía se referirá, por lo tanto, a esta definición.

En consecuencia, se han investigado seis sectores que son clave dentro del panorama de la minería europea: áridos, cementos, cales, rocas ornamentales, yesos y minerales industriales.

El sector de los **áridos** produce este material a partir de rocas trituradas y arenas y gravas, en canteras de rocas ígneas (intrusivas y eruptivas), de areniscas y cuarcitas, de calizas o en yacimientos sedimentarios, fluviales o marinos (graveras). Los áridos son utilizados principalmente en la construcción, como materia prima para la edificación y los trabajos de obra civil (carreteras, ferrocarriles, puentes, aeropuertos, etc.) y como constituyente principal de los hormigones y los morteros.

Los **cementos** están constituidos, principalmente, por rocas carbonatadas y por una mezcla de arcillas, cenizas, etc. Estos materiales son mezclados y calcinados antes de la cocción a temperaturas de 1400° - 1500° C para formar el denominado clinker que es molido posteriormente y mezclado con pequeñas cantidades de yeso para formar el cemento.

Las **cales y dolomías** son productos de calcinación que suelen estar asociados con grandes canteras de calizas puras, cretas o dolomías, según el caso. En estas industrias, la extracción en cantera y la preparación de la materia prima

mediante trituración son procedimientos integrados en el conjunto de la actividad; sin embargo, los efectos medioambientales de estas etapas iniciales son significativamente diferentes de los correspondientes a la fabricación propiamente dicha de los productos finales, ya que esta última comporta procesos de calcinación [4].

Las **rocas ornamentales** cubren una amplia gama de variedades de roca como son los mármoles y las calizas, los granitos, las areniscas y las pizarras. Estos materiales naturales son, sobre todo, utilizados con fines decorativos en la construcción (revestimientos, elementos estructurales, pavimentos, etc.) o en el ámbito funerario [18].

La **piedra de yeso, o aljez** y la **anhidrita natural** son materias primas extraídas de minas subterráneas o de canteras a cielo abierto que luego son molidas antes de su transformación en yeso o escayola. Estos productos se utilizan fundamentalmente, en el campo de la construcción, para la fabricación de elementos prefabricados de yeso o escayola.

Bajo la denominación de **minerales industriales** se incluyen sustancias muy diferentes entre sí, tales como caolines, feldspatos, carbonatos cálcicos, el talco, la sílice, las arcillas, etc. Estas sustancias son utilizadas, principalmente, por una amplia gama de industrias manufactureras, químicas y otras, en función de sus propiedades físico-químicas, o bien como polvo mineral. Son materias primas necesarias para la fabricación de pinturas, papeles, vidrios, cerámicas, detergentes, medicamentos, etc. Las características de los productos acabados están íntimamente ligadas a los minerales que los constituyen y, por consiguiente, a pesar de que puedan requerir algún proceso de tipo físico, los minerales industriales siguen siendo productos naturales con características intrínsecas muy similares a las del yacimiento.

Las principales cuestiones a las que se intenta responder con esta Guía son: *¿Qué es una cantera y en qué entorno opera?* *¿Cuáles son los principales procesos aplicados a los materiales para que puedan ser utilizables?* *¿Cuál es la importancia socio-económica de la industria extractiva en Europa?* Estas cuestiones constituyen el 'telón de fondo' de la primera parte de la Guía.

Cada cantera tiene unos rasgos particulares que dependen de las propiedades de las rocas y de los minerales, del tamaño y

el tipo de yacimiento, de la ubicación, etc., de modo que cada explotación presenta sus propias especificidades. En el segundo capítulo, se intentará explicar lo que es, en resumidas cuentas, “una cantera”, conjugando los aspectos generales con los particulares.

El tercer capítulo de la Guía considera, de una manera global, el conjunto de los impactos medioambientales que pueden sobrevenir y los medios precisos para su control. Se muestra, asimismo, que estos impactos varían considerablemente debido a las circunstancias locales y que un enfoque eficaz de la gestión medioambiental ha de ser flexible y adaptable a esas singularidades.

Por último, el cuarto capítulo está dedicado a la restauración de las explotaciones y a la conservación de las áreas recuperadas.

La mejor alternativa para hacer comprender la forma de operar de un sector industrial determinado consiste en apoyar la descripción de su actividad en la presentación de casos y logros reales. Por tal motivo, a lo largo de toda la Guía es posible encontrar estos ejemplos, al final de cada sección dedicada a un impacto medioambiental específico con el que tengan relación (Ver Tabla 0).

Estos casos reales pretenden mostrar, de la manera más amplia posible, las técnicas y procedimientos sostenibles que, según las circunstancias, pueden aplicarse a la extracción de las materias primas, tanto si estas buenas prácticas son consecuencia de la

aplicación de la legislación, como si son fruto de acciones voluntarias. Estas alternativas se basan en el respeto a los recursos naturales y al medio ambiente, en la atención al bienestar de las comunidades locales y en la aceptación de las realidades económicas a las que tiene que hacer frente la industria extractiva. Los casos reales que aquí se recogen no deberían confundirse, en modo alguno, con ejemplos o modelos de las Mejores Técnicas Disponibles.

La “**Aplicación al Caso Español**” se ha concebido de forma que quede integrada en el conjunto de la Guía respetando, en todo momento, tanto la estructura original como la filosofía de la misma. Los diferentes capítulos se completan con la visión del caso español o con ejemplos aportados por las empresas del país, con el propósito de lograr que el destinatario de la publicación pueda sentirse más próximo a los casos prácticos que aquí se describen (Ver Tabla 0).

En conclusión, la Guía está concebida para ayudar al lector a comprender las realidades de la actividad de explotación de canteras, con el propósito de facilitarle elementos de juicio que le permitan evaluar, por sí mismo, si la industria extractiva demuestra, o no, un comportamiento responsable. Al mismo tiempo, se tiene la esperanza de que esta Guía sea un punto de partida sobre el que puedan apoyarse iniciativas futuras tendentes a mejorar las relaciones de trabajo entre la industria extractiva, la sociedad y el entorno.

	Casos reales de la Guía europea	Casos reales de la Aplicación al Caso Español	Total de casos reales
Ruido y vibraciones	6	8	14
Polvo	6	11	17
Impacto visual	5	9	14
Gestión del agua	5	11	16
Transporte y expedición	4	5	9
Gestión de estériles inertes, tierra de cobertura, lodos de proceso y residuos industriales	1	9	10
Biodiversidad	5	5	10
Patrimonio arqueológico	3	3	6
Varios	9	12	21
Restauración de explotaciones	25	23	48
TOTAL	69	96	165

TABLA 0
Casos reales recogidos en la Guía

CAPÍTULO 2

La industria extractiva europea

2.1 Los recursos minerales en Europa

En la edición de 1995 del "Panorama of EU Industry" [56], Brian Coope concluía, al analizar el sector de la minería no energética, que el sector de las minas y canteras de Europa Occidental es el más concentrado y activo en el mundo. Además, este sector aporta una contribución muy significativa a la economía y al bienestar de los ciudadanos europeos.

¿Cuáles son las rocas y minerales no metálicos producidos en Europa?

Es posible hacer una división, clara y sencilla, de las rocas y minerales en dos grandes categorías: los vinculados al sector de la construcción y los que son útiles para las restantes industrias. Los áridos, los cementos, las rocas ornamentales y una gran parte de los yesos están destinados a la construcción. Los minerales industriales se utilizan en industrias muy diversas, aún cuando algunos de los productos resultantes tengan como destino final la construcción, mientras que la cal se emplea en los dos ámbitos.

de éxito y, por ello, se deduce que los lugares donde la extracción es posible son menos abundantes de lo que parece. Esto es todavía más cierto para algunos minerales ligados a formaciones geológicas poco frecuentes.

Áridos

Los **áridos** son pequeños fragmentos de rocas cuya forma, tamaño y naturaleza son característicos del mineral de procedencia. Para la obtención de áridos es posible utilizar rocas y minerales de muy diverso origen, tales como los granitos, basaltos, pórfidos, calizas, areniscas, arenas y gravas, etc.

En algunos casos, los materiales son utilizados directamente tras ser extraídos (arenas, gravas, etc.) pero, más a menudo, la materia prima debe ser sometida a un tratamiento, normalmente de trituración, clasificación y lavado, con el fin de lograr las características requeridas para la aplicación correspondiente. Debido a la diversidad de rocas y minerales que pueden ser utilizados como áridos, su disponibilidad es relativamente amplia (ver Tabla A).

ROCAS SEDIMENTARIAS

Calizas duras, areniscas, esquistos rojos, arenas y gravas (aluviales, fluvio-glaciales, marinas), etc.

ROCAS METAMÓRFICAS

Cuarcitas y mármoles, anfibolitas negras, pizarras y esquistos algunos gneises, etc.

ROCAS ÍGNEAS
(Intrusivas y volcánicas)

Rocas porfídicas, algunos granitos y dioritas, sienitas, anortositas, gabros, algunos basaltos, andesitas, etc.

TABLA A

Materias primas útiles para la fabricación de áridos

El denominador común de las rocas y minerales estudiados en esta Guía es que la existencia de un yacimiento en una ubicación determinada no significa, necesariamente, que su explotación pueda ser viable. Esto podría ocurrir si dicho yacimiento estuviera recubierto de un gran volumen de materias de escaso o nulo valor económico o, simplemente, si los consumidores se encontraran demasiado alejados del lugar de extracción y de producción.

Esta es una de las mayores paradojas de la industria extractiva: La mera existencia de una materia prima no es razón suficiente para su extracción, puesto que han de considerarse una multitud de otros parámetros (no geológicos) como son la viabilidad técnica, la proximidad de los mercados, etc. En la práctica, es raro que todos los condicionantes converjan hacia una posibilidad



Acopios de material



Cementos

El **cemento** es, también, un material constituido por una amplia variedad de rocas y minerales y, por lo tanto, muy ligado a la actividad extractiva. El clinker de Portland ordinario se obtiene a partir de una mezcla de calizas o cretas, de arcillas o margas, etc., sustancias de las que existen numerosos yacimientos de grandes proporciones en Europa. La producción de cemento suele llevarse a cabo en las proximidades de las explotaciones mineras, e incluso se realiza de forma integrada con esta actividad. Es frecuente que las fábricas estén en las cercanías de yacimientos de rocas carbonatadas, ya que éstas constituyen más del 80 % del clinker.

Dependiendo de las aplicaciones finales y de las especificaciones técnicas requeridas, existen diversos tipos de cementos, obtenidos a partir de diferentes mezclas minerales. Cuando se mezcla con agua, el cemento seco se convierte en una pasta que se solidifica y endurece por un proceso de hidratación. Una vez fraguado, el material conserva su resistencia y su estabilidad, incluso bajo el agua: esta característica del cemento está ligada a la formación de silicatos de calcio hidratados [38]. La Tabla B siguiente, está basada en una instalación que produce 3.000 toneladas diarias de clinker (1 millón de toneladas por año), lo que corresponde a 1,23 millones de toneladas anuales de cemento[4].

de yacimientos de rocas carbonatadas de menor pureza con contenidos variables de calcio. En ambos casos, la roca carbonatada se calcina a temperaturas que oscilan entre los 900° C – 1.000° C (max. 1.300° C) en condiciones oxidantes.

Debido a la naturaleza específica de las materias primas de base, la industria de la cal está localizada, sobre todo, en cuencas calizas, entre las que cabe destacar el valle del Mosa en Bélgica, la región de Dusseldorf-Wuppertal en Alemania, las cuencas de creta próximas al Mar del Norte, en el valle del Sena, así como en ciertas regiones del Reino Unido, del norte de Italia, de España, de Dinamarca, etc. [66].

Rocas ornamentales

La **roca ornamental** es también un término genérico que abarca diversas rocas naturales que se utilizan, sobre todo, en la construcción, con fines decorativos o estructurales. Dentro de la gran diversidad de rocas disponibles, las clases comerciales más comunes son los mármoles y las calizas (rocas calcíticas y dolomíticas, serpentinas), los granitos (de origen ígneo que contienen cuarzos, feldespatos, micas, etc., y cuya textura granular implica una alta resistencia y un aspecto cristalino), las areniscas (formadas por granos de arena

	Por tonelada de cemento	Por año y por millón de toneladas de clinker
Calizas, arcillas, esquistos margas, etc.	1,27 t	1.568.000 t
Yesos y anhidritas	0,05 t	61.000 t
Materiales secundarios reciclados	0,14 t	172.000 t

TABLA B
Proporción de materias primas para la producción de cementos en vía seca

Cales

La **cal** es un término genérico que abarca dos grupos principales de productos:

a) Las cales de elevado contenido en calcio, vivas o hidratadas y las dolomías ricas en magnesio que son empleadas en la industria y la agricultura.

b) La cal hidráulica (CaO < 85%) que contiene sílice y es utilizada como agente ligante en la construcción [18].

El primer grupo se obtiene a partir de yacimientos de alta calidad, como los de calizas o mármoles o de dolomías, según pueda ser el caso, mientras que el segundo grupo procede

ligados entre sí por un cemento natural) y las pizarras y esquistos (caracterizados por sus granos muy finos y su lajosidad) [7].

Cada productor o cada región dispone de sus propios nombres comerciales procedentes de las variedades locales de rocas: *Mármol de Carrara, Petit Granit, Piedra de Bourgogne, Piedra del Jura, Solenhofen Plattenkalk, Granito del Tarn, Balmoral, Gres de los Vosgos, Granito de Porriño, Mármol de Macael*, etc. Actualmente, están oficialmente reconocidos más de 2.700 nombres comerciales de piedras naturales, en Europa. Como ocurre en el caso de los áridos, estas rocas pueden clasificarse según sus orígenes geológicos (ver Tabla C).



ROCAS ÍGNEAS (Intrusivas y eruptivas)	Granito y diorita, labradorita, gabro, peridotita, pórfido, dolerita, basalto y andesita, etc.
ROCAS SEDIMENTARIAS	Caliza, dolomía y travertino, conglomerados y brechas, arenisca, ónice, alabastro, etc.
ROCAS METAMÓRFICAS	Mármol, cuarcita, esquistos y pizarras, brechas metamórficas, serpentina, gneiss, etc.

TABLA C
Principales orígenes geológicos de las rocas ornamentales

Yesos

El **yeso** es un mineral relativamente común en las rocas sedimentarias que abunda distribuido en capas de gran espesor que se encuentran, por ejemplo, en regiones volcánicas antiguas, donde los vapores sulfurosos han transformado a las calizas. Los yesos suelen estar inter-stratificados con calizas y esquistos y aparecen, a menudo, en una capa situada por debajo de yacimientos de sal gema. Los yacimientos de yeso están localizados, principalmente, en Alemania, Francia, España, Italia y Reino Unido. En lo que respecta a las restantes regiones, o bien se importa el yeso natural o bien se utilizan los yesos sintéticos [65].

Debido a sus propiedades térmicas, un 95 % del yeso se utiliza bajo la forma calcinada: se muele el yeso y se calienta hasta que pierde un 75 % de su agua. Cuando el material resultante ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) se mezcla con el agua, la absorbe muy lentamente, cristalizándose y endureciéndose luego por "fraguado" [48]. El yeso se encuentra también en la naturaleza en estrecha asociación con la anhidrita, una forma anhidra de sulfato cálcico (CaSO_4). En los últimos diez años ha aumentado de forma significativa la utilización de yesos sintéticos [121], en especial de los yesos de desulfuración de los gases de las centrales térmicas, llamados **DESULFOYESOS**, cuyas propiedades son similares a las de los yesos de origen natural.

Minerales industriales

El término **minerales industriales** abarca una gama muy amplia de materiales de diferentes orígenes. Su denominador común es que se utilizan, sobre todo, como rellenos funcionales o como agentes de producción en las industrias. En general, antes de su utilización, se someten a un proceso de molienda para obtener un polvo muy fino. Los principales minerales incluidos en esta familia son el talco, los carbonatos cálcicos (molidos o precipitados), los feldespatos, los caolines, las arcillas plásticas, la perlita, las bentonitas, la sepiolita, la sílice, los boratos, etc. Al ser las exigencias de calidad muy precisas y específicas, tanto las características mineralógicas y químicas, como la finura del producto final, son factores determinantes para establecer las posibles aplicaciones del mineral industrial.

Como se verá más adelante, los usos finales de los minerales industriales son muy diversos. Por último, su disponibilidad geológica es muy variada dependiendo, evidentemente, del tipo de sustancia considerada: el talco, por ejemplo, es mucho menos abundante que las arenas silíceas. Sin embargo, aunque se considere que algunos minerales industriales son muy comunes, las exigencias de calidad relacionadas con sus propiedades físico-químicas son tan elevadas y precisas que el número de yacimientos que se pueden explotar es muy limitado.



Arranque de materiales no consolidados con retroexcavadora

2.2 Principales mercados e importancia socioeconómica de la industria extractiva en Europa

La importancia que tienen las rocas y los minerales para la industria de la construcción es obvia. Al observar cualquier edificación, es sencillo reconocer, inmediatamente, bastantes rocas y minerales que han sido utilizados bajo su forma original (áridos, rocas ornamentales, etc.). Una segunda observación es suficiente para darse cuenta de que otra parte importante de esa misma construcción está realizada a partir de elementos fabricados con materias primas minerales: ladrillos, baldosas, vidrios, hormigones, tejas, etc. Hasta en la parte más oculta se encuentran, también, materiales producidos a partir de rocas y minerales o que contienen una parte importante de éstos, como es el caso de las tuberías o canalones -de metal o de PVC-, los materiales de aislamiento, los prefabricados de yeso o escayola, las pinturas, el papel pintado, etc.



Construcción de infraestructuras

Si se consideran las aplicaciones que no están relacionadas con la construcción, y que dependen en gran medida de los minerales industriales, de la cal y de los yesos, se puede concluir que la gama de industrias ligadas a la actividad extractiva es poco menos que infinita. Prácticamente todas las

consumo tales como la arena higiénica para gatos, hecha a partir de bentonita y sepiolita, etc.

Es más, las rocas y minerales y, sobre todo, la cal son cada vez más empleados en aplicaciones medioambientales como, por ejemplo, filtrado de aguas, control del pH, desulfuración de gases, etc.

Muchas personas son, todavía, poco conscientes de que las rocas y minerales condicionan todos los aspectos de la vida actual y que figuran en el corazón de la sociedad y de su desarrollo tecnológico.

Reconociendo este hecho, no resulta sorprendente constatar que las rocas y minerales, y la industria extractiva que los proporciona, ocupen una posición vital dentro de la estructura socio-económica europea. En la tabla siguiente, se ofrece una visión general de la industria extractiva (ver Tabla D) con respecto a las principales industrias que utilizan sus materiales (ver Tabla E).

Minerales	Producción en 10 ⁶ toneladas	Valor 10 ⁶ €	Empleos	Usos principales
Áridos	2.700	22.000	200.000	Obra civil, fabricación de hormigón, mortero, balasto y escollera
Rocas ornamentales	17	5.000	190.000	Elementos estructurales y de decoración de edificios y materiales funerarios
Cementos	166	10.000	55.000	Producción de morteros y hormigones
Yesos y escayolas	25	3.000	20.000	Escayolas y prefabricados de yeso y escayola, fabricación de cemento, moldes, aditivos en la alimentación, etc.
Cales	22	4.000	11.000	Siderurgia, acerías, industrias químicas, construcción y materiales de construcción, protección del medio ambiente, agricultura y gestión forestal, producción de azúcar, etc.
Minerales industriales	90	6.000	19.000	Papeles y cartones, productos cerámicos, plásticos, cauchos, vidrios y fibras de vidrios, fundiciones, filtración, fertilizantes, productos alimentarios, farmacia, cosméticos, etc.
TOTAL	3020	50.000	495.000	

TABLA D

Aspectos socio-económicos de la industria extractiva europea

industrias manufactureras utilizan las rocas y minerales como materia prima. Las rocas y minerales se emplean también como agentes de tratamiento en un buen número de procesos productivos (la dolomía y las calizas utilizadas como fundente en la siderurgia, la cal en la industria azucarera, las bentonitas en las perforaciones petrolíferas, las arenas en las fundiciones, etc.). Sin olvidar sus usos en medicina y farmacia, como es el caso, por ejemplo, de los yesos para la fabricación de píldoras, escayolas y vendas quirúrgicas, e incluso en productos de

De una manera global, la industria extractiva europea tiene una producción anual de unos 3.000 millones de toneladas, lo que representa una cifra de negocio próxima a 50.000 millones de euros y da empleo directo a unas 500.000 personas. Pero su importancia real reside en el hecho de encontrarse en la base de la pirámide productiva europea.

Efectivamente, las principales industrias dependientes de sus materiales emplean a más de 4 millones de personas y producen bienes por un valor de 700.000 millones de euros. Se ha estimado que el 20 % del producto interior bruto de la Unión Europea es dependiente, de una u otra forma, de la industria extractiva.

Esta parte tan relevante de la economía y su contribución al bienestar y a la prosperidad de Europa, depende, claramente, del suministro sostenible de minerales.



Algunas aplicaciones industriales

Aplicaciones	Valor 10 ⁶ €	Empleos	Contenido en rocas y minerales
CONSTRUCCIÓN			
Hormigones	38.600	290.000	100%
Obra civil (áridos, etc)			100%
Vidrios	26.800	250.000	100%
Productos cerámicos	20.000	250.000	100%
Ladrillos y tejas	6.600	72.000	100%
Cementos, cales y yesos	38.600	292.000	100%
Piedras ornamentales	5.300	71.000	100%
OTRAS INDUSTRIAS			
Abrasivos	9.300	69.000	100%
Caucho	31.200	300.000	Hasta 50%
Plásticos	95.300	835.000	Hasta 50%
Pintura	26.000	150.000	Hasta 70%
Papeles y cartones	43.000		Hasta 30%
Productos cerámicos			100%
Refractarios			100%
Silicona y ferrosilicona	25.000	3.000	100%
Fundiciones	30.000		Agente de proceso
Química de base	154.000	595.000	Variable
Farmacía	65.000		Variable
Filtros minerales			100%
Azúcar			Agente de proceso

TABLA E
Industrias que utilizan las rocas y minerales

En su conjunto, la industria extractiva no metálica y no energética española tiene una producción anual de unos 485 millones de toneladas, lo que representa una cifra de negocio próxima a los 10.000 millones de euros y da empleo directo a más de 90.000 personas (ver Tabla F).

En el Anexo 1 se proporciona información más detallada sobre los mercados y los productos finales correspondientes a cada sector.

Minerales	Producción en 10 ⁶ toneladas	Valor 10 ⁶ €	Empleos directos
Áridos	379	2.650	40.000
Rocas ornamentales	9	3.700	6.000 (extracción) 28.000 (transformación)
Cementos	40,5	2.400	7.000
Yesos y escayolas	7	400	4.500
Cales	1,7	102	450
Minerales industriales	49	719	5.200
TOTAL	486,2	9.971	91.150
Datos estimados por las asociaciones			

TABLA F
Aspectos socio-económicos de la industria extractiva española 2001



2.3 Operaciones básicas de la industria: extracción, tratamiento y producción

Habida cuenta de la “geodiversidad” de las rocas y minerales y las condiciones de su explotación, existen múltiples alternativas para realizar el tratamiento del material desde su extracción en el yacimiento hasta la obtención del producto final. Los recursos minerales pueden encontrarse en forma de rocas masivas en regiones montañosas o de arenas en llanuras aluviales, pueden, asimismo, estar en la proximidad de la superficie del terreno o en las profundidades del subsuelo e inclusive pueden ser materiales casi puros o presentarse como una mezcla, etc. Por consiguiente, los procedimientos y equipos habrán de adaptarse a cada una de las circunstancias locales, constituyendo, de este modo, cada cantera un caso único en su género.

A pesar de no ser conveniente generalizar demasiado, sin embargo, hay grandes principios comunes al conjunto de las rocas y minerales que son objeto de este estudio. Es importante tener en cuenta que la apertura y la explotación de una cantera es una cuestión muy técnica, y que se trata de una actividad exigente y costosa que requiere una gestión eficaz.

En primer lugar, el yacimiento considerado debe ser meticulosamente localizado y evaluado en cuanto a su composición, la localización de las rocas y de los minerales útiles, sus dimensiones, el volumen de materiales estériles, etc. Este es el cometido de los geólogos que, mediante perforaciones y otros medios de exploración, calculan la extensión tridimensional del yacimiento y analizan sus cualidades y su estructura antes de iniciar la extracción. Cuando un emplazamiento potencial supera estas primeras pruebas, puede proseguirse con el resto del estudio de viabilidad (económica, etc.). Por último, puede prepararse la solicitud de permiso y autorización. Dentro de este marco, deben también planificarse las fases de las distintas operaciones y el futuro abandono, incluyendo los proyectos de restauración y de mantenimiento. En su conjunto, estos trabajos preparatorios duran, a menudo, varios años.



Retirada de la tierra vegetal

Las operaciones propiamente dichas suelen iniciarse con la retirada o descubierta de las capas de cobertera que recubren el yacimiento a explotar. De acuerdo con las prácticas actuales, se retira con precaución la tierra vegetal cultivable de la superficie y se separa del resto con el fin de poder reutilizarla en el lugar más apropiado cuando se realicen los trabajos de restauración. El resto de las capas de cobertera se utilizan para relleno según lo previsto en los planes de restauración.

Cuando el mineral está constituido por rocas duras, la extracción se realiza, generalmente, en bancos y frentes de 10 a 20 metros de altura, diseñados de tal manera que permitan un acceso fácil a los equipos de carga y a los camiones volquete o que sea posible la instalación de cintas transportadoras. Las masas rocosas son fragmentadas gracias a diversas técnicas entre las que destacan la perforación y voladura controlada, los medios hidráulicos, etc., retirándose luego del frente de extracción el material arrancado.



Voladura controlada con explosivos

Las etapas posteriores del tratamiento de la roca variarán según los diferentes tipos de industrias extractivas consideradas.

Para algunas sustancias, como es el caso de los **áridos**, la roca es sometida a un proceso de trituración preliminar en la propia explotación. Los bloques también pueden ser trasladados directamente al establecimiento de beneficio sin preparación previa. En casos muy poco frecuentes, como sucede con el talco, se clasifica manualmente la roca en la explotación con el fin de separar los bloques de calidades diferentes.

En ocasiones la roca permanece masiva y en bloque, como ocurre con las rocas ornamentales o con los áridos destinados al acondicionamiento de diques y escolleras. Sin embargo, generalmente, la roca suele triturarse y clasificarse mediante cribado. La industria extractiva ha adquirido un alto grado de capacidad técnica para obtener áridos con características variadas (en tamaño, forma, pureza, etc.), lo que es importante incluso para la obtención del más simple de los productos acabados.

La explotación de sedimentos no consolidados, tales como las arenas y gravas, no suele requerir trituración, en su fase inicial. Estos materiales se obtienen en las graveras, simplemente, por excavación del yacimiento (terrazas aluviales, etc.) o, incluso, por dragado del fondo cuando se trabaja bajo el agua. La materia prima es luego transportada, procesada y expedida, como en el caso de las rocas masivas.

En el caso de la fabricación del **cemento** (en vía seca), las rocas carbonatadas se mezclan con arcillas, cenizas y otros materiales antes de ser pre-calcinadas y posteriormente sometidas a cocción a temperaturas de unos 1400° - 1500° C para formar el clinker. Finalmente, este clinker es molido y mezclado con pequeñas cantidades de yeso para formar el cemento. Existen diferentes tipos de cementos para diversas aplicaciones, en función de los aditivos añadidos durante las operaciones de molienda, tales como cenizas volantes, escoria o calizas.

La preparación de la **cal** (y de la cal hidráulica) es prácticamente idéntica a la del cemento, a excepción del tipo de mezcla a realizar. La caliza pura o la creta (CaCO₃) es calcinada en medio oxidante en hornos de alta energía con el propósito de obtener óxido de calcio (CaO) a una temperatura entre 900° - 1300° C (1200° C para las cales hidráulicas). Los productos son, por último, molidos en polvo fino y luego embalados y almacenados en silos antes de su entrega. En numerosas aplicaciones, la cal es luego rehidratada o apagada para obtener Ca(OH)₂.

El grado de tratamiento aplicado a los **yesos** viene determinado por su utilización final. Los yesos destinados a la producción de cemento requieren, únicamente, una molienda a 1,25 cm. Para su utilización en otras industrias, el yeso crudo o aljez, previamente molido, se cuece en calderas u hornos rotatorios a una temperatura de 250° C. El hemihidrato producido se conoce con el nombre de yeso o escayola y se utiliza para fabricar productos en polvo para la construcción o elementos prefabricados.

Suelen extraerse en canteras a cielo abierto, salvo las pizarras que se extraen, en ocasiones, en minas subterráneas. El procedimiento habitual consiste en separar del macizo un bloque bruto de roca ornamental de unas 50 toneladas de peso empleando, para ello, tanto fracturas naturales, como la aplicación de técnicas tales como explosivos suaves, perforaciones, hojas de sierra y cables diamantados [7]. Más recientemente, se ha extendido la utilización, como técnicas de extracción, de chorros de agua a muy alta presión o también de equipos hidráulicos. En las instalaciones de preparación anexas a la cantera o en los talleres de corte especializados, los bloques son directamente transformados en losas y bloques de cualquier forma y tamaño, utilizando para ello sierras múltiples, cortadoras de bloques, sierras de disco giratorio, etc. El acabado superficial implica, por último, el pulido, el corte o el tallado mediante equipos mecanizados o por artesanos especializados en la talla de la piedra.



Corte de bloque en cantera de rocas ornamentales

Los métodos de producción de los **minerales industriales** varían considerablemente con la naturaleza del mineral y/o con las aplicaciones previstas. Como regla general, las especificaciones de calidad físico-químicas son elevadas y requieren la utilización de procedimientos relativamente sofisticados. La producción de minerales industriales puede dividirse esquemáticamente en cinco etapas fundamentales, según se indica a continuación:



Cuando se añade agua para formar la pasta, el material calcinado la absorbe y fragua rápidamente, recuperando la estructura de dihidrato.

Las **rocas ornamentales** existen en la naturaleza bajo la forma de rocas masivas y duras del tipo mármol, granito, etc.

Durante las etapas de lavado y separación, los minerales se clasifican por su densidad relativa obteniéndose una o, dependiendo de las circunstancias, varias fracciones merecedoras de interés económico. Tras una fase de secado, el mineral es molido para obtener un polvo fino. Este polvo pasa luego a través de equipos de clasificación que tienen por objeto separar las

partículas por su densidad, por sus propiedades magnéticas, etc. Por otra parte, ciertas clases de producto han de encontrarse en husos granulométricos muy estrechos que, en ocasiones, no superan algunos micrones. En determinados casos es necesario mezclar diferentes calidades de producto de cara a cumplir las especificaciones del usuario final. El material, una vez así clasificado y preparado, es empaquetado o almacenado en silos para su entrega a granel.



Materiales listos para el consumo

