

Recursos litosféricos y medio ambiente

MANUEL VILADEVALL SOLÉ* Y ANA ISABEL DE PAZ MAGAZ**

*Dep. Geoquímica, Petrología i Prospecció Geològica. Universitat de Barcelona. Zona Universitaria de Pedralbes. 08071 Barcelona

Fax. 93 4021340

** Institut Cartogràfic de Catalunya. Parc de Montjuïc. 08038 Barcelona.

Fax. 93 4267442

RESUMEN

En el trabajo se destaca, que la explotación de recursos litosféricos, es una necesidad ineludible de la que depende el desarrollo de la sociedad en general y especialmente la de los países en desarrollo. A partir de un análisis de los procesos y problemas que las explotaciones mineras comportan, se pretende concienciar que dichas actividades deben de realizarse en concordancia con su entorno más inmediato, el medio ambiente del que forman parte. En consecuencia, se deben de utilizar todas las herramientas y técnicas disponibles para que el beneficio de los recursos no afecten de manera irreversible al planeta.

Palabras clave: Recursos mineros, minerales, energéticos, rocas, medio ambiente, impacto ambiental

ABSTRACT

This paper focuses that geological resources is an essential need in the development of the society and specially of the developing countries. Taking into account the processes and environmental problems related to mining exploitation, these activities should be performed in a environment concordance. For these reason all the available environmental techniques and tools for a responsible exploitation of resources should be used.

Keywords: mining resources, minerals, energetics, stones, environment, environmental impact.

1. LA IMPORTANCIA DE LOS RECURSOS LITOSFÉRICOS. INTRODUCCIÓN

Como tales recursos, se entienden las sustancias minerales (metálicos e industriales), los productos energéticos (crudos petrolíferos, carbón en sus diferentes variedades, gas y minerales radioactivos), las rocas y el agua, situadas en la parte superior de la corteza terrestre y susceptibles de ser aprovechadas para su uso en crudo y/o mediante transformación previa, para el disfrute por la sociedad.

Las denominaciones de Edad de Piedra y Edad de los Metales y entre ellos la Edad de Bronce y la Edad del Hierro, revelan la importancia de los recursos litosféricos y el papel preponderante que han jugado en la cultura humana y en su evolución social y tecnológica. Como reflejo de este reconocimiento basta la cita del autor del Arthasastra (tratado político de la antigua India), en el 400 a.C., indicando que: "las minas son la fuente del tesoro público; el tesoro permite la creación del ejército. El tesoro y el ejército permiten conquistar el mundo " (Giraud, 1985).

La introducción y uso de estos recursos por el hombre, ha sido la causa y el efecto del desarrollo de todas las sociedades en sus aspectos socioeconómicos y culturales como por ejemplo, el desarrollo de máquinas y he-

ramientas que posibilitaron la evolución de la agricultura. Mas recientemente, una combinación de dos recursos litosféricos como el hierro y el carbón, han sentado las bases de la revolución industrial del siglo XIX que nos alcanza hasta la actualidad y aún más recientemente, la asociación de diversos elementos tales como Si, Li, T.R., Se, etc., extraídos de una serie de minerales, son el cuerpo de la electrónica y esta de la informática.

La utilización de metales tales como el oro y la plata, han propiciado la evolución y el desarrollo del sistema económico y con éste el crecimiento de los grandes Imperios y de la sociedad actual, tanto bajo el punto de vista tecnológico como el financiero y cultural.

Con todo lo expuesto, resulta pues evidente que la extracción y el beneficio de los recursos litosféricos es una necesidad de la sociedad industrializada y que su desarrollo en todos sus campos, es gracias a su utilización. El problema surge en la actualidad cuando en aras de la denominada calidad de vida, la explotación de los recursos despierta cierto rechazo, debido, sin lugar a dudas, a una deficiente gestión del equilibrio natural.

La visión de esta mala gestión queda reflejada en el propio paisaje o entorno. Éste presenta dos aspectos diferenciados en cuanto a sus efectos, pero concomitantes:

El primer aspecto, de tipo visual, y en una concepción estética, fue en un principio presentado, y en algunos casos exaltado, como la demostración del desarrollo tecnológico de la sociedad, adquiriendo en algunos aspectos cierto valor estético- paisajístico e incluso como declaración de monumentos de la humanidad. Este es el caso de las extracciones romanas de oro de Las Médulas, en la provincia de León (Norte de la Península Ibérica), realizadas durante los dos primeros siglos de nuestra era y que hasta el siglo XIX, fueron consideradas las mayores explotaciones mineras del mundo y declaradas como Monumento Nacional en 1931. En otros casos, como las mundialmente conocidas explotaciones mineras de Río Tinto en Huelva (SO de la Península Ibérica) y otras ubicadas en distintas partes del globo, fueron presentadas por la sociedad, hasta finales de los años setenta, como modelo industrial y de desarrollo y como tales, veneradas por su propio gigantismo.

El segundo aspecto, prácticamente obviado por la sociedad hasta la década de los sesenta, pero no olvidado por los científicos, es el denominado "Paisaje Geoquímico" en el sentido de Fortescue (1979). En este paisaje, confluyen todos los ambientes ubicados en el globo te-

rrestre tales como la propia Litosfera, la Atmósfera, la Hidrosfera, la Biosfera y la Pedosfera. Dichos ambientes dentro del sistema terráqueo se hallan en equilibrio y cualquier rotura o quebranto de uno de ellos, principalmente de la Litosfera, actúa de forma automática en el espacio y en el tiempo sobre todos los demás.

Bajo esta acepción, los recursos litosféricos que la sociedad en general solicitan, pueden subdividirse en tres grandes grupos: los recursos minerales y energéticos fósiles, el agua y el suelo. Estos, junto con la mano de obra, son definidos por "El Instituto Internacional de Análisis de Sistemas" (Arnould, 1984), como los recursos naturales fundamentales y son conocidos por las siglas WELMM (water, energy, land, minerals and man).

Los WELMM, no son independientes entre sí, ni cualitativa ni cuantitativamente, y por lo tanto son de difícil análisis y tratamiento por separado. Un desarrollo poco ajustado sobre uno o más de ellos, daría lugar a una desmesurada importancia o sobredimensión a los otros. En términos cuantitativos implicaría, por ejemplo, que si ejercemos una sobreexplotación de agua para el riego o uso industrial, ésta afectará directamente a la hidrosfera y en consecuencia, a medio plazo, a los otros recursos entre los que se encuentra el hombre. El efecto de dominó desencadenado, se iniciaría con la salinización de los acuíferos y en consecuencia un deterioro del suelo que implica por una parte, el uso de más energía junto con correctores de suelos (mas elementos minerales) para paliarlo, y por otra parte, malas cosechas. En definitiva dicho deterioro, converge hacia el hombre, ya que ello implica finalmente escasez de trabajo y en definitiva el hambre (el recurso hombre de los WELMM).

En este trabajo, a pesar de lo expuesto y por razones obvias de análisis y extensión, tan solo trataremos la incidencia de una parte de los recursos litosféricos, tales como los minerales, rocas y sustancias energéticas en general. No obstante en el análisis de los recursos que nos ocupa, siempre tendremos en cuenta a los otros indicados, por la mera acepción de la ubicación industrial que incide sobre el agua, la mano de obra y el territorio (en su vertiente urbana, industrial y agrícola).

2. PRODUCCIÓN Y DEMANDA

Entre los minerales metálicos, por sus peculiaridades socioeconómicas, cabe destacar el oro. Se considera que desde la Prehistoria hasta el año 1977, la humanidad ha extraído de forma globalizada, unas 100.000 toneladas

de este metal, de las cuales 90.000 se produjeron en el período entre los años 1493 y 1977 (Bache, 1982). Desde esta última fecha hasta la actualidad, su producción minera ha sido de unas 25.000 toneladas lo que significa que, desde los tiempos mas remotos hasta nuestros días, la cifra ha sido de unas 125.000 toneladas (el 20% se ha producido tan solo en los últimos 17 años). El valor globalizado, considerando el precio actual (1.800 ptas. el gramo), es de unos 225 billones de pesetas.

Si bien es un metal bien conocido por todos, lo primero que uno se pregunta es ¿para que sirve el oro? y en función de esta reflexión la siguiente cuestión que se plantea puede ser: ¿cual es su demanda?. Tal como observamos en la Fig. 1.a., la mayor parte de la demanda en 1993 (un 71%), se dirige hacia un aspecto tan superficial como es la joyería, mientras que tan sólo un 13,6% es utilizado por la industria. El resto se encauza hacia activos financieros y compras oficiales.

Para paliar la demanda, se presentan diversas ofertas (Fig. 1.b.), siendo la principal, en un 61%, el de la producción minera (incluida la parte de las ventas de los denominados Países Socialistas tales como China y antigua URSS), mientras que el resto, son proporcionadas en un 16% por el reciclaje (procedente de la joyería y de la industria) y el resto por las ventas de activos financieros y/o oficiales.

Haciendo un análisis temporal de la relación entre la oferta mundial de oro y el número de sus habitantes, con-

siderando que más de los 2/3 de ésta se dirige al uso personal en forma de joyas y monedas, observaremos tal como nos muestra Stoehr (1984), que en el año 1.800 esta oferta representaban 4,4 gramos/habitante, incrementándose en el año 1.900 a 9,6 gramos y de 22 gramos en 1980. Con esta tendencia para el año 2.000 la cantidad de oro sería unos 31,1 gramos/habitante, aspecto que parece demostrar, siempre que no cambie la figura de este metal, que la sociedad en general es y será cada vez más rica.

En definitiva, este metal de uso poco práctico pero objeto de grandes pasiones, es de suma importancia cualitativa en su aspecto social y de gran relevancia cuantitativa en su aspecto económico. En consecuencia y en la medida que la sociedad en general desee obtener su cuota en dicho metal, su demanda será cada vez más elevada.

Otra de las sustancias de fuerte arraigo en nuestra sociedad por su diversidad de usos, es el cobre o también denominado metal base.

Este metal, a pesar de las numerosas sustancias que en la actualidad lo sustituyen tales como el aluminio, fibras ópticas, etc., es uno de los más solicitados por la industria. Su incremento de demanda anual, en la Unión Europea, es del 1% (Crawson, 1994), si bien su incremento es algo inferior con respecto a otros de los denominados metales base., tales como el cinc (1,5%) y el aluminio (2%). Junto con el plomo, presenta una de las mayores tasas de reciclaje entre los metales, con el 40% y 50% respectivamente. Este último aspecto es el que ex-

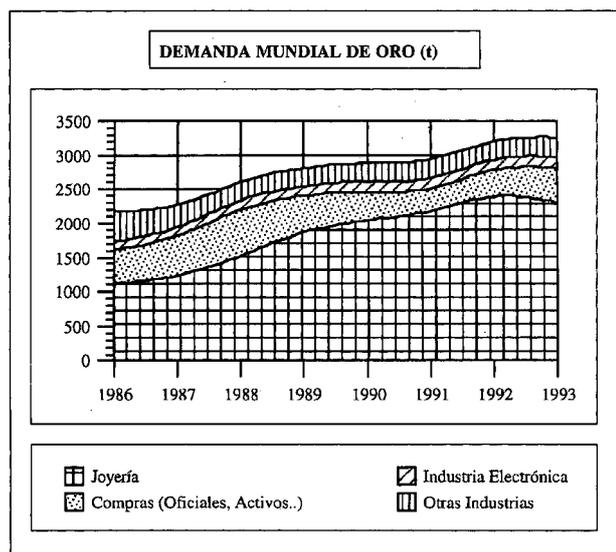


Fig. 1.a.- Fuentes: Mining Annual Review 1988; 1991 y 1994.

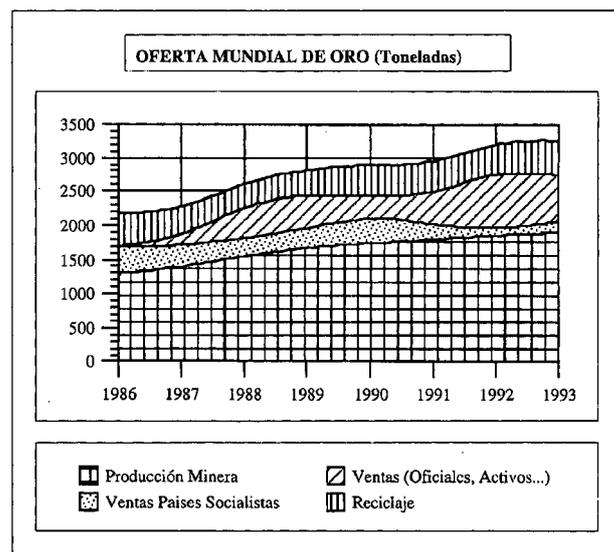


Fig. 1 b.- Fuentes: Mining Annual Review 1988; 1991 y 1994.

plica porqué la producción minera mundial de cobre, es inferior al de su refinado y en último término a su consumo, tal como se observa en la Fig. 2.

Otro grupo de sustancias de gran importancia cualitativa y de suma importancia cuantitativa, son los minerales industriales y las rocas (Fig. 3 y Tabla nº 1). El interés que estos dos grupos de sustancias representan para la sociedad, nos lo muestra en un ejemplo cotidiano McVey (1989): "Al levantarse uno -indica el autor- y al ver las paredes y techo de nuestra habitación observaremos que ambos llevan yeso; que los vasos, platos, tazas, la cafetera, etc., con los que nos hacemos y tomamos el desayuno, contienen boro, litio, carbonato de sodio, caolín, etc.; si además leemos un periódico o revista, ambos llevan caolín, carbonato y sulfato de sodio y por último que las prendas con las que nos vestimos, han sido lavadas con detergentes que contienen una elevada proporción de sulfato sódico, fosfatos, zeolitas, etc."

Si además consideramos que minerales industriales como los fosfatos y las sales potásicas constituyen la base de los abonos agrícolas (Bates, 1983 y Russell, 1988), tendremos que constatar que los alimentos guardan también, una relación directa con las sustancias minerales.

Las rocas industriales, de uso masivo principalmente en la obra pública y la construcción, sufren, cada vez más, una mayor demanda por parte de los Países Desarrollados (PD) mientras que los Países en Desarrollo (PVD) intentan alcanzar las cuotas de los primeros a fin de entrar en el codiciado espacio del desarrollo. En la ta-

bla 1 se observa el volumen de dichos materiales (siempre estimativos) y el valor que estos alcanzan, superiores en muchos casos al de los minerales metálicos.

Una prueba de la importancia de la producción de dichos materiales es el de los áridos tanto de machaqueo como de arenas y gravas, así como los valores por habitante que estos alcanzan en los países de la Unión Europea y los E.U.A. (tabla 2). A partir de esta tabla se puede realizar una proyección sobre la posible demanda de áridos para fin de siglo. En el supuesto de un consumo medio (entre PD y PVD) de 2 toneladas/habitante/año y unos 6.500 millones de habitantes para final de siglo, el consumo superará los 13.000 millones de toneladas o los 5.500 millones de metros cúbicos.

En cuanto a la producción de energía primaria (Fig. 4), observamos que esta crece de forma espectacular a partir de la década de los cincuenta de nuestra Era, para situarse en la actualidad alrededor de los 10×10^9 tep (toneladas equivalentes petróleo). Ello equivale, teniendo en cuenta los datos demográficos, a un consumo de unos 1,7 tep/habitante/año para 1994. Si comparamos el consumo actual con el de los años treinta, teniendo en cuenta que la producción en esta época era de $1,6 \times 10^9$ tep (Fig. 4), con una población de unos 2×10^9 habitantes, y en consecuencia un consumo de alrededor de las 0,8 tep/habitante/año, observamos que la proporción no se mantiene ya que el consumo en la actualidad es de prácticamente el doble del de los años treinta. Si tenemos en cuenta además, la existencia de una política de ahorro energético, fácilmente llegamos a la conclusión de que el consumo

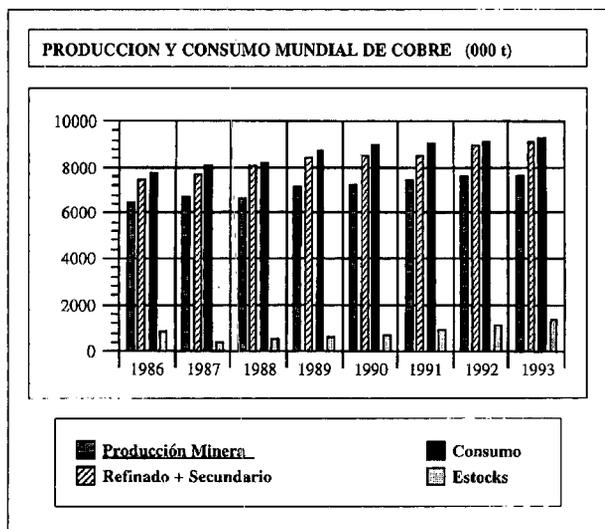


Fig. 2.- Fuentes: Mining Annual Review 1988; 1991 y 1994.

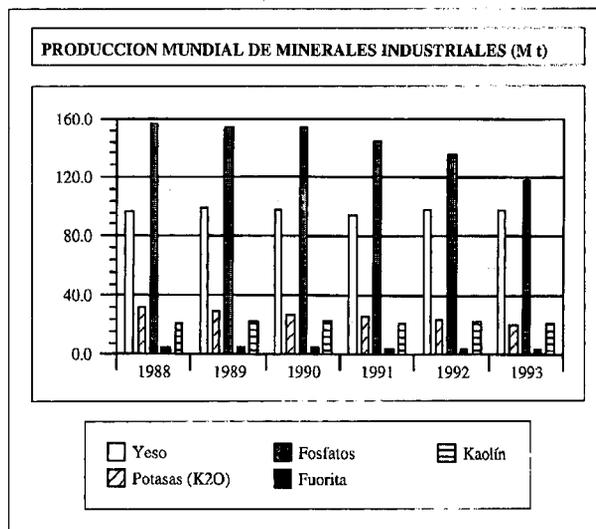


Fig. 3.- Fuentes: Mining Annual Review 1988; 1991 y 1994.

Tabla 1.- Producción Media Mundial de Minerales Industriales en 1986. Fuentes: Coope (1987) y Nötstaller 1988 modificado .

Table 1.- The World Industrial Minerals production average in 1986.

SUSTANCIA	Producción Mundial (000 t)	Valor medio US \$/t	Valor GLOBAL (000US\$)
Arenas y Gravas	8.004.000	3,5	2.801.400
Áridos	2.840.000	4,6	1.306.400
Cementos	1.012.000	58	58.696.000
Arcillas	430.000	5	2.150.000
Cal	112.000	57	6.384.000
Yeso	84.000	8-26	672.000
Piedra Ornamental	13.000	150	1.950.000

Tabla 2.- Producción de Aridos. Fuentes: Vignale, (1991) y Estadística Minera de 1988.

Table 2.- Sand and gravel and crushed stone production. Source: Vignale, (1991) and Estadística Minera de 1988.

PAÍS	Producciones (Mt) en 1988			Ratio t/hab./año
	Aluviales	R. Masivas	Total	
E.U.A.	836	1.130	1.966	8,10
Alemania	287	123	410	6,70
Francia	214	164	378	6,80
UK	130	161	291	5,20
Italia	167	118	285	5,00
España	27	85	112	2,90
Suecia	68	22	90	10,70
Austria	60	25	85	11,20
Suiza	44	11	55	8,20
Finlandia	42	8	50	10,10
Dinamarca	41	5	46	9,00
Bélgica	20	18	38	3,90

teórico por habitante y año, en la actualidad se habría triplicado con respecto al de la época de referencia.

En cuanto a los combustibles, si observamos la Fig. 4. y Tabla n°3, podemos ver que a excepción de la energía hidráulica, que únicamente representa el 10% de la producción energética, los recursos de los cuales se extrae la energía son claramente litosféricos (carbón, petróleo, gas y uranio). Otras energías (Tabla n°3), no consideradas como primarias, pero si convencionales para algunos países en desarrollo, como la madera, representaban en 1985 el 11,5% del total de la demanda, mientras que las energías alternativas o nuevas tan solo representaban en las mismas fechas el 2,7%.

3. CONCEPTO Y TIPOS DE IMPACTOS AMBIENTALES

Una vez definida la importancia de los recursos litosféricos, el problema que se plantea es la acción que la explotación de estos recursos ejerce sobre el medio ambiente. A los efectos de estas acciones se les atribuye el término de Impacto Ambiental.

Recogemos a continuación algunas de las definiciones dadas al término impacto ambiental:

Estevan (1984) propone que "es la diferencia entre la situación del medio ambiente futuro modificado, tal co-

Tabla 3.- Previsiones sobre la demanda mundial de energía. Fuentes: Conferencia Mundial de la Energía (Montreal 1989). En millones de tep.

Table 3.- The world energy demand forecast in milion pet. Source: The Montreal world energy conference in 1989.

ENERGÍAS	1973	%	1985	%	2000	%	2020	%
Carbón	1.612	26,00	2.116	27,6	2.816	26,0	4.051	30,0
Petróleo	2.507	40,50	2.497	32,5	3.088	28,5	3.543	26,0
Gas Natural	1.048	17,00	1.388	18,0	1.981	18,2	2.355	17,3
Hidráulica	291	4,50	445	5,8	642	5,9	1.043	7,7
Nuclear	43	0,70	324	4,2	637	5,8	1.133	8,4
Nuevas Energías (Madera)	4 698	0,06 11,20	19 880	0,3 11,5	70 1.625	0,6 15,0	365 1.055	2,7 7,7
TOTAL	6.203	100,0	7.669	100,0	10.859	100	13.545	100

mo resultaría después de la realización del proyecto y la situación del medio futuro tal como habría evolucionado normalmente sin actuación" e IGME (1986) lo define como "la variación en la calidad del medio ambiente, antes, durante y después del desarrollo de una determinada acción"

En la última definición se recoge el aspecto temporal del impacto que puede tener dos lecturas:

La primera lectura implica que en función de las tendencias y susceptibilidades sociales una gran obra de ingeniería minera puede ser considerada un ejemplo de prosperidad o de desastre ecológico. En el caso en que además intervenga un período de tiempo suficientemente grande para que la propia naturaleza se regenere, puede incluso llegar a ser patrimonio natural. Valga como

ejemplo el ya mencionado de Las Médulas, o el de Norfolk Broads (Gran Bretaña) donde un estudio en 1960 evidenció que el conjunto de ríos y lagos poco profundos de extraordinaria singularidad paisajística y riqueza natural constituidos en reservas naturales, eran hacia el año 1.500 unas explotaciones de turba (Bradshaw y Chadwick, 1980).

La segunda lectura es la que analizaremos en el siguiente apartado mediante el análisis del ciclo productivo, ya que los impactos producidos en la fase de prospección no son iguales ni en magnitud ni en profusión a los de la explotación o de abandono.

Las actividades extractivas producen en su entorno físico y social una serie de modificaciones que se pueden agrupar y definir de la siguiente manera:

- Impacto paisajístico-visual: debido a la generación de discontinuidades cromáticas y morfológicas en el paisaje
- Impacto hidrológico: por la posible alteración de las características físicas y químicas del agua como elemento y en los medios por los que circula ya sea superficial o subterránea
- Impacto edáfico: por la destrucción y alteración de las propiedades del suelo
- Impacto geotécnico: la alteración de las propiedades físicas del terreno pueden provocar inestabilidad geotécnica
- Impacto atmosférico: contaminación atmosférica debida a las labores de extracción, distribución y beneficio o tratamiento primario del material

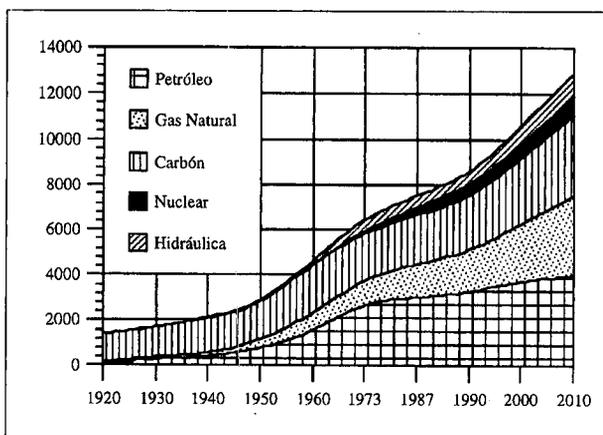


Figura 4.- Producción Mundial de energía primaria y proyecciones en Millones de tep. Fuentes: Odell, P. (1968) y XIV Congreso Mundial de la Energía (1989)

Figure 4.- The world primary energy forecast and production in Milions of pet. Source: Odell (1968) and the XIV world energy congress (1989).

- f). Impacto sonoro: ruidos y vibraciones debidas a la actividad o inducidas por esta.
- g) Impacto climático: por la alteración de los parámetros que estadísticamente definen el clima, evidentemente estos cambios se pueden producir a nivel de micro y mesoclima.
- h). Impacto ecológico: alteración, modificación o eliminación de las relaciones establecidas entre los diferentes seres vivos y el medio en el que viven.
- i). Impacto socioeconómico: alteraciones o modificaciones sociales y económicas de una zona por causa de la actividad extractiva de forma directa o inducida.

Aunque se han descrito cada uno de estos aspectos por separado, es evidente que todos ellos están relacionados directa o indirectamente entre si.

4. EL IMPACTO AMBIENTAL EN EL CICLO DE LOS RECURSOS LITOSFÉRICOS.

El impacto ambiental generado por las actividades extractivas a cielo abierto, varía con el tiempo atendiendo a las diferentes fases por las que pasa el proceso de explotación.

A continuación, se analizan cada una de las fases, considerando las diversas afecciones que se producen a lo largo de la actividad, desde que se plantea la posibilidad de explotación hasta que se abandona definitivamente el emplazamiento.

El ciclo (Fig. 5), se inicia con la exploración de los recursos, fase de localización en el espacio, mediante distintos métodos de prospección (Snow & Mackenzie, 1981).

I - Fase de prospección. En el desarrollo de la investigación minera, existen diferentes fases, sucesivas o simultáneas: la prospección geoquímica (primero estratégica y posteriormente táctica), sondeos a percusión, campañas geofísicas y por último sondeos con sus diferentes variedades. No siempre se realizan todas estas actividades, pero analizaremos los posibles efectos que cada técnica puede generar.

En general las labores de prospección minera producen impactos poco significativos, en algunos casos son nullos u ocasionales, similares a los de la industria forestal.

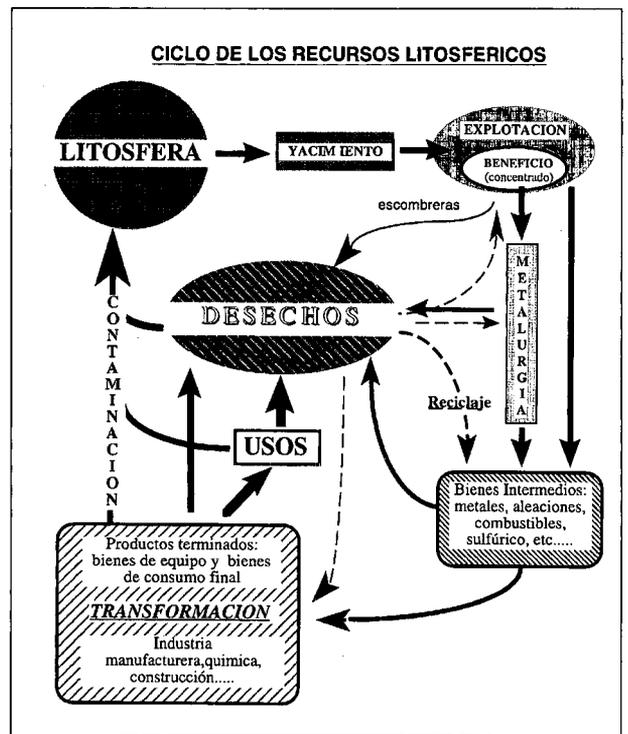


Figura 5.- Ciclo de los recursos litosféricos. Inspirada en Giraud (1983).

Figure 5.- The litospheric resources cycle. Founded in Giraud (1983).

La tabla 4 permite identificar los efectos que producen las diferentes técnicas, clasificables en:

- *Reconocimientos superficiales:* son las técnicas de cartografía geológica y prospección geoquímica. En el primer caso (cartografía) un especialista recorre la zona de investigación identificando los materiales aflorantes. En el segundo caso se realiza una recogida de muestras (rocas, sedimentos, suelos, vegetación, aguas y/o gases) para su posterior análisis y tratamiento en laboratorio. No producen afecciones ya que no interviene maquinaria ni existe movimiento de tierras.
- *Reconocimientos profundos:* son aquellas técnicas que permiten una penetración en el subsuelo. Existen dos procedimientos a) métodos directos: sondeos, generalmente con recuperación de testigo, así como catas y otras técnicas de muestreo y b) métodos indirectos: geofísicos, con los que mediante la medición de ciertos parámetros físicos, en respuesta a un campo de origen natural o artificial, desde la superficie del terreno, se puede llegar a identificar la estructura del subsuelo. Estos métodos de prospección requieren el uso de instrumentos y maquinaria que pueden provocar alteraciones.

II - Fase de explotación. Numerosos autores tales como, Down and Stocks (1979), Kelly (1988), Ayala y Vadillo (1989) y Sengupta (1993), entre otros, han tratado sobre la problemática ambiental que los recursos litosféricos en el sentido amplio, ocasionan durante esta fase.

El impacto ambiental como valor absoluto aumenta a medida que avanzan las tareas de explotación ya que las afecciones aumentan en número y magnitud. Al ir creciendo la explotación, aumenta el área afectada, la percepción de la explotación se hace más evidente, el tráfico se intensifica, aumentan los volúmenes de estériles acumulados, etc. Por todo ello el impacto es creciente, pero no de forma exponencial o lineal ya que algunos tipos de impacto se mantienen fijos a partir de un cierto umbral, respondiendo al criterio de que pasar de un medio no afectado a uno algo alterado es más impactante que el cambio de un medio bastante alterado a uno que lo esté mucho más.

Los efectos de esta fase de explotación, tanto de forma cualitativa como cuantitativa, suelen ser superiores en explotaciones a cielo abierto que en las subterráneas. Las acciones químicas por otra parte y en consecuencia, las que afectan al paisaje geoquímico, presentan diversos grados, según el tipo de sustancia o recurso del que se trate y también según el sistema de explotación.

Las rocas (Tabla nº1), por su gran variedad y volúmenes extraídos (Tabla nº5), así como por su amplia distribución geográfica, son las que mayor incidencia tendrían

en cuanto a la acción física, de entre todos los grupos de recursos. Su acción sobre el paisaje geoquímico es por sustancias individualizadas baja, sin embargo de forma globalizada y por los volúmenes extraídos (cantidades de explosivos usados), su acción no debe ser minimizada.

Los recursos energéticos (crudos, gas, carbones y menas radioactivas), por sus aspectos cuantitativos (Tabla nº5), y cualitativos (diversidad de efectos en función de sus volúmenes extraídos y presencia de infinidad de sustancias orgánicas e inorgánicas), así como por su distribución geográfica (su explotación actúan directamente, como en el caso de los crudos, sobre mares y océanos), son los que ocuparían un segundo lugar en el rango de la acción física sobre el ambiente y un primer lugar sobre la acción en el paisaje geoquímico.

Los minerales metálicos y algunos de los minerales industriales, ocuparían un tercer lugar en cuanto a su importancia cuantitativa (volúmenes extraídos), y no por ello una menor incidencia medio ambiental. En cuanto a las acciones sobre el paisaje geoquímico, a pesar de la gran diversidad de elementos liberados por la variedad de sustancias tratadas, su acción se situaría, por los volúmenes extraídos, a un nivel algo inferior con respecto a los efectos de los energéticos.

Las acciones que ambos recursos originan sobre el medio, son de tipo directo, como por ejemplo la contaminación por metales liberados, propios de la explotación, e indirectos, como la acción de las aguas ácidas ori-

Tabla 4.- Relación entre impactos y técnicas de prospección.

Table 4.- The prospection techniques and environmental impact relations.

Reconocimiento	SUPERFICIAL		PROFUNDO	
	TÉCNICA	GEOQUÍMICA CARTOGRAFÍA	GEOFÍSICA	SONDEOS
IMPACTO				
ATMOSFÉRICO				
CLIMÁTICO		-	-	-
ECOLÓGICO		-	-	-
EDÁFICO		-	-	residuos
GEOTÉCNICO		-	-	-
HIDROLÓGICO				
SUPERFICIAL		-	-	lodos
SUBTERRÁNEO		-	-	bombeos escasa importancia
PAISAJÍSTICO - VISUAL		-	-	maquinaria (momentáneo)
SONORO		-	Sísmica	proximidad a población (limitado)
MOLESTIAS SOCIALES		-	Ocasional	ocupación campos de cultivo

Tabla 5.- Volumen en (m³) de materiales litosféricos removidos para la extracción de algunos recursos en 1993. * sustancias de la tabla 1 proyectadas a 1993

Table 5.- The litosferic materials (in cubic meter) moved for some minerals extraction * holding table n°1 materials to 1993.

Metales Base (Bauxita, Cu, Pb, Zn)	360.000.000
Metales Preciosos (Ag, Au, Pt)	130.000.000
Hierro	782.000.000
Energéticos (Hulla, Lignito, Uranio)	5.205.000.000
Industriales (Potasas, Fosfatos, Fluorita, Caolín)	144.000.000
Rocas *	7.567.000.000
TOTAL	14.188.000.00

ginadas en el proceso sobre otros materiales del entorno geológico, como por ejemplo en las rocas carbonatadas, fosfatadas, ferruginosas, etc. liberando y/o removilizando una serie de elementos como el Pb, Zn, Cu, etc. en el caso de los carbonatos) o dando lugar a precipitaciones (Tarutis et al, 1992). Algunos minerales industriales, siempre y cuando la ganga o recubrimiento no sea de tipo sulfurado u oxidado, presentan comportamientos más próximos al de las rocas.

Comparativamente la acción física sobre el medio de la fase extractiva, es sensiblemente inferior al realizado, no tan solo de manera global, sino incluso de forma sectorial, por la obra pública (carreteras, autopistas, vías férreas, obras hidráulicas, etc.), así como por la construcción y por las tareas agrícolas y forestales, que en gran parte son la causa y el efecto de la extracción de los recursos indicados, lo que implica un efecto multiplicador sobre el entorno.

En cuanto a la acción sobre el paisaje geoquímico y de forma comparativa, los efectos producidos por la obra pública, construcción y agricultura, son inferiores tanto cualitativa como cuantitativamente, al de los minerales metálicos y energéticos a escala local, similares o mayores a nivel regional y muy superiores a escala global. Hay que tener en cuenta que las excavaciones, del tipo que sean rompen el equilibrio entre los materiales litosféricos, actuando en consecuencia, los agentes de la oxidación e hidrólisis con los efectos ya mencionados.

III - Fase de beneficio. Ésta, por regla general y para la mayoría de los recursos, por razones de ubicación industrial (Butler, 1986), se localiza a pie de explotación y normalmente es sincrónica a la fase de extracción. En consecuencia la acción que ejerce sobre el medio ambiente, puede incrementar los efectos de la fase de explotación tanto en su aspecto físico como en el ámbito del paisaje geoquímico.

En la fase de beneficio, hay que diferenciar claramente las acciones físicas indicadas, de las químicas puesto que como en la fase anterior el proceso industrial de beneficio de los recursos no afectan en igual medida al entorno.

En las plantas de tratamiento de rocas industriales (machaqueo, cribado, corte, etc.), al igual que en la fase extractiva, la acción que se ejerce, es fundamentalmente sobre el medio físico tales como ruidos, polvos e impacto visual, siendo escasas las acciones químicas (hemos podido detectar ciertas anomalías geoquímicas en Ni, Mn, Fe y Cr procedentes de los molinos y machacadoras de canteras próximas a Barcelona). Las arenas y gravas en su fase de lavado afectan, por lo general, a los cursos fluviales aumentando los sólidos en suspensión que dan lugar a importantes alteraciones en los ecosistemas fluviales agua abajo de la explotación.

El tratamiento de beneficio en las otras sustancias (a excepción de los crudos y el gas), además de la acción física sobre el medio con características muy similares al de las rocas industriales, existe la acción química tanto en el proceso de lavado, como en el de separación por lixiviación o flotación de la sustancia útil de la parte estéril.

En este caso la acción no es tan solo la producida por la propia sustancia, mediante la liberación de elementos considerados como tóxicos tales como los calcófilos (Hg, As, Sb, Bi, Pb, Cu.....) y otros como el Cr, Fe, etc., sino también la producida por los compuestos químicos orgánicos e inorgánicos utilizados durante el proceso industrial de separación o lixiviación. Al igual que los primeros y tal como ya se ha indicado en la fase de explotación, los carbones pueden y en muchos casos ejercen, una acción directa sobre el paisaje geoquímico .

El ciclo de los recursos en lo que a la industria minera en sentido amplio se refiere finaliza en la metalurgia

y/o transformación a bienes intermedios tales como metales, derivados del petróleo, cementos, etc. En consecuencia, las acciones, bien conocidas, sobre el ambiente que ejercen estas industrias de transformación, no serán tratadas en este trabajo.

VI - Fase de abandono. El propio hecho de finalizar la actividad extractiva, elimina aquellos impactos producidos por la propia actividad de extracción y beneficio. Cesan las voladuras y la intensidad de tráfico disminuye, esto reduce a su vez el factor contaminación atmosférica al ser eliminados algunos focos de emisión. Otros impactos se estabilizan, aquellos debidos al crecimiento de la explotación, ecológico, edáfico, climático e hidrológico ya que no aumenta el área de afección y en general, los impactos disminuyen, principalmente por que se dismantelan las instalaciones fijas de tratamiento y transporte y se inicia la recuperación natural.

IV - Fase de recuperación. Tanto si se realizan labores de regeneración como si no, los impactos disminuyen paulatinamente. En el caso de que exista tratamiento se acelera el proceso de eliminación de impactos ya que la zona se acondiciona, estabiliza, revegeta, etc. En cualquier caso la curva de recuperación natural o forzada se hará asintótica respecto a un valor de impacto, ya que éste nunca podrá llegar a ser nulo en sentido absoluto ya que la zona nunca volverá a su estado original.

5. ¿SON INELUDIBLES ESTAS AGRESIONES AL MEDIO AMBIENTE?

Para determinar lo ineludible de las agresiones al medio ambiente hay que razonar con anterioridad cuales son las causas. Éstas hay que encontrarlas en la propia industria minera, condicionada a su vez, por dos aspectos propios de los recursos:

El primero de ellos, es el de su ubicación ambiental (según conceptos socioeconómicos), de dicha industria. En efecto: los recursos litosféricos de interés económico, son una rareza de la corteza terrestre y como tal, por condicionantes estrictamente geológicos, se sitúan en zonas anómalas y por lo tanto muy localizados.

Consecuencia de ello, una parte de los recursos, como sustancias energéticas, menas metálicas y minerales industriales de elevado valor económico, por los imperativos del transporte o por sus agresiones ambientales, no podrán ser explotados u ordenados territorialmente según el deseo del consumidor (reducción de costos) y/o

planificador (gestión ambiental). Otros grupos de recursos, por su abundancia y distribución estadística en la Litosfera, como es el caso de materiales de uso como rocas industriales (áridos), sí podrán planificarse pero siempre cerca de las zonas de consumo para abaratar costos.

Esta planificación implica que cuando las agresiones físico-químicas sobre el medio, indicadas con anterioridad, sean elevadas, deberán reubicarse hacia zonas en las que éstas queden minimizadas a nivel de sensibilidad social. Tanto si la explotación se sitúa en una zona próxima a un asentamiento urbano o alejado de ella, su reordenación no impedirá una agresión físico-química sobre el "paisaje" en general o el "paisaje geoquímico" en particular.

Un segundo aspecto, que incide sobre todos los recursos minerales y energéticos, a excepción de algunos de rocas industriales, y que indirectamente es el origen de la agresión sobre el Medio Ambiente, es el contenido cristal de los elementos con respecto a su tasa de concentración y a la ley mínima de explotación (Figs. 6 y 7)

Observamos en la Fig. 6, que elementos como el aluminio, cuya mena principal es la bauxita, presentan una concentración media en la corteza terrestre (Clarke) de 8,13 %, si la ley económica es de alrededor de un 30%, para dar lugar a un yacimiento económico, su tasa de concentración deberá ser de cuatro veces el Clarke. Aún presentando este elemento un Clarke elevado y una tasa de concentración baja, el número de yacimientos económicamente rentables es muy reducido, aunque sus dimensiones sean considerables. En el polo opuesto se sitúa el oro: que presenta un Clarke de unas 2 µg/tonelada, unas leyes económicas medias de 4 g/t (muchos yacimientos se explotan hasta 2 g/t), una tasa de concentración de alrededor de 1.000 veces con respecto al Clarke

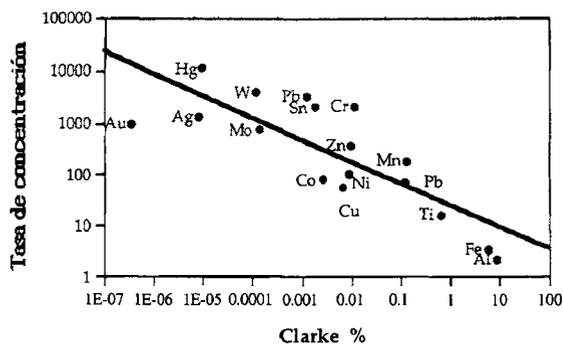


Figura 6.- Relación entre el Clarke y la tasa de concentración

Figure 6.- The Clarke and concentration rates relations.

y una distribución de yacimientos a nivel espacial elevada, pero con unas dimensiones, comparativamente con las de bauxita, muy reducidas.

Ambos aspectos (distribución y leyes) nos ayudan a comprender la importancia del tonelaje de los yacimientos, el número de estos y su distribución en el espacio.

Si representamos en un gráfico como el de la Fig. 7 la ley media de un yacimiento y el porcentaje de los residuos que estos generan podremos comprender de manera globalizada la magnitud de la agresión ambiental en su sentido genérico y sus efectos sobre el "paisaje gequímico" en su amplia expresión.

Cuanto más baja es la ley, mayor proporción de residuos o estériles obtendremos de una explotación minera y cuanto mayor sean estos, mayor volumen y superficie ocuparán. En función de ello, mayor será la agresión física así como más elevada la tasa de oxidación e hidrólisis, y en consecuencia la liberación de elementos contaminantes (agresión química). Si a todo ello le añadimos una amplia proliferación (distribución dispersa) de explotaciones a nivel del globo, por la demanda existente de un metal o producto energético, comprenderemos que el problema ya no reside tan solo a nivel local o regional, sino que involucra a todo el planeta. Ejemplos globales nos lo darían los combustibles (tanto en su explotación como en su transporte, distribución y combustión). Entre los metales lo tendríamos de manera indirecta en el oro, cuya explotación es susceptible de contaminar toda la cuenca amazónica en mercurio (por recuperación del oro por amalgamación).

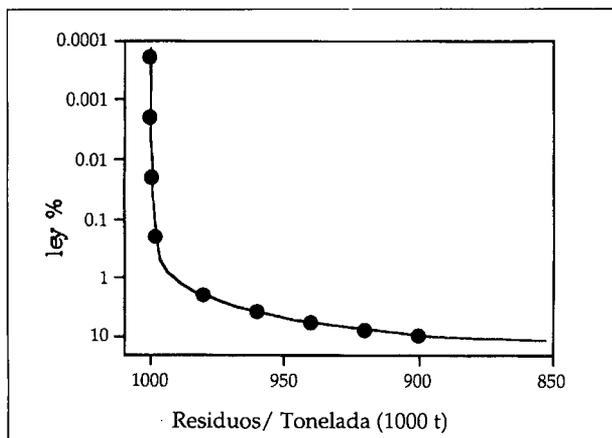


Figura 7.- Volúmen de residuos generados en función de la ley

Figure 7.- The mining waste volume generated according to ore grade

6. COMO PALIAR O MINIMIZAR LAS CAUSAS .

Una vez conocidas las necesidades de los recursos litosféricos así como las causas de las distintas agresiones medio ambientales, las soluciones que se presentan para paliarlas son de distintas escalas y ordenes de magnitud.

Como ya nos hemos referido en el trabajo, las acciones efectuadas para beneficiar los recursos sobre el medio ambiente, se suceden a lo largo del ciclo de las materias primas (Fig. 5) y en consecuencia el problema se centra sobre este ciclo en el momento de la demanda, mientras que ésta se halla condicionada por toda la serie de razones socioeconómicas expuestas.

Si en un momento dado la demanda desaparece, no hay necesidad de explotar aunque la agresión sobre el medio, por regla general, prevalece. En el caso de que la demanda se mantenga, dos opciones se pueden presentar : continuar con el problema a nivel local con lo cual se mantienen los beneficios que la explotación proporcionan pero también sus prejuicios medioambientales o trasladarlo a otra área geográfica importando la sustancia, con lo que el ciclo se traslada de forma global o en parte, de un lugar a otro.

Esta política de traspaso del problema de un lugar a otro, es muy extendida en la actualidad entre la industria primaria de extracción y/o transformación, sea minera o química, basándose en un principio económico elemental.

Mientras en las décadas anteriores a los ochenta la rentabilidad de una explotación se hallaba ligada a la desigualdad fundamental de:

$$P - (gi + ge + gb) > 0$$

en la que P = Precio del producto en el mercado; gi = gastos de investigación; ge = gastos de explotación; gb = gastos de beneficio. A partir de ésta década con la reglamentación medioambiental de los países de la OCDE, una serie de parámetros han sido incluidos dentro de esta desigualdad dando lugar a:

$$P - (gi + ge + gb + gr + ga) > 0$$

en dónde ga = gastos generados por el impacto ambiental y gr = gastos de restauración. Ello ha implicado por una parte, que explotaciones actualmente en activo han tenido que resituarse con la subsiguiente falta, en la mayoría de los casos de rentabilidad, o por otra parte, que este di-

ferencial de ($ga + gr$) ha debido o deberá de ser financiado por los distintos poderes públicos con las repercusiones económicas que ello implica.

Todo ello afecta principalmente a los PVD con legislaciones medioambientales, en algunos casos inexistentes o en otros algo precarias, en beneficio de los PD, ya que estos últimos no tan solo mantienen con este trasvase sus recursos, sino que de manera encubierta paliar el problema del medio ambiente en su territorio. No obstante a nivel global los problemas ambientales, al tratarse el conjunto de la tierra de un sistema cerrado, no se resuelven ya que tal como lo demuestra la problemática de la capa de ozono, lluvia ácida, contaminación de aguas continentales y océanos y en definitiva de todo el ecosistema terrestre, tienden a incrementarse.

6.1. A ESCALA GLOBAL.

A nivel global, teniendo en cuenta la situación socio-económica mundial como el crecimiento demográfico y de desarrollo de los (PVD), la previsión de la demanda futura de recursos debe de realizarse partiendo de los propios límites del crecimiento económico en un sistema medio ambientalmente sostenible (Meadows, 1992; Pazzini-Ferenci, 1992 y Common, 1988), con lo que la explotación de los recursos litosféricos deberán cumplimentar, además del ser aceptables para el medio ambiente, el de ser técnicamente factibles y económicamente justificables.

El objetivo sería el de la conservación de los recursos con un crecimiento económico aceptable, lo que implica unos incrementos mínimos de explotación.

Sin duda el establecimiento de precios elevados podría ser un fundamento suficiente para paliar la demanda, pero dicho aspecto, intentado en la década de los ochenta para los recursos energéticos, ha resultado negativo para los PD y doblemente negativo para los PVD, ya que no ha paliado la demanda y ha impedido además el desarrollo de ambos.

Por lo tanto, las medidas concretas parecen encaminadas preferentemente a la conservación, repartiéndose en tres puntos principales:

- a) Aumentando los rendimientos de los recursos mediante mejoras tecnológicas.
- b) Realizando cambios estructurales sustituyendo recur-

sos escasos por otros nuevos o reciclados y especialmente estos últimos, ya que además de disminuir la agresión por explotación se elimina, en parte, el problema de los residuos

- c) Consumir menos, mediante cambios de estilo de vida.

El hecho de "hacerlo mejor", es en la práctica casi una realidad en algunos campos energéticos como por ejemplos los recientes estudios realizados por Lees (1993). Este nos muestra que la eficiencia energética es una de las claves para paliar los problemas ambientales a la vez que aumentamos estos recursos. El estudio realizado en el Reino Unido (UK) nos muestra que la energía industrial pasó de 2.720 PJ (PJ = Peta joules = 10^{15} J = 1.6×10^5 bbl = 2.78×10^8 kw/h) en 1973 a 1.623 PJ en 1990 con un incremento de la producción industrial del 40%. Este fenómeno de incremento de la producción industrial junto con una disminución de más de 1.000 PJ representa un ahorro de 0.3×10^{12} kw/h. Ejemplos en UK lo tenemos en la industria del vidrio, utilizando sistemas informáticos, vidrio reciclado, nuevos fundentes, nuevos tipos de materiales refractarios, etc.

Los cambios estructurales se desarrollan tanto en el campo energético, utilizando energías alternativas, si bien su implantación, en muchos casos por no ser aún técnicamente factibles ni económicamente justificables son de lenta introducción, como en el ámbito de los recursos minerales y rocas. En éstos últimos asistimos cada vez más a la sustitución de materiales ambientalmente perjudiciales (tanto durante el procesos de transformación como en su estado de residuo), por otros, que a falta de valoraciones más específicas parecen cumplir los dos primeros puntos indicados.

Por último el cambio de estilo de vida que implique una reducción del consumo para la sociedad global, tan solo existe a nivel de grupos sectoriales muy reducidos y siempre dentro de los PD.

6.2. A ESCALA REGIONAL Y LOCAL

Sin perder de vista los distintos parámetros indicados para una macro escala, a nivel de comunidad los recursos deberá también ser racionalizados a partir de una gestión concreta y según los puntos indicados.

Así por ejemplo en un plan de reordenación minera de la Isla de Tenerife, hemos propuesto, una vez determinadas las necesidades en rocas industriales para obra

pública e industria de la Isla para los próximos 10 y 20 años, toda una serie de sectores en donde por sustancias, y solo en ellos, se pueda realizar una actividad extractiva. En este mismo proyecto, y en concreto en el caso del "Picón" o escoria volcánica, se propone explotar completamente conos volcánicos ya parcialmente trabajados y restaurar posteriormente el terreno, como si estos conos no hubiesen existido. El efecto que se pretende con esta medida es el de alcanzar un equilibrio entre las necesidades industriales de la Isla y su entorno paisajístico que podría valorarse como industria turística, concentrando la actividad en zonas ya afectadas y evitar que, con el tiempo, todos los conos volcánicos presenten las cicatrices de una ávida práctica extractiva desorganizada. Con ello no se limita el desarrollo pero se ordena de una manera más acorde con el paisaje que la Isla tubo hace 100 años y que la sociedad exige poder reconocer.

A nivel de la propia explotación, existen multitud de medidas simples que no implican necesariamente un sobrecosto de producción sino únicamente una buena organización y gestión de la explotación. El objetivo final es la restauración del medio afectado por la actividad.

Algunas de las medidas genéricas que mencionaremos a continuación deben tomarse en los estadios iniciales de explotación, otras durante las labores mineras y otras al finalizar éstas.

Limpieza. Con este término queremos identificar la eliminación de instalaciones fijas y móviles una vez acabada la fase de explotación. De esta manera no quedarán evidencias de la actividad realizada y se evitará el hecho probado de que la existencia de restos de maquinaria abandonada induce a la utilización de la zona como vertedero descontrolado y espontáneo por los habitantes de la zona. Evidentemente estas medidas deben ser acompañadas de otras que se mencionarán a continuación.

Apantallamiento. La forma más eficaz de evitar o minimizar el impacto visual, es la creación de pantallas visuales (naturales o artificiales) que limiten la visión de la explotación. Se trata de crear barreras arbustivas y arbóreas o bancos de estériles revegetados. Este último aspecto facilita la recuperación e integración de los estériles en el paisaje.

Los cambios en la orientación de los frentes de explotación y de los accesos así como de las técnicas de extracción, favorecen el ocultamiento de la actividad (ver diversos esquemas y recomendaciones en: Down & Stocks 1978, Tandy 1979 y Generalitat de Catalunya 1987).

Decapado. Se trata de la extracción selectiva del material edáfico que será utilizado al finalizar la actividad. De otra forma este material sería considerado como un estéril y vertido en las escombreras, sin tener en cuenta que es de gran utilidad para la posterior revegetación de la zona. Evidentemente esta medida debe acompañarse de un almacenaje y cuidados apropiados que permitan mantener las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Generalitat de Catalunya, 1987).

Aplicación y tratamiento edáfico. Una vez se abandonan los frentes de arranque y se les ha dado la pendiente y morfología deseada de restauración, se procede a extender la cubierta edáfica necesaria para la posterior revegetación, un espesor de 10 cm. es el mínimo recomendable según las características del sustrato. También se incluyen las técnicas de mejora y enmienda de suelos.

Revegetación. Por lo general la revegetación se realiza con las mismas especies que existen en el entorno. En ocasiones en que debido a la actividad extractiva, las características físicas y químicas han cambiado la revegetación se debe realizar con especies resistentes a las nuevas condiciones. La fase revegetativa debe incluir una progresión ya que ésta garantizará el éxito. Inicialmente se hará una siembra de gramíneas y leguminosas que prepararán el terreno para la posterior siembra de árboles y arbustos.

Arquitectura del paisaje. Una de las alteraciones más evidentes que provocan las actividades extractivas es la modificación morfológica de la zona de explotación. Por ello el diseño de una nueva superficie acorde con el entorno, que elimine las fuertes rupturas paisajísticas que genera la actividad, es sumamente importante.

Establecer redes de drenaje y trampas de sedimento son aspectos que deben tenerse muy en cuenta para evitar problemas de encharcamiento y erosión que pudieran repercutir en una inestabilidad geotécnica o dificultar la revegetación.

6. CONCLUSIONES

Del análisis del apartado de producción y demanda se extrae que la explotación de recursos litosféricos es una necesidad ineludible de la que depende el desarrollo de nuestra sociedad.

Que las explotaciones mineras y sus residuos provocan unas agresiones en el medio de carácter diverso y

que por ello estas actividades sufren, en general, cierto rechazo social.

Estas agresiones se clasifican por su acción sobre el medio en físicas y químicas siendo las primeras restringidas a un ámbito local, mientras que las segundas pueden tener implicaciones a nivel regional o global.

Para ello se sugiere tomar conciencia de que estas actividades deben realizarse de acuerdo con nuestro entorno más inmediato, el medio ambiente del que formamos parte y por lo tanto, utilizar todas las herramientas y técnicas de que disponemos para beneficiarnos de los recursos sin condenar a muerte nuestro planeta.

BIBLIOGRAFÍA.

- AYALA CARCEDO F.G. Y VADILLO FERNANDEZ, L. 1989. *Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería*. Serie Ingeniería Ambiental. ITGM.Ministerio de Industria. Madrid.
- ARNOULD, M., 1984: *Bases théoriques de l'interaction de l'homme et de l'environnement géologique*. In : (ed). 27th International Geological Congress. Series ed: 1-19.
- BACHE, J. J., 1982: *Les gisements d'or dans le monde*. BRGM.
- BATES, R. L. 1983: *Industrial Minerals and Rocks*. Inst. of Mining metall. and Petroleum Engineers, Inc.
- BRADSHAW, A.D. Y CHADWICK, M.J., 1980: The restoration of Land. Blakwell Scientific publications Oxford 1980. Edición traducida al catalán: *Restauració de Terres. Ecologia i recuperació de terres malmeses i degradades*. Manuals 4. Diputació de Barcelona. Barcelona 1988, 391 p.
- BUTLER, J., 1986: *Geografía Económica.. aspectos espaciales y ecológicos de la actividad económica*. México., Ed. LIMUSA.
- COMMON, M., 1988: *Environmental and Resources Economics*. Londres, Logman.
- COOPE, B., 1987: Industrial Minerals a statistical reviews. *Ind. Minerals Supli. Mining.Journal.* 308: 15.
- CRAWSON, PH., 1994: Future role of the European non-ferrous metal industries. *Minerals Industry International*. IMM. 1021:11-14
- DOWN C.G. y STOCKS, J., 1978: *Environmental Impact of Mining*. London. Applied Science Publishers.
- ESTEVAN, M.T., 1984: *Evaluación de Impacto Ambiental*. Fundación Mapfre, Madrid.
- FORTESCUE, J.A.C., 1979: *Environmental Geochemistry*. Springer Verlag.
- GENERALITAT DE CATALUNYA, 1987: *Recomanacions tècniques per a restauració i condicionament dels espais afectats per activitats extractives*. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Generalitat de Catalunya.
- GIRAUD, J., 1985: *Geopolitique de ressources minères*. Paris, Ed. Economica.
- I.G.M.E. (1986). *Criterios geoambientales para l restauración de canteras, graveras y explotaciones a cielo abierto en la Comunidad de Madrid*. Serie: Geología Ambiental, 86 p.
- KELLY, M., 1988: *Mining and Freshwater environment..* Amsterdam. Elsevier.
- LEES, E. W., 1993: The role of new technologies in reducing energy demand. *Natural Resources Forum* :288-293.
- MCVEY, H., 1989: Industrial Minerals Can we live without them?. *Industrial Mineral* :74-75.
- MEADOWS, D.H., D.L., MEADOWSAND J. Y RANDERS, J., 1992: *Más Allá de los Límites del Crecimiento*. El País Aguilar.
- MINING ANNUAL REVIEW, 1974 -1994. *Metals & Minerals*. Publishes by Mining Journal Ltd. London.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA, 1980-1990. *Estadística Minera de España*. M.E.E. Madrid
- NÖTSTALLER, R., 1988: Non-metallic Minerals and the Developing Countries: Patterns, Constraints, Initiatives.. *Natural. Resources Forum.* 12: 137-148.
- ODELL, P., 1968: *Geografía Económica del Petróleo*. Barcelona, Oikos-tau.
- PASTIZZI-FERENCI, D., 1992: Natural resources and environmentally sound sustainable development. *Natural Resources Forum* 3-10.
- RUSSELL, A., 1988: Potash. Long haul recovery under way. *Industrial Mineral* 16-34.
- SNOW, G. G. y MACKENZIE B. W., 1981: *The environment of exploration: Economic, Organizational, and Social Constraints*. Economic Geology 75th Anniversary Volume, 871-879.
- SENGUPTA, M., 1993: *Environmental Impacts of Mining*. London. Lewis Publishers.
- STOEHR, R.J., 1984: Gold. Some Thoughts on the current situation and a look ahead. *Mining Engineering* 232: 1519-1521
- TANDY, C., 1979: *Industria y Paisaje*. Instituto de Estudios de Administración Local. Madrid. p.386.
- TARUTIS, W.J.JR., UNZ, R.F. y BROOKS, R.P., 1992: Behavior of sedimentary Fe and Mn i a natural wetland reciving acidic mine drainage, Pennsylvania, U.S.A. *Applied Geochemistry* 7:77-86.
- VIGNALE, A., 1991: L'Industrie des granulats en France et en Europe. *Industrie Minerale-Mines et Carrières*. :80-82