

# El uso de la materia y la energía en la extracción y tratamiento de los minerales industriales españoles

**Sergio ALAN MORENO**  
UNIVERSIDAD DE SONORA

**José Antonio ESPÍ**  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

## Uso de materia y el metabolismo industrial

El metabolismo es un concepto biológico que se refiere a los procesos internos de un organismo vivo. Los organismos mantienen un intercambio continuo de materias y energía con su medio ambiente que permiten su funcionamiento, crecimiento y reproducción. De manera análoga, los sistemas sociales convierten las materias primas en productos manufacturados, en servicios y, finalmente, en desechos.

Según la socióloga y economista austriaca **Marina Fischer-Kowalski**, el análisis del metabolismo de la sociedad proporciona

*Como continuación de una serie de ensayos de aplicación de las distintas herramientas de gestión ambiental a la producción de minerales industriales en España, se aborda el análisis de flujo de materia y energía de este sector a partir de los datos suministrados por el Ministerio de Industria.*

*La variedad de circunstancias que concurren en la explotación de los minerales no metálicos es enorme, pese a lo cual la aplicación del análisis de consumo de materia y energía contribuye a caracterizar la posición ambiental de este sector y ayuda a dibujar el perfil energético y másico de la industria. Se concluye apuntando hacia nuevos estudios que, sin duda, optimizarían tanto su posición ambiental como su rendimiento económico.*

un marco para distinguir entre culturas, sociedades o regiones según sus relaciones características de intercambio con la naturaleza.

El metabolismo de la industria es un conjunto de procesos fisi-

cos integrados que convierten las materias primas y la energía, con la mano de obra, en productos acabados y residuos, en condiciones más o menos estables. El lado de la producción, por sí misma, no se autoregula. La estabilización del sistema se consigue mediante la acción humana. Su papel posee dos aspectos: directo, como mano de obra, e indirecto, como consumidor.

El sistema alcanza la estabilidad cuando suministro y demanda se compensan, a través del mecanismo de los precios. Así, el sistema económico es, en esencia, el mecanismo de la regulación metabólica.

El perfil metabólico característico puede ser utilizado para comparar diferentes modos de producción (cazadores y recolectores, sociedades agrícolas) en una amplia perspectiva histórica. También puede servir como una evaluación "rápida" de la presión que una so-



Restauración de las explotaciones de sulfato sódico de Santa Marta (Burgos)

ciudad ejerce sobre el medio ambiente. Esto contribuye a nuestra comprensión de las interrelaciones de los procesos naturales, sociales y económicos que son relevantes para el desarrollo sostenible. De esta manera, la productividad material total de un sistema socioeconómico es una medida razonable de la presión que ejerce sobre el medio ambiente.

### La idea de la desmaterialización

Los materiales empleados por las economías poseen diversos pesos cuando los agregamos en nuestros cálculos. Algunos de ellos, con bajo impacto ambiental, pueden sustituir a los de alto, incluso aumentando la cantidad global, y aun así, se estará produciendo un proceso de desmaterialización.

Para construir un buen sistema de indicadores que definan la desmaterialización, resulta esencial contemplar las relaciones entre flujos de materia y sus *stocks*. La desmaterialización es un concepto que puede ser contemplado desde varias visiones: un proceso industrial, una firma, un sector, un país, el mundo entero.

Así, por ejemplo, en un micro-nivel, un servicio puede ser producido con más o menos materia directa e indirecta. El uso de maquinaria más ligera o con menos masa resulta una posibilidad. En una visión de macronivel, pueden existir muchos factores que afectan al consumo de masa y energía: los cambios en la estructura económica (sector servicios sobre la industria pesada...) crecimiento económico, innovaciones tecnológicas, sustitución de materiales, incremento de la vida de los productos, el reciclado y otros.

### Los indicadores del consumo de materia

Para medir la cantidad de materia que una sociedad consume se han construido una serie de indicadores básicos, que engloban otros de carácter más particular.

\* El TMR (Total Material Requirement) consiste en la masa total de las materias primas extraídas de la naturaleza para sostener las actividades humanas. Por ello, TMR se usa como un buen indicador de las bases materiales de una economía.

\* El valor del TMR indica la presión genérica en el medio ambiente, suministrando información similar a la obtenida en el cálculo de las necesidades de agua o de energía.

\* En 1995, el TMR europeo alcanzaba 18.100 Mt o 49 t por habitante. Debido a su estructura de consumo de materias y a sus *"hidden flows"* (flujo de materia no evidente, como las toneladas de desmonte asociadas a una tonelada de carbón), los TMR europeos están dominados por la energía, los metales y las sustancias minerales.

La razón más importante de presentar Europa (49 t / habitante) un TMR inferior al de USA (84 t / habitante) se debe a un menor uso del carbón que en Norteamérica.

### Los análisis del flujo de materia y su significado

La cantidad y calidad del metabolismo industrial depende del análisis del flujo de materia, desde la extracción del recurso natural hasta su abandono como residuo.

Este análisis se puede dirigir a:

\* empresas, sectores y subsectores, comunidades, regiones y economías nacionales,

\* desde los años noventa, los análisis de los flujos de materia en un sistema de la Unión Europea se han denominado *"Material Flow Analysis"* o MFA, y

\* sin embargo, este análisis puede ser contemplado de dos maneras: como una estrategia de "destoxificación" del flujo material o bien como una "desmaterialización" del metabolismo industrial o social (*tabla 1*).

Mientras las estadísticas europeas en los años ochenta utilizaban los análisis del tipo de destoxificación, en los noventa se comenzaron a utilizar las cuentas de desmaterialización de la economía. Estas cuentas pueden suministrar los siguientes datos:

\* una visión general de la importancia de las materias en la economía,

\* introducirse en el metabolismo material de los sectores económicos,

\* bases para la construcción de indicadores de sostenibilidad, y

\* una información acerca de la eco-eficiencia de la economía nacional.

En la Unión Europea, los *stocks* físicos suponen más de 10 t por año. Ello resulta de la actividad de la construcción de viviendas y de las infraestructuras, además de otros bienes, como son los automóviles, muebles, etc. En el futuro se esperan crecimientos más importantes, ya que, por ejemplo, Alemania en 15-20 años doblará los escombros de la renovación de sus edificaciones al doble de la demolición actual.

	Destoxificación y reducción de la contaminación	Desmaterialización y eco-reestructuración
Objetos de interés preferente	Problemas medioambientales relacionados con impactos por unidad de flujo, de sustancias contaminantes específicas (Cd, Pb, Zn, Hg...) y materias (maderas, biomasa, plásticos...), dentro de ciertos sectores y regiones	Problemas de falta de sostenibilidad relacionados con el volumen y estructura de sectores industriales (de la construcción, Ind. Química, etc) y regiones, (balance total de masas, balance de flujo material, entradas de materias), asociados con sustancias y materias

Tabla 1.

Otro factor importante es la ocupación de territorio para nuevas construcciones, a expensas del terreno dedicado a los cultivos. El uso de recursos no renovables se asocia a cambios irreversibles en el paisaje y en el clima, mientras que una continuidad en esta extracción acarrea un cambio acumulativo en el medio ambiente.

En Europa, el uso de los combustibles fósiles es la mayor causa de los gastos directos de materiales, DMI (*Direct Material Input*), suponiendo casi el 33% del total.

El volumen y la composición de los materiales usados por cada país varían grandemente. A veces, un bajo consumo significa que estas naciones han sido capaces de organizar su producción con menor dependencia de los recursos no renovables. Si se compara el nivel de prosperidad económica con el uso de materias en varios países, resulta evidente que algunos son capaces de alcanzar niveles elevados de prosperidad económica, combinada con bajos consumos de materia.

Generalmente, es la minería y la industria pesada la culpable de los consumos más importantes de recursos no renovables.

La Unión Europea se encuentra enormemente interesada en los estudios de balance másico y energético de sus procesos industriales y, además, algunos países integrantes de la misma poseen sus propias cuentas, balances o tablas "input-output" de los materiales consumidos o transformados en sus industrias.

### Aplicación del Análisis del Flujo de Materia (FMA) a los minerales industriales españoles

Los minerales industriales españoles ya han sido estudiados, bajo el prisma de las herramientas de gestión ambiental (análisis *Coste Beneficio Ambiental*, ACBA), y también en una visión primera y general con el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (Espí y Berrezueta, 2005). Sin embargo, el Análisis de Flujo de Materia



Persistencia de los pasivos ambientales de las antiguas explotaciones de alunita ("alumbres") en Mazarrón (Murcia).

rara vez ha sido aplicado al sector extractivo, a pesar de que resulta uno de los principales factores del desmesurado uso de nuestra corteza terrestre.

Los datos de partida corresponden a minerales no metálicos considerados en "La Estadística Minera de España, 2002". Éste será, por lo tanto, el documento básico suministrador de datos de nuestra minería, necesario para los análisis siguientes, aunque en contados casos las cifras de partida admitan discusión, incluso en el nivel de producciones oficiales.

Además, estas estadísticas no se encuentran diseñadas para sacar consecuencias de rendimientos productivos y económicos, es decir, carecen de una estructura de cuenta de explotación, necesaria para establecer productividades y movimientos de materia y energía. Por ello, se ha recurrido al empleo de índices de consumos usuales de explosivo (150 g explosivo/tonelada arrancada, en minería de cielo abierto, y 450 g explosivo, en mina de interior) sobre tonelada movida, cuando sea posible su aplicación, a fin de estimar el movimiento de tierras o rocas. Por otra parte, el concepto de contratas puede traducirse en toneladas movidas, aplicando un coste medio de la tonelada movida por el contratista (1 /t).

Los minerales elegidos lo han sido en relación con las siguientes condiciones:

\* deben estar contenidos en la estadística oficial de 2002,

\* su producción debe ser algo significativa (>30.000 t/año de producto acabado), y

\* han de emplearse en la industria sin grandes alteraciones en su composición (por ejemplo, la magnetita usada como densificador de líquidos). De esta manera aparecen las producciones reflejadas en la *tabla 2*.

Tal como se puede apreciar, en la *tabla 2* la cantidad de pro-

MINERALES	PRODUCCIONES (2002) 10 <sup>3</sup> t
Baritina	50,1
Bentonita	123,5
Caolín Bruto	231,7
Caolín Lavado	419,5
Cuarzo	942,0
Espato Flúor	131,4
Talco	108,3
Celestina	171,3
Sulfato Sódico	946,9
Magnesita	637,1
Óxidos de Hierro	153,4
Sal Gema	2.559,8
Sal Marina	1.332,7
Sales Potásicas	677,6
Sepiolita	733,2
Trípoli	53,6
Turba	55,0
Feldespatos	548,9
Magnetita	50,0
<b>TOTAL</b>	<b>9.926</b>

Tabla 2.

ductos acabados no es excesiva, no llega a los diez millones de toneladas por año, a pesar de que España puede ser considerada un gran productor de minerales industriales.

Sin embargo, en el balance de materia movida por esta industria mineral habrá que considerar la llamada materia oculta y asociada ("rucksack") que en nuestro caso procederá de los siguientes conceptos:

- \* desmontes de escombros asociados al desmonte general en la minería a cielo abierto y muy moderadamente a la minería subterránea,
- \* a los residuos de la concentración cuando el proceso y el mineral lo requieran, y
- \* al incremento de la erosión por limpieza de la cubierta vegetal asociada al sistema productivo.

Al ser consideradas las toneladas ocultas, tal como aparecen en la *tabla 3*, el valor de movimiento total cambia sustancialmente.

Las 39,27 Mt movidas por la minería no metálica surgen de

aplicar una recuperación usual a los materiales de donde proceden los productos acabados y de considerar el desmonte necesario para obtener el mineral que entra en la planta de tratamiento. A lo largo de ese proceso se generan residuos procedentes de la concentración mineral en la planta de proceso y los escombros de exterior o de explotación subterránea, aplicando la razón de desmonte obtenida de las estadísticas oficiales.

Para descubrir afinidades, en cuanto a movimiento de materia se refiere, se ha construido un indicador,  $R_v$ , que es el cociente entre el movimiento de materia total (mineral vendible más los residuos de tratamiento más el desmonte de tierras necesario) y el producto acabado y dispuesto para la venta, es decir, la columna "Producción total" y la columna "Productos acabados" (*tabla 4*).

De esta manera, formamos cuatro grupos con los intervalos de  $R_v$  tal como figura en la *tabla 5*, así como la explicación de las afinidades encontradas.

También podemos reconocer el posible "aprecio" de los usuarios a la dificultad (en este caso traducida en toneladas movidas) de extracción de un mineral, en donde, en las condiciones de un mercado perfecto, su precio marcaría la situación de equilibrio entre oferta y demanda.

Naturalmente, en un principio y a sabiendas del alejamiento en las sustancias minerales de las condiciones de un mercado normal, el adentrarse en ese campo tan sólo persigue la corroboración o el descubrimiento de una lejana tendencia. Para ello, se ha construido un sencillo indicador,  $R_s$ , que relaciona el movimiento másico total en la explotación de un mineral con su precio en el mercado. A este fin se ha añadido a la tabla de "Producción total" una columna que recoge el precio más usual del producto acabado (*tabla 6*).

De nuevo, se intenta clasificar las producciones con arreglo al indicador:

$$R_s = (\text{Materia total movida (Producción total)} / \text{Valor de la producción}) \times 100$$

Los resultados de la agrupación según este índice son los reflejados en la *tabla 7*.

Desde luego, los indicadores de uso de materia no producen identificaciones de grupos de manera muy clara. Veamos, por lo tanto, si el consumo energético puede resolver la cuestión. Para ello comparamos la producción final de los materiales vendibles con el consumo específico de energía, que incluye tanto, los kwh consumidos en la producción de una tonelada de material vendible, como la conversión equivalente en kwh de los combustibles gastados en el proceso. La comparación aparece en la *tabla 8*.

La disparidad que se aprecia obedece a una falta de homogeneidad en los procesos, así como en la situación geológica (y geométrica) de los propios yacimientos. De esta manera se entrecruzan elevadas cantidades de flujo oculto de

MINERALES	Productos acabados 10 <sup>3</sup> t	Residuos Tratam. 10 <sup>3</sup> t	Mineral Planta 10 <sup>3</sup> t	Razón desm. t/t	Residuos explotac. 10 <sup>3</sup> t	Producción total 10 <sup>3</sup> t
Baritina	50,1	78,3	128,4	5,0	642,0	770,4
Bentonita	123,5	-	123,5	8,3	1.025,1	1.148,6
Caolin Bruto	231,7	-	231,7	1,0	231,7	463,4
Caolin Lavado	419,5	2.843,5	3.263,0	1,0	3.263,0	6.526,0
Cuarzo	942,0	-	942,0	2,9	2.731,8	3.673,8
Espato Flúor	131,4	246,6	378,0	1,6	604,8	982,8
Talco	108,3	-	108,3	2,6	281,6	389,9
Celestina	171,3	423,3	594,6	1,0	594,6	1.189,2
Sulfato Sódico	946,9	-	946,9	0,9	852,2	1.799,1
Magnesita	637,1	875,7	1.512,8	0,6	907,7	2.420,5
Óxidos de Hierro	153,4	-	153,4	2,7	414,2	567,6
Sal Gema	2.559,8	-	2.559,8	-	-	2.559,8
Sal Marina	1.332,7	-	1.332,7	-	-	1.332,7
Sales Potásicas	677,6	2.269,3	2.946,9	1,2	3.536,3	6.483,2
Sepiolita	733,2	-	733,2	8,3	6.085,6	6.818,8
Tripoli	53,6	-	53,6	-	-	53,6
Turba	55,0	-	55,0	-	-	55,0
Feldespatos	548,9	137,2	686,1	1,9	1.303,6	1.989,7
Magnetita	50,0	-	50,0	-	-	50,0
<b>TOTAL</b>	<b>9.926</b>					<b>39.274,1</b>

Tabla 3.

MINERALES	Productos acabados 10 <sup>3</sup> t	Producción total 10 <sup>3</sup> t	Indicador R <sub>v</sub>
Baritina	50,1	770,4	15,4
Bentonita	123,5	1.148,6	9,3
Caolín Bruto	231,7	463,4	2,0
Caolín Lavado	419,5	6.526,0	15,5
Cuarzo	942,0	3.673,8	3,9
Espato Flúor	131,4	982,8	7,5
Talco	108,3	389,9	3,6
Celestina	171,3	1.189,2	6,9
Sulfato Sódico	946,9	1.799,1	1,9
Magnesita	637,1	2.420,5	3,8
Óxido de Hierro	153,4	567,6	3,7
Sal Gema	2.559,8	2.559,8	1,0
Sal Marina	1.332,7	1.332,7	1,0
Sales Potásicas	677,6	6.483,2	9,6
Sepiolita	733,2	6.818,8	9,3
Trípoli	53,6	53,6	1,0
Turba	55,0	55,0	1,0
Feldespatos	548,9	1.989,7	3,4
Magnetita	50,0	50,0	1,0
<b>TOTAL</b>	<b>9.926</b>	<b>39.274,1</b>	<b>3,9</b>

Tabla 4.

R <sub>v</sub>	Agrupación	Características comunes
1-2	Sal Gema, Sal marina, Caolín Bruto, Sulfato Sódico, Turba, Trípoli, Magnetita.	Minería de disolución, aprovechamiento de residuos mineros, minerales con usos muy especializados.
2-5	Feldespatos, Óxidos de Hierro, Magnesitas, Talco y Cuarzo.	Explotación selectiva, poca necesidad de concentración.
5-10	Sepiolita, Bentonitas, Sales Potásicas, Celestina, Espato Flúor.,	Minería subterránea, necesidad de concentrar el mineral bruto, altos valores de desmonte.
> 10	Baritina, Caolín Lavado.	Plantas de concentración especiales.

Tabla 5.

materia (por condiciones geométricas desfavorables en la explotación) como uso de tecnologías consumidoras de energía, o bien el secado de los productos finales.

Para aclarar esta situación echaremos mano de ambos parámetros, consumo de materia y de energía al mismo tiempo. De esta forma se representan en la *figura 1* el indicador de consumo de masa R<sub>v</sub> y el consumo específico calculado anteriormente.

Los grupos de minerales separados muestran unas características muy diferenciadas de consumos de materia y energía

Hay que añadir que, realmente, tan solo el Grupo B de la *tabla 9* se muestra coherentemente en este análisis, ya que en este caso la energía consumida aumenta linealmente con el índice de movimiento de materia. En el resto, son las peculiaridades del proceso las que determinan el consumo de energía: sepiolitas, bentonitas y la minería por disolución.

### Consideraciones a partir del análisis de materia y energía

\* De manera general, las características de los minerales industriales desde el punto de vista del gasto de materia, señalan su ventaja sobre otros recursos naturales no renovables, debido a sus bajos índices de enriquecimiento (relación

de la riqueza del producto final sobre el contenido de mineral puro en la mena que se transporta a la planta de tratamiento). En muchos casos, este proceso se puede calificar como de mero acondicionamiento, ya que la riqueza de salida resulta similar a la de entrada.

\* La competencia entre los productores y también entre las sustancias alternativas, en la aplicación de un mineral de esta índole, hace que las cotizaciones de los minerales industriales no sufran fuertes variaciones, a excepción de los casos extraordinarios de irrupción de productores de bajo coste, como China en estos momentos, o la introducción de sustitutivos en una determinada aplicación. Sin embargo, este mecanismo, a la larga, no se muestra muy eficaz respecto a los precios finales, ya que, tal como se ha comprobado anteriormente, la

MINERALES	Producción total 10 <sup>3</sup> t	Valor de la producción 10 <sup>3</sup>	Indicador R <sub>s</sub>
Baritina	770,4	5.661*	13,6
Bentonita	1.148,6	12.595	9,1
Caolín Bruto	463,4	962	48,1
Caolín Lavado	6.526,0	28.773	22,6
Cuarzo	3.673,8	17.786	20,6
Espato Flúor	982,8	13.030	7,5
Talco	389,9	17.328*	2,2
Celestina	1.189,2	62.167	1,9
Sulfato Sódico	1.799,1	77.968	2,3
Magnesita	2.420,5	11.000*	22,0
Óxido de Hierro	567,6	3.434	16,5
Sal Gema	2.559,8	21.057	12,1
Sal Marina	1.332,7	51.475	2,6
Sales Potásicas	6.483,2	50.468*	12,8
Sepiolita	6.818,8	83.037	8,2
Trípoli	53,6	1.947	2,7
Turba	55,0	1.297	4,2
Feldespatos	1.989,7	21.558	9,2
Magnetita	50,0	2.000*	2,5
<b>TOTAL</b>	<b>39.274,1</b>	<b>483.543</b>	<b>8,1</b>

Tabla 6.

R <sub>s</sub>	Agrupación	Características comunes
1-5	Talco, Celestina, Sulfato Sódico, Sal Marina, Trípoli, Turba, Magnetita.	Se valora muy poco la masa utilizada. El resultado es muy dispar, ya que algunos minerales producen muchos residuos y otros no.
5-10	Bentonita, Espato Flúor, Sepiolita, Feldespatos.	Situaciones intermedias.
10-20	Baritina, Óxidos de Hierro, Sal Gema, Sales Potásicas.	Situaciones intermedias.
> 20	Caolín Bruto, Caolín Lavado, Cuarzo, Magnetita.	Valora muy bien los residuos generados, e incluso su propia materia, pero indica sustancias nada afines.

Tabla 7.

MINERALES	Productos acabados 10 <sup>3</sup> t	Consumo energético específico kWh/t
Baritina	50,1	23,7
Bentonita	123,5	179,5
Caolín Bruto	231,7	
Caolín Lavado	419,5	39,5
Cuarzo	942,0	43,6
Espato Flúor	131,4	35,9
Talco	108,3	62,0
Celestina	171,3	65,8
Sulfato Sódico	946,9	294,3
Magnesita	637,1	10,4
Óxidos de Hierro	153,4	28,4
Sal Gema	2.559,8	16,5
Sal Marina	1.332,7	
Sales Potásicas	677,6	61,9
Sepiolita	733,2	179,5
Trípoli	53,6	85,5
Turba	55,0	—
Feldespatos	548,9	102,7
Magnetita	50,0	—
<b>TOTAL</b>	<b>9.926</b>	

Tabla 8.

industria se muestra incapaz de apreciar aquellos grandes consumidores de energía y, más aún, de los importantes consumidores de materia.

\* En un mercado cada vez más competitivo por la aparición de nuevos agentes de producción, el suministrador actúa a la vez

sobre el control de sus costes y sobre la calidad del producto, tratando así de ganar una diferenciación de sus competidores. A partir de ahora, la calidad ambiental también se erige como un elemento más de diferenciación competitiva, y los productores españoles son muy cons-

cientes de ello. Sin embargo, aún no se considera el análisis de flujo de materia y de energía en sus memorias ambientales.

\* El perfil energético y de consumo de materia de una empresa o sector resulta fácilmente cuantificable y factible la elección de estrategias para escoger las calidades de yacimientos en cuanto a consumo de materia se refiere. Al mismo tiempo, hay que recordar que las políticas de búsqueda de tecnologías de bajo consumo de materia y energía coinciden con los objetivos de alcanzar mejores resultados económicos y sociales.

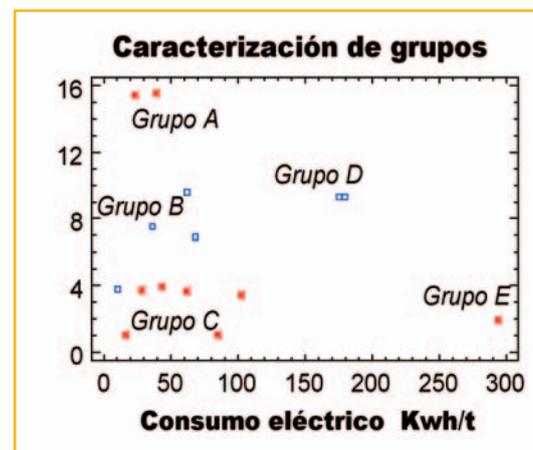


Figura 1.



Utilización de huecos de explotación como lagunas. Cuenca del Jarama.

## Bibliografía

Adriaanse, A.; Bringezu, S.; Hammond, A.; Moriguchi, Y.; Rodenberg, E.; Rogich, D. & Schütz, H. 1997. *Resource Flows: The Material Basis of Industrial Economies*. Washington DC, World Resources Institute.

	Minerales Industriales	Características
Grupo A	Baritina y Caolín Lavado	En su proceso se utilizan métodos no consumidores de energía, pero sin embargo, se desmonta gran cantidad de materia inservible, además de un importante proceso de concentración mineral
Grupo B	Magnesitas, Espato Flúor, Celestina y Sales Potásicas	Todos sufren un proceso de molienda y flotación, gran consumidores de energía, pero sin embargo el desmonte producido resulta no excesivo
Grupo C	Óxidos de Hierro, Cuarzo, Talco y Feldespatos Potásicos	Moderado desmonte durante la explotación en mina y energía variable, dependiendo del sistema de concentración
Grupo D	Sepiolita y Bentonita	Elevado desmonte en cantera y considerable consumo de energía por secado y manipulado en la misma planta de tratamiento
Grupo E	Sulfato Sódico	Elevado coste energético debido a la disolución en caliente y secado final del producto

Tabla 9.

Berkhout, F. 1998. *Aggregate resource efficiency: A review of evidence*, in: Vellinga, P. Dordrecht, Kluwer.

Fischer-Kowalski, M. 1998. *Society's Metabolism. The Intellectual History of Material Flow Analysis, Part I, 1860- 1970*. Journal of Industrial Ecology, Vol. 2, Nº 1, pp. 61-78.

Fischer-Kowalski, M. & Amann, C. 2001. *Beyond IPAT and Kuznets Curves: Globalization as a Vital Factor in Analysing the Environmental Impact of Socio-Economic Metabolism*, in: Population and Environment, 23: 7-47.

Finnveden, G. & Moberg, A. 2001. *Environmental Accounts and Material Flow Analysis and other Environmental Systems Analysis Tools*. FMS, Swedish Defence



Pie de foto.

Research Agency (FOI) and Stockholm University.

GUA. 2000. *Analysis of the Fundamental Concepts of Resource Management*. [www.europa.eu.int/comm/environment/nveco/waste/guareport](http://www.europa.eu.int/comm/environment/nveco/waste/guareport)

Matthews, E.; Amann, C.; Fischer-Kowalski, M.; Bringezu,

S.; Hüttler, W.; Kleijn, R.; Moriguchi, Y.; Ottke, C.; Rodenburg, E.; Rogich, D.; Schandl, H.; Schütz, H.; Van der Voet, E. & Weisz, H. 2000. *The Weight of Nations: Material Outflows from Industrial Economies*. Washington, World Resources Institute.

Muradian, R. y Martinez-Alier, J. 2001. *South-North Materials Flow: History and Environmental Repercussions, Innovation*, Vol. 14, No. 2, 171-187.

Espí, J. A. y Seijas, E. 2003. *El Análisis del Ciclo de Vida aplicado a los materiales de construcción: el granito ornamental de la Comunidad de Madrid*. Roc Máquina. pp 22-28.

Espí, J. A. y Berrezueta, E. 2005. *El análisis de la gestión de los recursos naturales: La Huella Ecológica como medida del esfuerzo de la naturaleza*. Agua, Minería y Medio Ambiente. Libro Homenaje al Pr. Rafael Fernández Rubio. Instituto Geológico y Minero de España. pp. 685-706.

Schandl, H. & Schulz, N. B. 2001. *Industrial Ecology: United Kingdom*, in: Ayres, R. U. et al. Handbook for Industrial Ecology, Cheltenham, Edward Elgar.

Steurer, A.; Schütz, H. & Eurostat 2001. *Economy-wide Material Flow Accounts and derived Indicators*. A methodological guide. Luxemburg, Eurostat.

Weisz, H.; Fischer-Kowalski, M.; Grünbühel, C. M.; Haberl, H.; Krausmann, F. & Winiwarter, V. 2001. *Global Environmental Change and Historical Transitions, Innovation*, Vol. 14, Nº 2, 117-142.



Pie de foto.