HUELLA ECOLÓGICA DEL CEMENTO

Cálculo de la huella ecológica de una industria cementera y propuesta de medidas de ingeniería sostenible destinadas a su reducción

JUNIO DE 2010

laboratorio de ingeniería sostenible

Autores:

Juan Cagiao Villar

Breixo Gómez Meijide

Juan Luis Doménech Quesada

Salvador Gutiérrez Mainar

Hortensia Gutiérrez Lanza

Fernando Martínez Abella

Mª Belén González Fonteboa

Universidade da Coruña

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Fundación de la Ingeniería Civil de Galicia

Laboratorio de Ingeniería Sostenible

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN AL DESARROLLO SOSTENIBLE Y HUELLA ECOLÓGICA 8
1.1. El desarrollo sostenible 8
1.1.1. Ámbito de aplicación y definiciones 9
1.1.2. Un desarrollo económico y social respetuoso con el medio ambiente 9
1.1.3. Justificación del desarrollo sostenible 10
1.1.4. Condiciones para el desarrollo sostenible 10
1.1.5. Crítica en el uso del término 10
1.2. Breve historia del desarrollo sostenible 11
1.2.1. El medio ambiente pasado por alto en el siglo XIX 11
1.2.2. Desde 1968 11
1.3. Campos de aplicación 14
1.3.1. Agricultura 14
1.3.2. Actividades productivas y de servicios 15
1.4. División de Desarrollo Sostenible de la ONU 15
1.4.1. Comisión de la ONU para el Desarrollo Sostenible 15
1.4.2. Medidas 16
1.5. El desarrollo sostenible en España 17
1.6. El concepto de huella ecológica 18
1.6.1. Definición 18
1.6.2. Cálculo 18
1.6.3. Aplicación y metodologías 19
1.6.4. La huella ecológica en el mundo 21

2. IMPACTO AMBIENTAL DEL HORMIGÓN Y MEDIDAS CORRECTORAS 23
2.1. Introducción 23
2.2. Vocabulario básico sobre residuos 24
2.3. Impacto ambiental de los componentes del hormigón 28
2.3.1. Introducción 28
2.3.2. Cemento Portland 29
2.3.2.1. Características generales 29
2.3.2.2. Uso de energía durante la producción de cemento Portland 29
2.3.2.3. Emisiones a la atmósfera 29
2.3.3. Agua 30
2.3.4. Áridos 30
2.3.5. Producción y transporte del hormigón 31
2.4. Reducción del impacto ambiental del cemento Portland 31
2.4.1. Reducción de la cantidad de cemento en la mezcla 32
2.4.2. Uso de sustitutos del cemento Portland 32
2.4.2.1. Cenizas volantes 32
2.4.2.2. Escoria molida granulada de alto horno 33
2.4.2.3. Humo de sílice 33
2.4.2.4. Escoria de cáscara de arroz 33
2.4.2.5. Metacaolín 33
2.4.2.6. Roca caliza molida 33
2.4.3. Sustitución de áridos naturales por materiales reciclados 34
2.4.3.1. Áridos de hormigón reciclado 34
2.4.3.2. Escoria de alto horno 35
2.4.3.3. Desechos plásticos reciclados 35
2.4.3.4. Vidrio triturado reciclado 35

2.5. Reducción del impacto ambiental mediante el uso de aditivos 35
2.6. Empleo de residuos como fuente de energía (valorización)..... 36
2.6.1. Utilización de residuos en plantas de cemento.....36
2.6.1.1. Aspectos derivados del alto consumo energético 36
2.6.1.2. Emisiones de dióxido de carbono (CO_2) 37
2.6.1.3. Ventajas de las plantas de clínker para la valorización energética de residuos .37
2.6.1.4. Limitaciones en la valorización de residuos por emisiones a la atmósfera.....38
2.6.1.5. Residuos susceptibles de tratamiento en plantas de clínker 40
2.6.2. Utilización de neumáticos fuera de uso.....41
2.6.2.1. Antecedentes.....41
2.6.2.2. Sistemas integrados de gestión de neumáticos fuera de uso.....41
SIGNUS Ecovalor.....42
Tratamiento de Neumáticos Usados – TNU 42
2.6.2.3. Neumáticos fuera de uso procedentes de desguaces de vehículos 43
2.6.2.4. El II Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2007 - 2015 43
2.6.3. Utilización de aceites usados.....45
2.6.3.1.Antecedentes.....45
2.6.3.2. Características de los aceites usados como combustible alternativo.....45
2.6.3.3. Alternativas de gestión de los aceites usados.....46
2.6.3.4. Regeneración de aceites usados.....47
2.6.3.5. Sistema Integrado de Gestión. SIGAUS 48
2.6.3.6. Objetivos ecológicos establecidos en el Real Decreto 679/2006.....48
2.6.4. Utilización de residuos industriales 49
2.6.4.1. Antecedentes.....49
2.6.4.2. La valorización energética en el II Plan de Residuos Peligrosos 2007 - 2015....50
2.6.4.3. Inventario de residuos valorizables energéticamente.....52
2.6.4.4. Instalaciones de blending de residuos para preparación de combustible 54
2.6.4.5. Valorización energética de residuos industriales no peligrosos 55
2.6.5. Utilización de harinas animales.....56
2.6.5.1. Antecedentes.....56
2.6.5.2. Transformación de subproductos en harinas de categoría 1 y 2 57
2.6.5.3. Valorización energética de harinas de categoría 1 y 2 58
2.6.6. Utilización de residuos procedentes de vehículos fuera de uso 59
2.6.6.1. Residuo ligero de fragmentación 59
2.6.6.2. Alternativas de gestión de la fracción ligera de fragmentación 59
2.6.6.3. Combustibles alternativos procedentes de Vehículos Fuera de Uso 60
2.6.7. Utilización de lodos de depuradoras de aguas residuales urbanas.....61
2.6.7.1. Tratamiento de lodos de depuradora 61
2.6.7.2. Deshidratación mecánica 62
2.6.7.3. Estabilización biológica mediante compostaje 62
2.6.7.4. Secado térmico.....62
2.6.7.5. Tratamiento térmico de lodos deshidratados 62
2.6.7.6. Aplicaciones de los lodos de depuradora.....63
2.6.7.7. Utilización de lodos de depuradora en cementeras.....64
2.6.7.8. Potencialidad de los lodos como combustible alternativo para cementeras.....65
2.6.8. Utilización de residuos de plásticos agrícolas 66
2.6.8.1. Los residuos de plásticos agrícolas 66
2.6.8.2. Situación actual de la gestión de plásticos agrícolas.....66
2.6.8.3. Valorización energética de plásticos agrícolas.....67
2.6.9. Utilización de combustibles derivados de residuos urbanos 68
2.6.9.1. Antecedentes.....68
2.6.9.2. Características de los Combustibles Derivados de Residuos para hornos de cemento 69
2.6.9.3. Posibilidades de obtención de Combustibles Derivados de Residuos a partir de residuos urbanos en España 69
2.6.9.4. Posibilidades de obtención de CDR en Galicia 70
2.6.9.5. Factores a considerar en la producción de Combustibles Derivados de Residuos 71
2.7. Uso eficiente del hormigón 72

2.7.1. Estructuras durables y no sobredimensionadas 72
2.7.2. Vida útil del hormigón 73
2.8. Otras medidas 73

3. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PRESENTE ESTUDIO 74
3.1. Planteamiento del estudio 74
3.2. CASO A: Planta integral actual. Capacidad: 1,000,000 t/año 75
3.2.1. Descripción del proceso operativo 75
3.2.1.1. Canteras 75
3.2.1.2. Stock y prehomogenización 75
3.2.1.3.- Molienda y secado de crudo 75
3.2.1.4.- Homogenización y stock de crudo 76
3.2.1.5.- Cocción 76
3.2.1.6.- Añadidos al cemento 77
3.2.1.7.- Molienda de cemento 77
3.2.1.8.- Stock y expedición de cemento 77
3.2.1.9.- Tipos de cemento 77
3.2.1.10.- Datos de marcha 78
3.2.2. Esquema de funcionamiento 79
3.2.3. Análisis de costes 80
3.2.3.1. Costes de inversión 80
3.2.3.2. Terrenos – superficie construida 80
3.2.3.3. Gastos amortización 81
3.2.3.4. Costes de explotación 82
3.3. CASO B: Molienda de cemento. Capacidad: 1,000,000 t/año 83
3.3.1. Descripción del proceso operativo 83
3.3.1.1. Recepción y stock de materias primas 83
3.3.1.2. Molienda de cemento 83
3.3.1.3.- Stock y expedición de cemento 83
3.3.1.4.- Tipos de cemento 84
3.3.1.5.- Datos de marcha 84
3.3.2. Esquemas de funcionamiento 86
3.3.2.1. Procesado materias primas 86
3.3.2.2. Esquema tolvas 87
3.3.2.3. Esquema molienda 89
3.3.2.4. Esquema silos 90
3.3.2.5. Esquema ensacado-paletizado 90
3.3.3. Análisis de costes 91
3.3.3.1. Costes de inversión total 91
3.3.3.2. Terrenos – superficie construida 95
3.3.3.3. Costes de explotación 96
3.4. CASO C: Planta integral MTD. Capacidad: 1,000,000 t/año 97
3.4.1. Descripción del proceso operativo 97
3.4.1.1.-Canteras 97
3.4.1.2.-Stock y prehomogenización 97
3.4.1.3.- Molienda y secado del crudo 97
3.4.1.4.- Homogenización y secado del crudo 98
3.4.1.5.- Cocción 98
3.4.1.6.- Añadidos al cemento 99
3.4.1.7.- Molienda de cemento 99
3.4.1.8.- Stock y expedición de cemento 99
3.4.1.9.- Tipos de cemento 99
3.4.1.10.- Datos de marcha 100
3.4.2. Esquema de funcionamiento 102
3.4.2.1. Esquema de flujos 102
3.4.3. Análisis de costes 103
3.4.3.1. Costes de inversión 103

3.4.3.2. Terrenos – superficie construida 103
3.4.3.3. Gastos amortización 104
3.4.3.4. Costes de explotación 104
3.5. Datos generales 105
3.5.1. Empleo de materias primas 105
3.5.2. Huella equivalente materias primas 106
3.5.3. Personal total 107
3.5.4. Consumo de agua 108
3.5.5. Residuos generados 108
3.5.6. Caudales, gases y emisiones de polvo 109
3.5.7. Emisiones de gases 109

4. CÁLCULO DE LA HUELLA ECOLÓGICA CORPORATIVA 110
4.1. Introducción 110
4.2. La metodología MC3 110
4.2.1. Estructura de la herramienta de cálculo MC3 (Doménech, 2010) 110
4.2.1.1. Selección de una metodología estandarizable 110
4.2.1.2. Antecedentes 112
4.2.1.3. Estructura de la herramienta MC3-V.2.0 113
4.2.2. Emisiones directas. Factores de emisión 115
4.2.2.1. Pasos para el cálculo de la huella del carbono de los combustibles 115
4.2.2.2. Conversión de huella de carbono a huella ecológica 116
4.2.2.3. Obtención de la contrahuella 117
4.2.3. Emisiones indirectas. La huella de la electricidad 117
4.2.3.1. Pasos para el cálculo de la huella del carbono del consumo eléctrico 117
4.2.3.2. Conversión de huella de carbono a huella ecológica 119
4.2.3.3. Obtención de la contrahuella 119
4.2.4. Otras emisiones indirectas. La huella de los materiales 119
4.2.4.1. Pasos para el cálculo de la huella del carbono de los materiales 119
4.2.4.2. Tipos de huella de materiales 122
4.2.4.3. Conversión de la huella de carbono a huella ecológica 125
4.2.4.4. Obtención de la contrahuella 125
4.2.5. La huella de los servicios y de las contratas 126
4.2.5.1. Pasos para el cálculo de la huella del carbono de los servicios 126
4.2.5.2. Tipos de servicios 127
4.2.6. La huella de los recursos agropecuarios y la pesca 131
4.2.6.1. Pasos para el cálculo de la huella agrícola, ganadera y pesquera 131
4.2.7. Huella forestal y huella hídrica 133
4.2.7.1. La huella forestal 133
4.2.7.2. Conversión de la huella de carbono a huella ecológica 134
4.2.7.3. Obtención de la contrahuella 134
4.2.7.4. La huella hídrica 135
4.2.7.5. Huella hídrica energética 135
4.2.7.6. Huella hídrica del suelo 136
4.2.8. La huella de la ocupación de suelo 136
4.2.9. La huella de los residuos, de los vertidos y de las emisiones 137
4.2.9.1. La huella de los residuos 137
4.2.9.2. Pasos para el cálculo de la huella de los vertidos 139
4.2.9.3. Obtención de la huella de los residuos 140
4.2.10. Huella y contrahuella final 142

5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA MC3 A LOS CASOS DE ESTUDIO 143
5.1. Introducción 143
5.2. Aplicación de la metodología MC3 al caso de una planta integral actual con capacidad de 1.000.000 t/año (Caso A) 143

5.2.1. Toma de datos 143
5.2.2. Aplicación....147
5.2.2.1. Costes de inversión....147
5.2.2.2. Terreno ocupado por la planta....147
5.2.2.3. Costes de explotación....148
5.2.2.4. Residuos generados 150
5.2.2.5. Emisiones de polvo....150
5.2.2.6. Emisiones de gases 151
5.2.2.7. Emisiones directas....151
5.2.2.8. PIB corporativo 152
5.2.2.9. Cantidad de producto....152
5.2.3. Comprobación final....152
5.3. Aplicación de la metodología MC3 al caso de una planta de molienda con capacidad de 1.000.000 t/año (Caso B) 153
5.3.1. Toma de datos 153
5.3.2. Aplicación....159
5.3.2.1. Costes de inversión....159
5.3.2.2. Terreno construido....160
5.3.2.3. Costes de explotación....160
5.3.2.4. Residuos generados 162
5.3.2.5. Emisiones de polvo....163
5.3.2.6. Emisiones de gases 163
5.3.2.7. Emisiones directas....163
5.3.2.8. Transporte marítimo....163
5.3.2.9. PIB corporativo 164
5.3.2.10. Cantidad de producto....164
5.4. Aplicación de la metodología MC3 al caso de una planta integral MTD con capacidad de 1.000.000 t/año (Caso C) 165
5.4.1. Toma de datos 165
5.4.2. Aplicación....168
5.4.2.1. Costes de inversión....168
5.4.2.2. Terreno ocupado por la planta....169
5.4.2.3. Costes de explotación....169
5.4.2.4. Residuos generados 170
5.4.2.5. Emisiones de polvo....171
5.4.2.6. Emisiones de gases 171
5.4.2.7. Emisiones directas....172
5.4.2.8. PIB corporativo 172
5.4.2.9. Cantidad de producto....172
5.5. Tablas de resultados 173
5.6. Gráficas de resultados.... 178
5.6.1. Emisiones de CO_2 según categorías de consumos....178
5.6.2. Huellas y contrahuellas totales 182
5.6.3. Huella neta total 183
5.6.4. Incidencia de cada categoría de consumo en la huella total de cada planta 183

6. CONCLUSIONES 185
6.1. Conclusiones y recomendaciones.... 185
6.2. Futuros desarrollos.... 192
6.3. Consideraciones finales 192

7. REFERENCIAS 194

ÍNDICE DE TABLAS 203

ÍNDICE DE FIGURAS 205

Capítulo 1 Introducción al desarrollo sostenible y huella ecológica

1.1. El desarrollo sostenible

El término **desarrollo sostenible**, **perdurable** o **sustentable** se aplica al desarrollo socio-económico y fue formalizado por primera vez en el documento conocido como Informe Brundtland (1987), fruto de los trabajos de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, creada en la Asamblea de las Naciones Unidas en 1983. Dicha definición se asumiría en el Principio 3º de la Declaración de Río (1992): *Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades.*

El ámbito del **desarrollo sostenible** puede dividirse conceptualmente en tres partes: *ambiental*, *económica* y *social*. Se considera el aspecto social por la relación entre el bienestar social con el medio ambiente y la bonanza económica. El triple resultado es un conjunto de indicadores de desempeño de una organización en las tres áreas.

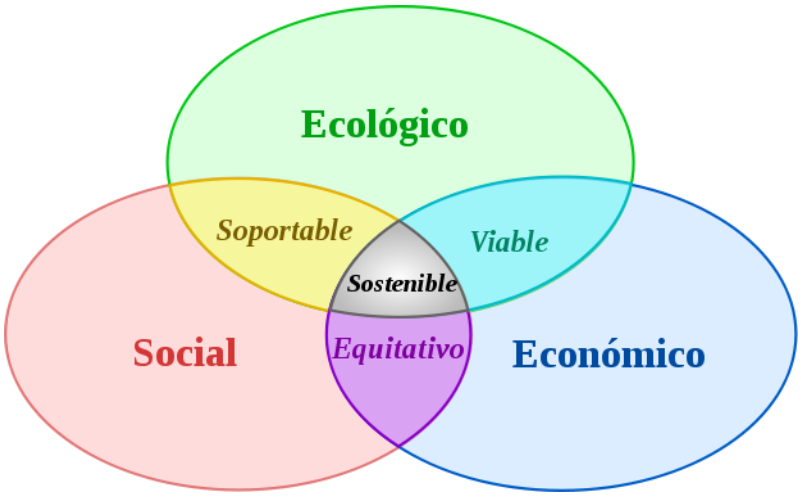

Figura 1. Pilares del desarrollo sostenible. Fuente: SSM Comunicación y Periodismo

Deben satisfacerse las necesidades de la sociedad como alimentación, ropa, vivienda y trabajo, pues si la pobreza es habitual, el mundo estará encaminado a catástrofes de varios tipos, incluidas las ecológicas. Asimismo, el desarrollo y el bienestar social, están limitados por el nivel tecnológico, los recursos del medio ambiente y la capacidad del medio ambiente para absorber los efectos de la actividad humana.
Ante esta situación, se plantea la posibilidad de mejorar la tecnología y la organización social de forma que el medio ambiente pueda recuperarse al mismo ritmo que es afectado por la actividad humana.

1.1.1. Ámbito de aplicación y definiciones

El concepto de desarrollo sostenible no debe entenderse como un término de referencia exclusivamente ambiental. En términos más generales, las políticas de desarrollo sostenible afectan a tres áreas: *económica*, *ambiental* y *social*. En apoyo a esto, varios textos de las Naciones Unidas, incluyendo el Documento Final de la Cumbre Mundial de 2005, se refieren a los tres componentes del desarrollo sostenible, que son el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente, como "pilares interdependientes que se refuerzan mutuamente".

La Declaración Universal sobre la Diversidad Cultural (Unesco, 2001) profundiza aún más en el concepto al afirmar que *"... la diversidad cultural es tan necesaria para el género humano como la diversidad biológica para los organismos vivos"*; Se convierte en *"una de las raíces del desarrollo entendido no sólo en términos de crecimiento económico, sino también como un medio para lograr un balance más satisfactorio intelectual, afectivo, moral y espiritual"*. En esta visión, la diversidad cultural es el cuarto ámbito de la política de desarrollo sostenible (UNESCO, 2001).

El "*desarrollo verde*" generalmente es diferenciado del desarrollo sostenible en que el desarrollo verde puede ser visto en el sentido de dar prioridad a lo que algunos pueden considerar "*sostenibilidad ambiental*" sobre la "*sostenibilidad económica y cultural*". Sin embargo, el enfoque del "*desarrollo verde*" puede pretender objetivos a largo plazo inalcanzables. Por ejemplo, una planta de tratamiento de última tecnología con gastos de mantenimiento sumamente altos no puede ser sostenible en las regiones del mundo con menos recursos financieros. Una planta de última tecnología "respetuosa con el medio ambiente" con altos gastos de operación es menos sostenible que una planta rudimentaria, incluso si es más eficaz desde un punto de vista ambiental. Algunas investigaciones parten de esta definición para argumentar que el medio ambiente es una combinación de naturaleza y cultura.

1.1.2. Un desarrollo económico y social respetuoso con el medio ambiente

El objetivo del desarrollo sostenible es definir proyectos viables y reconciliar los aspectos *económico*, *social* y *ambiental* de las actividades humanas; "tres pilares" que deben tenerse en cuenta por parte de las comunidades, tanto empresas como personas:

- **Económico:** funcionamiento financiero "clásico", pero también capacidad para contribuir al desarrollo económico en el ámbito de creación de empresas de todos los niveles.

- **Social:** consecuencias sociales de la actividad de la empresa en todos los niveles: los trabajadores (condiciones de trabajo, nivel salarial, etc), los proveedores, los clientes, las comunidades locales y la sociedad en general, necesidades humanas básicas.

- **Ambiental:** compatibilidad entre la actividad social de la empresa y la preservación de la biodiversidad y de los ecosistemas. Incluye un análisis de los impactos del desarrollo social de las empresas y de sus productos en términos de flujos, consumo de recursos difícil o lentamente renovables, así como en términos de generación de residuos y emisiones. Este último pilar es necesario para que los otros dos sean estables.

1.1.3. Justificación del desarrollo sostenible

La justificación del desarrollo sostenible proviene tanto del hecho de tener unos recursos naturales limitados (nutrientes en el suelo, agua potable, minerales, etc.), susceptibles de agotarse, como del hecho de que una creciente actividad económica sin más criterio que el económico produce, tanto a escala local como planetaria, graves problemas medioambientales que pueden llegar a ser irreversibles.

1.1.4. Condiciones para el desarrollo sostenible

Los límites de los recursos naturales sugieren tres reglas básicas en relación con los ritmos de desarrollo sostenibles.

1. Ningún recurso renovable deberá utilizarse a un ritmo superior al de su generación.

2. Ningún contaminante deberá producirse a un ritmo superior al que pueda ser reciclado, neutralizado o absorbido por el medio ambiente.

3. Ningún recurso no renovable deberá aprovecharse a mayor velocidad de la necesaria para sustituirlo por un recurso renovable utilizado de manera sostenible.

Según algunos autores, estas tres reglas están forzosamente supeditadas a la inexistencia de un crecimiento demográfico (Bartlett, Albert Allen, 1999).

1.1.5. Crítica en el uso del término

El término "desarrollo sostenible" se encuentra en numerosos discursos políticos, pero su aplicación es muy diversa y en ocasiones perversa.

Las ideologías liberales hacen énfasis en la posibilidad de compatibilizar el crecimiento económico con la preservación ambiental mediante el aumento de la productividad (producir más, consumiendo menos recursos y generando menos residuos) y con la equidad social para la mejora general de las condiciones de vida (lo que no siempre es inmediato).

Algunas ideologías ecologistas más radicales hacen énfasis en las opciones de *crecimiento cero* y aplicación estricta del principio de precaución, que consiste en dejar de realizar determinadas actividades productivas mientras no se demuestre que no son dañinas. Otros ecologistas defienden el decrecimiento económico (Gisbert Aguilar, 2007). Éstos últimos creen que el respeto al medio ambiente no es posible sin reducir la producción económica, ya que actualmente estamos por encima de la capacidad de regeneración natural del planeta, tal y como demuestran las diferentes estimaciones de huella ecológica. Además, también cuestiona la capacidad del modelo de vida moderno para producir bienestar. El reto estaría en *vivir mejor con menos* (Subirana, 1995).

El ecosocialismo argumenta que el capitalismo, al estar basado en el crecimiento y la acumulación constante de bienes incrementando el ritmo de crecimiento, es ecológicamente insostenible (Wall, 2005).

No obstante, el desarrollo económico no es necesariamente (según autores como Herman Daly) sinónimo de crecimiento económico ni de desarrollo humano. Aun así, cualquier medida relativa a las actividades productivas no sólo tiene efectos negativos o positivos sobre el medio ambiente y la economía de las empresas, sino que también influye en el empleo y el tejido social (Silva-Colmenares, 2007).

1.2. Breve historia del desarrollo sostenible

1.2.1. El medio ambiente pasado por alto en el siglo XIX

Históricamente, la forma de pensar que dio lugar a la Revolución industrial del siglo XIX introdujo criterios esencialmente de crecimiento económico. Estos criterios se pueden encontrar en el cálculo del Producto Nacional Bruto, que se remonta a la década de 1930.

Las correcciones se hicieron en la segunda mitad del siglo XIX en el ámbito social, con la aparición de las organizaciones sin ánimo de lucro y el sindicalismo. El término "económico y social" forma parte del vocabulario.

Pero los países desarrollados (o países del Norte) se dieron cuenta en los años 1970 que su prosperidad se basa en el uso intensivo de recursos naturales finitos, y que, por consiguiente, además de las cuestiones económicas y sociales, un tercer aspecto estaba descuidado: el medio ambiente. Por ejemplo, la huella ecológica mundial excedió la capacidad "biológica" de la Tierra para reponerse a mediados de los años 1970.

Para algunos analistas (Incluidos los precursores del Club de Roma, Rene Dumont, el sociólogo Jacques Ellul, Iván Illich Nicholas Georgescu-Roegen, así como el economista Serge Latouche y la física y filósofa Vandana Shiva) el modelo de desarrollo industrial no es sostenible en términos medioambientales, lo que no permite un "desarrollo", que pueda durar. Los puntos críticos son el agotamiento de los recursos naturales (como las materias primas y los combustibles fósiles), la destrucción y fragmentación de los ecosistemas, la pérdida de diversidad biológica, lo que reduce la capacidad de resistencia del planeta.

El desarrollo (industrial, agrícola, urbano) genera contaminaciones inmediatas y pospuestas (por ejemplo, la lluvia ácida y los gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático y a la explotación excesiva de los recursos naturales, o la deforestación de la selva tropical). Esto provoca una pérdida inestimable de diversidad biológica en términos de extinción (y por lo tanto irreversibles) de las especies de plantas o animales. Esta evolución provoca un agotamiento de los combustibles fósiles y de las materias primas que hace inminente el pico del petróleo y acercarnos al agotamiento de muchos recursos naturales vitales.

Al problema de la viabilidad se añade un problema de equidad: los pobres son los que más sufren la crisis ecológica y climática, y se teme que el deseo legítimo de crecimiento en los países subdesarrollados hacia un estado de prosperidad similar, basado en principios equivalentes, implique una degradación aún más importante y acelerada por la biosfera. Si todas las naciones del mundo adoptaran el modo de vida americano (que consume casi la cuarta parte de los recursos de la Tierra para el 7% de la población) se necesitarían de cinco a seis planetas como la Tierra para abastecerlas. Y si todos los habitantes del planeta vivieran con el mismo nivel de vida que la media de Francia, se necesitarían al menos tres planetas como la Tierra (WWF/Adena, 2004)

Además, los desastres industriales de los últimos treinta años (de Chernobil, Seveso, Bhopal, Exxon Valdez, etc.) han llamado la atención a la opinión pública y a asociaciones como WWF, Amigos de la Tierra o Greenpeace.

1.2.2. Desde 1968

- 1968 - Creación del Club de Roma, que reúne personalidades que ocupan puestos relativamente importantes en sus respectivos países y que busca la promoción de un crecimiento económico estable y sostenible de la humanidad. El Club de Roma tiene, entre sus miembros a importantes científicos (algunos premios Nobel), economistas, políticos, jefes de estado, e incluso asociaciones internacionales.

- 1972 - El Club de Roma publica el informe *Los límites del crecimiento*, preparado a petición suya por un equipo de investigadores de Instituto Tecnológico de Massachusetts. En este informe se presentan los resultados de las simulaciones por ordenador de la evolución de la población humana sobre la base de la explotación de los recursos naturales, con proyecciones hasta el año 2100. Demuestra que debido a la búsqueda del crecimiento económico durante el siglo XXI se produce una drástica reducción de la población a causa de la contaminación, la pérdida de tierras cultivables y la escasez de recursos energéticos.

- 16 de junio de 1972 - Conferencia sobre Medio Humano de las Naciones Unidas (Estocolmo). Es la primera Cumbre de la Tierra. Se manifiesta por primera vez a nivel mundial la preocupación por la problemática ambiental global.

- 1980 - La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) publicó un informe titulado *Estrategia Mundial para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales*,donde se identifican los principales elementos en la destrucción del hábitat: pobreza, presión poblacional, inequidad social y términos de intercambio del comercio.

- 1981 - Informe Global 2000 realizado por el Consejo de Calidad Medioambiental de Estados Unidos. Concluye que la biodiversidad es un factor crítico para el adecuado funcionamiento del planeta, que se debilita por la extinción de especies.

- 1982 - Carta Mundial de la ONU para la Naturaleza. Adopta el principio de respeto a toda forma de vida y llama a un entendimiento entre la dependencia humana de los recursos naturales y el control de su explotación.

- 1982 - Creación del Instituto de Recursos Mundiales (WRI) en EE. UU. con el objetivo de encauzar a la sociedad humana hacia formas de vida que protejan el medio ambiente de la Tierra y su capacidad de satisfacer las necesidades y aspiraciones de las generaciones presentes y futuras.

- 1984 - Primera reunión de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, creada por la Asamblea General de la ONU en 1983, para establecer una *agenda global para el cambio*.

- 1987 - Informe Brundtland *Nuestro Futuro Común*, elaborado por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo en el que, se formaliza por primera vez el concepto de **desarrollo sostenible**.

- Del 3 al 14 de junio de 1992 - Se celebra la *Conferencia de la ONU sobre Medio Ambiente y Desarrollo* (Segunda "*Cumbre de la Tierra*") en Río de Janeiro, donde nace la Agenda 21, se aprueban el Convenio sobre el Cambio Climático, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (Declaración de Río) y la Declaración de Principios Relativos a los Bosques. Se empieza a dar amplia publicidad del término *desarrollo sostenible* al público en general. Se modifica la definición original del *Informe Brundtland*, centrada en la preservación del medio ambiente y el consumo prudente de los recursos naturales no renovables, hacia la idea de "tres pilares" que deben conciliarse en una perspectiva de **desarrollo sostenible**: el progreso económico, la justicia social y la preservación del medio ambiente.

- 1993 - V Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente de la Unión Europea: *Hacia un desarrollo sostenible*. Presentación de la nueva estrategia comunitaria en materia de medio ambiente y de las acciones que deben emprenderse para lograr un desarrollo sostenible, correspondientes al período 1992-2000.

- 27 de mayo de 1994 - Primera Conferencia de Ciudades Europeas Sostenibles. Aalborg (Dinamarca). *Carta de Aalborg*

- 8 de octubre de 1996 - Segunda Conferencia de Ciudades Europeas Sostenibles. El *Plan de actuación de Lisboa: de la Carta a la acción.*

- 11 de diciembre de 1997 - Se aprueba el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el cual entra en vigor en 2005.

- 2000 - Tercera Conferencia de Ciudades Europeas Sostenibles. La *Declaración de Hannover de los líderes municipales en el umbral del siglo XX.*

- 2001 - VI Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente de la Unión Europea. *Medio ambiente 2010: el futuro en nuestras manos*. Definir las prioridades y objetivos de la política medioambiental de la Comunidad hasta y después de 2010 y detallar las medidas a adoptar para contribuir a la aplicación de la estrategia de la Unión Europea en materia de desarrollo sostenible.

- Del 26 de agosto al 4 de septiembre de 2002 - Conferencia Mundial sobre Desarrollo Sostenible ("*Río+10*", *Cumbre de Johannesburgo*), en Johannesburgo, donde se reafirmó el desarrollo sostenible como el elemento central de la Agenda Internacional y se dio un nuevo ímpetu a la acción global para la lucha contra la pobreza y la protección del medio ambiente. Se reunieron más de un centenar de jefes de Estado, varias decenas de miles de representantes de gobiernos, organizaciones no gubernamentales e importantes empresas para ratificar un tratado de adoptar una posición relativa a la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad.

- Febrero de 2004. La séptima reunión ministerial de la Conferencia sobre la Diversidad Biológica concluyó con la Declaración de Kuala Lumpur, que ha creado descontento entre las naciones pobres y que no satisface por completo a las ricas.La Declaración de Kuala Lumpur deja gran insatisfacción entre los países. Según algunas delegaciones, el texto final no establece un compromiso claro por parte de los estados industrializados para financiar los planes de conservación de la biodiversidad.

- 2004 - Conferencia Aalborg + 10 - *Inspiración para el futuro*. Llamamiento a todos los gobiernos locales y regionales europeos para que se unan en la firma de los Compromisos de Aalborg y para que formen parte de la Campaña Europea de Ciudades y Pueblos Sostenibles.

- 2005 - Entrada en vigor del Protocolo de Kioto sobre la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

- 11 de enero de 2006 - Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo sobre una *Estrategia temática para el medio ambiente urbano*. Es una de las siete estrategias del *Sexto Programa de Acción en materia de Medio Ambiente* de la Unión Europea, elaborada con el objetivo de *contribuir a una mejor calidad de vida mediante un enfoque integrado centrado en las zonas urbanas* y de hacer posible *un alto nivel de calidad de vida y bienestar social para los ciudadanos proporcionando un medio ambiente en el que los niveles de contaminación no tengan efectos perjudiciales sobre la salud humana y el medio ambiente y fomentando un desarrollo urbano sostenible*.

- 2007 - Cumbre de Bali (COP13) que busca redefinir el Protocolo de Kioto y adecuarlo a las nuevas necesidades respecto al cambio climático. En esta cumbre intervienen los Ministros de Medio Ambiente de la mayoría de los países del mundo aunque Estados Unidos de Norte América y China (principales emisores y contaminantes del planeta) se niegan a suscribir compromisos.

- 2008 – Cumbre de Poznam (COP14) donde se determinan, ante la llegada de una inminente crisis económica, los mecanismos necesarios desde el punto de vista financiero y tecnológico para conseguir frenar las emisiones, estimular un crecimiento sostenible y afrontar los inevitables impactos del cambio climático. En particular, se

hizo hincapié en la identificación de ejemplos concretos de éxito en la transferencia de tecnología y de las acciones de adaptación al cambio climático, a fin de que estas buenas prácticas pudieran ser ampliamente promulgadas.

- 2009 – Cumbre de Copenhague (COP15) donde se establecen ayudas a países menos desarrollados con el fin de que puedan diagnosticar, tratar y reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Al margen de esto, la cumbre fue calificada como un fracaso, al no alcanzarse ningún acuerdo de especial relevancia.

- 2010 – Cumbre de Cancún, México. Se prevé una nueva cumbre de las Naciones Unidas sobre temas medioambientales entre el los días 29 de Noviembre y 10 de Diciembre de 2010.

1.3. Campos de aplicación

1.3.1. Agricultura

Para aumentar la producción en agricultura, se puede hacer mediante puesta en regadío, uso de fertilizantes, agricultura intensiva, etc. Pero cada una de esas posibles acciones tiene un coste:

- Puesta en regadío: el agua es un recurso limitado. Al obtener agua de acuíferos (pozos), se debe hacer de forma sostenible. Para ello se deben conocer las reservas, cantidad y calidad susceptible de explotar en el espacio y en el tiempo, tasa de recarga, lugares hidro-geológicamente más convenientes de explotación, construcción de perforaciones, etc. y que se asegure una correcta gestión y protección del acuífero a nivel legal e institucional. Con los ríos hay que cuidar además dejar suficiente agua para no afectar la fauna y flora ribereña (el llamado caudal ecológico), amén de entrar en competencia directa con otros usos entre los que se encuentra el consumo humano.

- Abonos y fertilizantes: aumentan la producción, pero una parte de sus sustancias se disuelve con el agua de lluvia o de riego, formando (lixiviados) que pueden acumularse en acuíferos y resultar por tanto contaminados (p. ej. por altas concentraciones de nitrógeno o de fosfatos, que favorecen la eutrofización). Idéntico caso es el de los plaguicidas con el agravante de haberse demostrado el uso intensivo de plaguicidas bio-acumulables y no biodegradables en épocas anteriores, como en el caso del DDT, que fue utilizado con intensidad en el siglo XX como insecticida pero, tras una campaña mundial que alegaba que éste compuesto se acumulaba en las cadenas tróficas y ante el peligro de contaminación de los alimentos, se prohibió su uso.

- Agricultura intensiva: aumenta la producción al introducir mayor número de plantas por metro cuadrado de una especie especialmente adaptada, posibilidad que ofrecen las máquinas empleadas, pero también consume mayor cantidad de nutrientes del suelo (que se retiran con la cosecha y no vuelven al suelo), por lo que hay que programar una rotación de cultivos (diferentes cultivos consumen los nutrientes del suelo en diferentes proporciones y en diferentes estratos y pueden complementarse) y barbechos para limitar la proliferación de parásitos. También entran en juego otros factores, como preservar la variedad genética de las especies (biodiversidad) ya que no se sabe qué especies afrontarán mejor los problemas que surjan en el futuro.

El tema de la alimentación humana no es catastrofista en sí mismo, tal como predecía Malthus en su *Ensayo sobre el principio de la población*. Desarrollada la tecnología de la alimentación, la penuria de la población no depende de la escasez de recursos, sino de la organización de estos recursos.

En términos generales, hay dos tipos de valoraciones sobre el deterioro ambiental: mediante indicadores que cuantifican (medición física) el impacto del desarrollo en el medio ambiente, y mediante actitudes y opiniones cualitativas (medición sociológica).

Es necesario determinar si el programa elegido es aplicable en el contexto internacional, es decir, si puede aplicarse a cada país en donde se ha propuesto, teniendo en cuenta tanto su viabilidad técnico-económica como la posibilidad de desarrollarlo dentro del entorno cultural.

1.3.2. Actividades productivas y de servicios

Otro ejemplo son las herramientas de implementación de desarrollo sostenible en la producción y los servicios, como puede ser el conjunto de actividades denominadas Producción Más Limpia. Dicho concepto parte del principio de sostenibilidad de las actividades humanas requeridas para suplir necesidades básicas y suplementarias (calidad de vida), incorporando elementos como mínimas emisiones, buenas prácticas de producción y operación, manejo adecuado y aprovechamiento del subproducto y el residuo, disminución en el consumo de insumos, etc. De esta forma, se observa que el desarrollo sostenible no es por sí mismo un elemento sociológico, sino que debe hacer parte de un tejido en el cual la producción, la economía, el bienestar y el ambiente juegan siempre del mismo lado. Este concepto de desarrollo sostenible, se enfoca desde el lado de la oferta ambiental, bajo la óptica de obtener rendimientos firmes. Es decir, una productividad básica, de acuerdo a la capacidad que pueden suministrar los ecosistemas. Otra dimensión del concepto es que el contexto desde donde se enfoca el desarrollo tiende a ser diferente en los países latinoamericanos, parte de un ámbito nacional a uno global, que se asienta en interrelaciones globales y de naturaleza local. La evolución del pensamiento sobre el desarrollo, en términos históricos, se ha dado en el marco de luchas sociales, a través de la pugna entre el capitalismo y el socialismo, entre la clase obrera y el capital y el pensamiento humano y las fuerzas de la naturaleza. A lo largo de las últimas siete décadas del siglo XX, y parte de esta primera década del siglo XXI, el concepto de desarrollo se ha expandido y enriquecido, pero también se ha fragmentado, puesto que se va tomando de él aspectos de acuerdo a la gravedad que confronten los países en su diagnóstico ambiental, sin ser asumido como una orientación universal de cuidado del medio ambiente, algo que no se tiene en cuenta.

1.4. División de Desarrollo Sostenible de la ONU

1.4.1. Comisión de la ONU para el Desarrollo Sostenible

En diciembre de 1992 la Organización de las Naciones Unidas (ONU) decide crear la **Comisión para el Desarrollo Sostenible** para asegurar un seguimiento eficaz de la histórica Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de 1992, que se celebró en Río de Janeiro (Brasil) y que se conoce como Cumbre de la Tierra. Tras esta conferencia, que duró tres meses, los líderes de los Estados miembros de la ONU aprobaron el Programa 21, un plan de 300 páginas cuyo objetivo era conseguir el Desarrollo Sostenible. El capítulo 36 de este programa está dedicado a la creación de una Opinión Pública. La Comisión es “un es un foro excepcional de las Naciones Unidas que reúne a funcionarios públicos y representantes de muy diversos sectores de la sociedad civil para analizar y recomendar soluciones que promuevan el Desarrollo Sostenible” (¿Qué es el CDS? *http://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd14/bgrounder_csd_sp.pdf*). Por medio de ella, se transmitirán a los Estados miembros las directrices a seguir. De entre los temas que trata esta comisión, el que nos interesa en este caso es el de “La educación y la conciencia”. Este punto tiene su base en un programa que nace en 1996 y que se amplía en 1998.

El comité de expertos de las Naciones Unidas sobre Contabilidad Económico-Ambiental (UNCEEA) trabaja para hacer del Sistema de Contabilidad Económico Ambiental (SEEA) un estándar internacional para el año 2010 y a promoverlo para su puesta en práctica en los diferentes países.

La Comisión de Desarrollo Sostenible depende del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la ONU.

1.4.2. Medidas

Desde la creación del ya citado programa de creación de una Opinión Pública favorable al Desarrollo Sostenible, el Secretariado General de la ONU ha elaborado dos informes de resultados, uno de ellos en 1999 y el otro en 2001. De ambos se extraen conclusiones similares, por lo que incluimos aquí un resumen de los puntos más importantes: - Organismo coordinador: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

- **Otros organismos y organizaciones colaboradoras**: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Fondo de Población de las Naciones Unidas (FNUAP), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Comisión Económica para Europa (CEPE) y ONGs de Polonia y Zimbabwe.

Es interesante pararnos en este punto, porque la creación de los programas y de los posteriores informes suele ser un punto de debate y controversias. En este caso, es la Comisión para el Desarrollo Sostenible la que elabora los programas, en principio sin contar con otras aportaciones externas a la propia ONU. Sin embargo, para la elaboración posterior de los informes sí cuenta, como podemos ver, con la participación de ONGs, aunque de manera muy limitada. Sí cuenta la ONU con otros organismos y con los propios Estados para el desarrollo de puntos concretos del programa. Algunos de ellos los veremos a continuación.

- **Cuestiones que aún no se han conseguido**:
    - Esclarecer el concepto de Desarrollo Sostenible de manera colectiva. Para ello, la ONU ha elaborado un documento que ha distribuido por los diferentes Estados miembros: “Educación para un futuro sostenible: una visión transdisciplinar para una acción concertada”. Para elaborarlo ha contado con la colaboración del Banco Mundial (BM), la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Organización de los Estados Americanos (OEA).
    - Los puntos en los que el concepto de Desarrollo Sostenible no está claro son: La educación para el Desarrollo Sostenible vs. Educación sobre Desarrollo Sostenible; el Desarrollo Sostenible es un concepto similar a Medio Ambiente; la educación debe implicar a todos los sectores; y la educación debe ser una educación para toda la vida. Para aclarar estos puntos la UNESCO elabora publicaciones y prepara conferencias y reuniones.
    - Las políticas nacionales de educación no están siendo efectivas. Los impedimentos son: La falta de fondos, la falta de compromiso político y la sectorialización de los sistemas escolares. Para ayudar a los Estados miembros la UNESCO ha creado mecanismos de colaboración entre ONGs, poderes públicos, entidades financieras… Los objetivos de las políticas nacionales de educación son: la reorientación del personal docente. Los

maestros deben ser incorporados a los procesos de reforma; la reforma de la enseñanza superior; y promover una perspectiva interdisciplinaria que propicie el Desarrollo Sostenible.

- Incorporación de la educación en las estrategias nacionales para el Desarrollo Sostenible. Existe aún confusión de los Estados respecto al concepto. Para ello se propone la colaboración con ONGs.

- Educación en la promoción de modalidades sostenibles de consumo y producción. Este punto está muy poco desarrollado. Para mejorarlo la UNESCO prepara reuniones de expertos que elaboran resúmenes con las mejores prácticas.

- Se deben promover las inversiones en educación. Se entiende así la educación como un instrumento esencial para crear una opinión pública fuerte y lograr así los objetivos. Se deben revisar las inversiones privadas.

- Definición y difusión de prácticas innovadoras. Se está creando un registro internacional de prácticas innovadoras, elaborado por la UNESCO.

- Y por último, se deben crear más campañas de sensibilización de la Opinión Pública. Los encargados serán la ONU, la UNESCO, la PNUMA y la UICN.

- **Cuestiones estratégicas**:

  - La educación para el Desarrollo Sostenible tiene que ver con un cambio de valores, conductas y estilos de vida.

  - Para ello serán necesarios al menos 20 años.

  - La educación se tiene que entender como un reflejo de la sociedad.

  - Es necesaria la especial implicación de los gobiernos y de agentes nacionales y locales.

- **Otras medidas** tomadas por la UNESCO: crear una página web.

http://www.unesco.org/new/en/unesco/

1.5. El desarrollo sostenible en España

España cuenta con una Estrategia Española de Desarrollo Sostenible y una Ley 45/2007, de 13 de diciembre, de Desarrollo Sostenible del Medio Rural.

La futura Ley de Economía Sostenible es una iniciativa legislativa aprobada en el Consejo de Ministros celebrado el 27 de noviembre de 2009 y encaminada a situar a la economía española sobre los cimientos del conocimiento y la innovación, con herramientas respetuosas con el medio ambiente y en un entorno que favorezca el empleo de calidad, la igualdad de oportunidades y la cohesión social (La Moncloa. Referencia del Consejo de Ministros).

1.6. El concepto de huella ecológica

1.6.1. Definición

La **huella ecológica** es un indicador agregado definido como «el área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos) necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población dada con un modo de vida específico de forma indefinida» (Mathis Wackernagel y William Rees, 2001). Su objetivo fundamental consiste en evaluar el impacto sobre el planeta de un determinado modo o forma de vida y, comparado con la biocapacidad del planeta. Consecuentemente es un indicador clave para la sostenibilidad.

La ventaja de la huella ecológica para entender la apropiación humana está en aprovechar la habilidad para hacer comparaciones. Es posible comparar desde las emisiones de transportar un bien en particular con la energía requerida para el producto sobre la misma escala (medido en hectáreas).

Es importante señalar que la huella ecológica nos ofrece un impacto de mínimos, ya que aún no considera todo el impacto que produce una población. No incorpora, por ejemplo, las emisiones a la atmósfera diferentes del CO_2, o los vertidos a ríos y mares. Por tanto, siempre se deberá considerar que el impacto real será mayor que el calculado por la huella ecológica, pero, aunque se puede y se debe desarrollar más el indicador para así extraer todo su potencial, ofrece ya una imagen muy aproximada, clara y significativa de la realidad (Doménech, 2007).

1.6.2. Cálculo

El cálculo de la huella ecológica es complejo, y en algunos casos, imposible, lo que constituye su principal limitación como indicador; en cualquier caso, existen diversos métodos de estimación a partir del análisis de los recursos que una persona consume y de los residuos que produce. Básicamente sus resultados están basados en la observación de los siguientes aspectos:

- La cantidad de hectáreas utilizadas para urbanizar, generar infraestructuras y centros de trabajo.
- Hectáreas necesarias para proporcionar el alimento vegetal necesario.
- Superficie necesaria para pastos que alimenten al ganado.
- Superficie marina necesaria para producir el pescado.
- Hectáreas de bosque necesarias para asumir el CO_2 que provoca nuestro consumo energético. En este sentido no sólo incidiría el grado de eficiencia energética alcanzado sino también las fuentes empleadas para su obtención: a mayor uso de energías renovables, menor huella ecológica.

Según Juan Luis Doménech (libro “Huella ecológica y desarrollo sostenible”, 2007), en el conjunto del mundo, cada persona dispone de los recursos producidos por unas 2 ha de terreno al año, distribuidos del siguiente modo: 0,25 ha de cultivos, 0,6 ha de pastos, 0,6 ha de bosques, 0,03 ha de terreno construido y 0,5 ha de mar. Si descontamos el 12% necesario para la biodiversidad, obtenemos 1,7 ha/cap/año.

La huella ecológica del mundo creció un 50% desde 1970 a la actualidad, debiéndose dicho incremento fundamentalmente al aumento en el consumo de la energía eléctrica necesaria para producir bienes y servicios.

La huella ecológica del mundo es actualmente, con los niveles presentes de población de 2,3 ha/cap/año, por lo que en el balance final se obtiene un déficit de 0,6 ha, es decir, sobrepasamos la capacidad de carga global en un 30% como mínimo (ya que como se ha mencionado, la huella subestima el impacto total real). Por tanto estamos viviendo por encima de nuestras posibilidades, lo cuál es posible porque consumimos recursos fósiles acumulados durante millones de años (los cuales no se pueden reponer a corto plazo).

Es importante señalar, que todos estos datos, están sujetos a una gran incertidumbre, variando de unos autores a otros. Por ejemplo, desde un punto de vista global, se ha estimado en 1,8 ha (Living Planet Report, 2006) la biocapacidad del planeta por cada habitante (frente a otros autores como Juan Luis Doménech que la estiman en 1.7 ha/cap/año), o lo que es lo mismo, si tuviéramos que repartir el terreno productivo de la tierra en partes iguales, a cada uno de los más de seis mil millones de habitantes en el planeta, les corresponderían 1,8 hectáreas para satisfacer todas sus necesidades durante un año. Con los datos de 2005, el consumo medio por habitante y año es de 2,7 hectáreas (frente a las 2,3 ha/cap/año estimadas por Doménech), lo cuál evidencia aún más, que a nivel global, estamos consumiendo más recursos y generando más residuos de los que el planeta puede generar y admitir.

1.6.3. Aplicación y metodologías

El análisis Huella ecológica ha sido aplicado a varios niveles, desde la escala global (Wackernagel y Rees, 1996; Wackernagel et al., 2000) hasta el nivel hogareño (Simmons y Chambers, 1998; Chambers et al., 2000). En este estudio, el componente huella ecológica de Guernsey ha sido calculado y luego usado como una herramienta para explorar la toma de decisiones. Esto ha sido hecho considerando la huella ecológica de pasajeros de viaje, observando datos sobre series de tiempo y el desarrollo de escenarios.

La aproximación componente base, primero documentada por Simmons y Cambers (1998) y luego por Simmons et al., (2000) es un acercamiento diferente a la huella ecológica. En lugar de considerar el consumo de materias primas, este considera el efecto de transporte, energía, agua y desecho. Esta resultó una estructura más simplificada y educativa con mayor significado a nivel regional. Esto es principalmente porque está construido en torno a actividades que las personas pueden razonar y en las cuales ellas participan (tal como la producción de desechos y consumo de electricidad). Simmons y Chambers (1998) calcularon la primera serie de algoritmos capaces de convertir “Uso de Recursos” a “Área de Tierra Equivalente”, titulado “Metodología Eco–índice” (Chambers et al., 2000). El Instituto del Medioambiente de Estocolmo adoptó este acercamiento pionero. En el modelo Componente Base, el valor de la huella ecológica para ciertas actividades son precalculadas usando datos de la región estudiada (Simmons et al.,2000). Con el acercamiento Wackernagel’s, conocido como la Huella Ecológica Compuesta, seis principales tipos de tierra de espacio productivo son usados:

- Hectáreas de superficie destinadas a cultivos
- Hectáreas de superficie destinadas a pastos para alimento del ganado
- Hectáreas de superficie de mar (productos pesqueros)
- Hectáreas de plantación de bosques para la obtención de productos de madera y papel
- Tierra ocupada para urbanismo, carreteras, minas a cielo abierto u otros usos

• Hectáreas de bosque, océanos u otros "sumideros", destinados a absorber el CO_2 que produce la fabricación y obtención de toda clase de productos, materiales o servicios, incluida la destrucción o reciclaje de otros desechos.

El acercamiento Compuesto considera la demanda humana sobre cada uno de esos tipos de tierra, para una población dada, donde quiera que esta tierra pueda estar.

Figura 2. Componentes de la huella ecológica (cultivos, pastos, mar, bosques, suelo urbanizado y sumideros de CO_2). Fuente: Global Footprint Network

Los autores del método original, Mathis Wackernagel y William Rees (1996), consideraron aplicar el mismo a varias escalas: individuos, vivienda familiar, ciudades, regiones, naciones y el mundo en su conjunto, pero no a una empresa como ente independiente. Sin embargo, como ya se ha sugerido con anterioridad (Doménech, 2004), aunque el consumo duele referirse al ciudadano como consumidor final, la huella ecológica es perfectamente aplicable a la empresa ya a cualquier tipo de organización (como personas jurídicas), ya que éstas también son consumidoras de bienes y servicios. Así pues, surge esta variable del método original denominada "huella ecológica corporativa".

En la actualidad, se trabaja a lo largo de diversas líneas de investigación, con el fin de mejorar el cálculo de la huella ecológica, siendo cada vez más representativo y con un porcentaje de error menor. Así pues, cabe destacar el trabajo de Juan Luis Doménech, en el desarrollo de la denominada metodología MC3, aplicable al cálculo de la huella ecológica corporativa, en base a la contabilidad de la empresa.

Dicho método será el que se aplique, para la realización del presente estudio, al caso particular de tres industrias cementeras "tipo". La descripción del método se explica en el capítulo 3, de forma previa a su aplicación directa.

1.6.4. La huella ecológica en el mundo

La institución Glabal Footprint Network, recoge en su publicación Living *Planet Report 2006*, la siguiente lista:

Tabla 1. Clasificación de los países con mayor huella ecológica por persona en ha globales (años 2003 y 2005)

Clasif. 2003	País	Huella ecológica[1] 2003	Clasific. 2005	País	Huella ecológica 2005
1	Emiriatos Árabes Unidos	11,9	1	Emiriatos Árabes Unidos	9,5
2	Estados Unidos	9,6	2	Estados Unidos	9,4
3	Finlandia	7,6	3	Kuwait	8,9
4	Canadá	7,6	4	Dinamarca	8,0
5	Kuwait	6,3	5	Australia	7,8
6	Australia	6,6	6	Nueva Zelanda	7,7
7	Estonia	6,5	7	Cnadá	7,1
8	Suecia	6,1	8	Noruega	6,9
15	España	5,4	12	España	5,7
46	México	2,6	43	México	3,4
50	Chile	2,3	51	Chile	3,0
55	Argentina	2,3	58	Venezuela	2,8
57	Venezuela	2,2	86	Argentina	2,5
Población[2] (2003)	**Región**	**Huella ecológica[1] 2003**		**Población (2005)**	**Huella ecológica (2005)**
6.301,5	MUNDO	2,23		6.476	2,7
955,6	Países de ingresos altos	6,4		972	6,4
3.011,7	Países de ingresos medios	1,9		3.098	2,2
2.303,1	Países de ingresos bajos	0,8		2.371	1,0

[1] Ha global/persona
[2] Millones de personas

Según este mismo informe, para el año 2005 se estimó el número de hectáreas globales (hectáreas bio-productivas) por persona en 2,1. Sin embargo, para todo el mundo, el consumo se sitúa en 2,7. Por lo tanto, al menos para este año (y la tendencia es creciente, pues en 2003 la huella ecológica mundial se estimó en 2.23), estuvimos sobre-consumiendo respecto de la capacidad del planeta: estamos destruyendo los recursos a una velocidad superior a su ritmo de regeneración natural.

Aunque la huella ecológica aspira a ser sobre todo un indicador cuantitativo y preciso, sus principales frutos los ha dado como marco conceptual que permite comparar sociedades completamente dispares y evaluar su impacto sobre el medio ambiente planetario. En una vida básicamente agraria bien organizada y sin monocultivos extensivos, se estima que entre 1 y 2 ha son aproximadamente el terreno necesario para atender a las necesidades de una familia de forma autosuficiente. Por otra parte, se ha llegado a la conclusión de que serían necesarios otros dos planetas como éste para que los 6.000 millones de seres humanos actuales pudieran vivir todos de la manera en que, por ejemplo, vive un ciudadano francés medio, es decir, en una sociedad industrial basada en la disponibilidad de combustibles fósiles. Estas primeras conclusiones hacen necesario distinguir dos elementos fundamentales:

• En el mundo industrial actual los impactos se producen a nivel planetario

• La huella ecológica poco tiene que ver con el espacio físico ocupado por un grupo humano.

De esta manera la huella ecológica de la mayoría de los países desarrollados supera ampliamente su propia superficie, ya que extraen recursos y vierten residuos en lugares muy alejados de su territorio.

El valor didáctico del concepto de huella ecológica reside en que hace evidentes dos realidades ligadas que quedan fuera del alcance de la intuición. Primero, que el modo de vida característico de los países más ricos del planeta no puede extenderse al conjunto de sus habitantes. Segundo, que una economía planetaria sostenible exige de esa misma minoría acomodada una reducción de sus consumos; y también de su nivel de vida, en la medida en que no pueda compensarse con un aumento equivalente en la eficiencia de los procesos productivos.

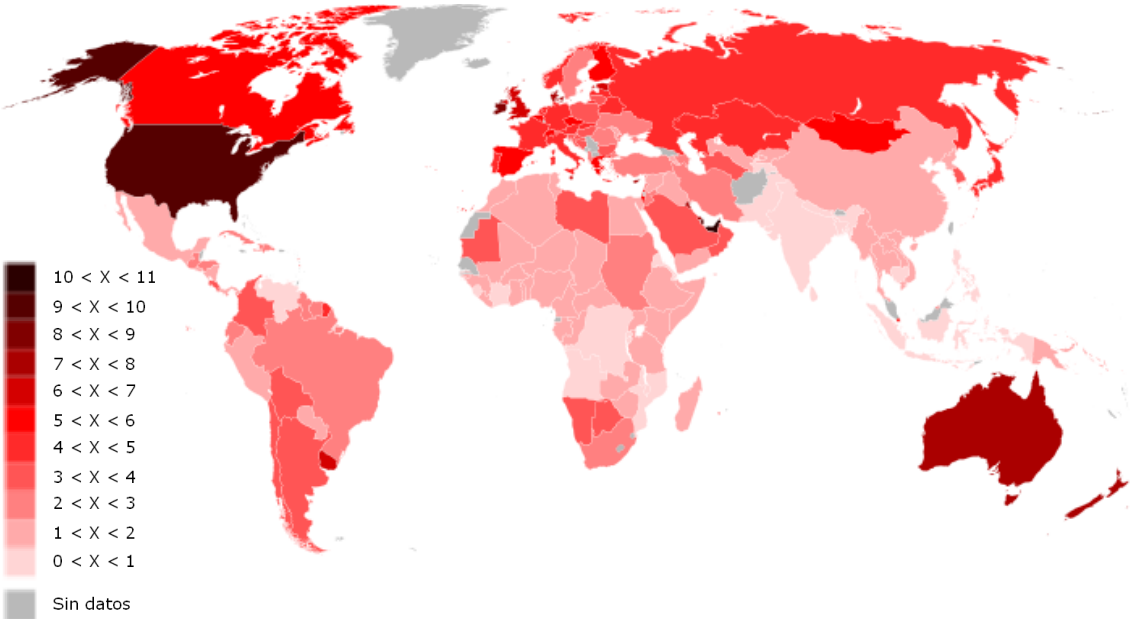

Figura 3. Mapa de huella ecológica global medida en ha/cap/año (año 2005)

Fuente: Global Footprint Network

Capítulo 2 Impacto ambiental del hormigón y medidas correctoras

2.1. Introducción

El hormigón es el material de construcción más empleado en el mundo, y tras el agua, es el producto más consumido del planeta. Cada año, la industria del hormigón emplea 1.6 billones de toneladas de cemento, 10 billones de toneladas de roca y arena y un billón de toneladas de agua. Cada tonelada de cemento, requiere 1.5 toneladas de roca caliza así como del consumo de combustibles fósiles.

La gran popularidad del hormigón se debe a sus excelentes características, como gran durabilidad, resistencia, etc. No obstante, su uso también acarrea unos grandes costes medioambientales, destacando particularmente, la enorme cantidad de energía consumida y CO_2 liberado durante su fabricación. Además, la obtención de áridos y materias primas necesarias para la obtención del cemento, puede implicar la destrucción de ciertos hábitats así como causar problemas de contaminación en el aire y agua de la zona.

Hoy en día, se están tomando diferentes medidas para minimizar dichos impactos sobre el medio ambiente, entre las que se destaca la substitución del cemento por otros materiales, tales como las cenizas volantes o escoria de alto horno y el empleo de materiales reciclados.

Como se ha mencionado, la fabricación de cemento, y más específicamente la producción de clínker, es una actividad que requiere un consumo intensivo de energía, tanto en forma de energía térmica como en forma de electricidad.

Esta aportación energética puede ser realizada a partir de diferentes fuentes:

- Por el uso de combustibles sólidos convencionales, fundamentalmente carbón y coque de petróleo, y en menor proporción por combustibles líquidos como fuel oil o gasoil, o gaseosos como el gas natural.

- Por el uso de combustibles alternativos constituidos por diferentes tipos de residuos que tienen, como características comunes, un poder calorífico suficientemente elevado para realizar una aportación energética neta al proceso de producción y la ausencia de contaminantes claves que pueden ser perjudiciales para la salud de los trabajadores y el medio ambiente, para el funcionamiento de las instalaciones o para la calidad del producto final.

La utilización de determinados residuos en la fabricación de clínker y en la de cemento es un hecho completamente incorporado a los procedimientos de fabricación, tanto por sustitución de combustibles tradicionales como por la utilización de algunos residuos como materias primas alternativas.

En este sentido, desde hace muchos años se viene realizando la sustitución de combustibles habituales de origen fósil por residuos con alto poder calorífico, como aceites usados, disolventes y otros residuos peligrosos; también tiene una gran tradición en algunos países europeos la utilización de neumáticos fuera de uso, papel no recuperable, maderas usadas y otros residuos no peligrosos.

Esta sustitución se realiza manteniendo los combustibles alternativos el carácter de residuos, del que se deriva la aplicación de normativas ambientales estrictas propias de los procedimientos de gestión de residuos, aunque esta utilización sea clasificada como *valorización energética* frente a otras opciones de eliminación.

Las justificaciones de la sustitución de combustibles tradicionales por determinados residuos son, fundamentalmente, de tipo ambiental y económico; entre las primeras, las más importantes son:

• La optimización de la recuperación de la energía contenida en los residuos, ya que la utilización en cementeras conduce a un grado de aprovechamiento energético superior al de otros procedimientos de recuperación de la energía interna de los residuos.

• La reducción de la cantidad de residuos depositados en vertedero, que supone una pérdida de recursos disponibles, que obliga a un aumento del consumo de recursos fósiles.

• La reducción del uso de fuentes de energía no renovables.

• La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, fundamentalmente por la sustitución de combustibles fósiles por otros que, al menos parcialmente, pueden tener un origen biológico.

• Permite una correcta gestión de algunos tipos de residuos peligrosos, reduciendo las necesidades de instalaciones de tratamiento; este aspecto puede ser especialmente importante en España, donde existe un déficit importante de instalaciones de valorización y/o eliminación de residuos por vía térmica.

Desde el punto de vista económico, la utilización de residuos como combustibles alternativos presenta ventajas importantes:

• Reducción del coste de combustibles para la industria cementera.

• Reducción de los costes ambientales, derivados de una menor emisión de CO_2 en el proceso de fabricación y el consiguiente ahorro de los derechos de emisión.

• Para los gestores de residuos puede suponer unos menores costes globales de gestión, con disminución de la necesidad de nuevas infraestructuras, tanto de tratamiento térmico como de nuevos vertederos.

2.2. Vocabulario básico sobre residuos

• **Aceites usados:** Todo producto usado semilíquido o líquido compuesto entera o parcialmente de aceite normal o de aceite sintético, incluyendo los residuos aceitosos de cisterna, las mezclas agua-aceite y las emulsiones.

• **Almacenamiento:** Depósito temporal de residuos, con carácter previo a su tratamiento o eliminación, durante menos de dos años o seis meses en caso de residuos peligrosos.

• **Análisis de Ciclo de Vida (ACV):** En inglés LCA (Life Cycle Assessment). Es un proceso objetivo para evaluar el impacto ambiental asociado con un producto, proceso o actividad por medio de la identificación de los materiales y la energía utilizados y los desechos liberados al ambiente, para evaluar y, en su caso, realizar mejoras ambientales. La evaluación incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de extracción y procesado de materias primas, producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclado y vertido final.

• **Biometanización:** Proceso por el cual se acelera la generación de metano a partir de los residuos orgánicos. Este metano (biogás) se utiliza para la producción de electricidad.

• **Cambio climático:** Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Art. 1, párrafo 2), se trata de un cambio de clima atribuído directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

• **Clínker:** Producto intermedio generado en la fabricación del cemento y principal componente de éste. La fabricación del clínker es la etapa del proceso que consume mayor cantidad de energía.

• **Coincineración:** Proceso de generación de energía o productos industriales que utiliza residuos como combustible habitual o complementario, denominándose en este caso valorización, o en el cual los residuos se traten térmicamente para su eliminación.

• **Combustibles alternativos:** Se denominan así a los residuos utilizados para sustituir a los combustibles fósiles.

• **Combustibles fósiles:** Mezclas de compuestos orgánicos que se extraen del subsuelo, como pueden ser el carbón, el petróleo y el gas natural, para producir energía por combustión.

• **Comercio de emisiones:** Mecanismo económico que parte de la atribución de unos límites en forma de derechos de emisión de gases de efecto invernadero a ciertos sectores de actividad de la Unión Europea. Para facilitar el ajuste a estos límites, se permite la compraventa de derechos de emisión entre países que tengan objetivos establecidos dentro del Protocolo de Kioto. El precio de los derechos de emisión no está prefijado, sino que varía según la oferta y la demanda, como una bolsa de valores. Como consecuencia, los países que reduzcan sus emisiones más de lo comprometido podrán vender los derechos de emisión excedentarios a aquellos otros países que no hayan podido cumplir con su compromiso.

• **Compostaje:** Descomposición biológica aeróbica (en presencia de oxígeno) de residuos orgánicos en condiciones controladas.

• **COT:** Carbono Orgánico Total.

• **COV:** Compuesto Orgánico Volátil.

• **Dependencia energética del exterior:** Es la necesidad de un territorio de importar energía, ya sea en forma de combustibles fósiles, electricidad, etc.

• **Desarrollo Sostenible:** El desarrollo que asegura las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para enfrentarse a sus propias necesidades.

• **DG ENVI:** Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea.

• **Efecto Invernadero:** Fenómeno que consiste en la elevación de la temperatura de la atmósfera por la dificultad de disipación de la radiación calorífica emitida por la superficie terrestre al ser captada por los gases de efecto invernadero (CO_2, N_2O, O_3, CH_4 y CFCs).

• **Eliminación:** Todo proceso dirigido al vertido de residuos o a su destrucción, total o parcial, de una manera segura y sostenible, como por ejemplo: vertido en lugares especialmente diseñados, incineración en tierra o depósito permanente.

• **Envases:** Productos de cualquier naturaleza que se usan para contener, proteger, manipular, distribuir y presentar mercancías, en cualquier fase de la cadena de fabricación, distribución y consumo.

• **Estación de transferencia:** Instalación en la que se descargan y almacenan los residuos para poder transportarlos posteriormente para su tratamiento o eliminación, con o sin agrupamiento previo.

• **Evapotranspiración:** Es la combinación de los fenómenos de evaporación (proceso físico de cambio de estado del agua de líquido a gaseoso, retornando directamente a la atmósfera en forma de vapor) desde la superficie del suelo y la transpiración vegetal (proceso físico-biológico por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso a través del metabolismo de las plantas y pasa a la atmósfera).

• **Gestión de residuos:** La recogida, almacenamiento, transporte, valorización y eliminación de los residuos, incluida la vigilancia de estas actividades y de los lugares de depósito o vertido después de su cierre.

• **Gestor:** Persona o entidad, pública o privada, que realice cualquiera de las operaciones de gestión de residuos, sea o no el productor de los mismos.

• **Incineración:** Tratamiento térmico de los residuos, ya sea por combustión, pirólisis, gasificación térmica, etc. Se puede realizar con o sin recuperación energética.

• **Instalación de incineración:** Cualquier unidad técnica o equipo, fijo o móvil, dedicado al tratamiento térmico de residuos mediante las operaciones de valorización o eliminación, con o sin recuperación del calor producido por la combustión.

• **Instalación de coincineración:** Cualquier instalación fija o móvil cuya finalidad principal sea la generación de energía o fabricación de productos materiales y que utilice residuos como combustible habitual o complementario, denominándose en este caso valorización, o en la cual los residuos se traten térmicamente para su eliminación. Las plantas cementeras pueden ser instalaciones de coincineración (en este caso de valorización).

• **Lixiviados:** Cualquier líquido que percole a través de los residuos depositados y que rezume desde o esté contenido en un vertedero.

• **Mix Energético:** Conjunto de fuentes de energía.

• **Poseedor de residuos:** el productor de los residuos o la persona física o jurídica que los tenga en su posesión.

• **Potencial de calentamiento radiactivo (*Global Warming Potential*):** Potencial de calentamiento radiactivo de una molécula específica respecto del CO2, el cual se toma como compuesto de referencia.

• **Prevención:** Conjunto de medidas para evitar la generación de residuos o para conseguir su reducción o la de la cantidad de sustancias peligrosas o contaminantes presentes en ellos.

• **Principio de autosuficiencia:** Principio que busca que el conjunto de la Unión Europea (y, en la medida de lo posible, cada país de forma individual) tienda a garantizar por sí mismo la gestión de sus residuos.

• **Principio de proximidad:** Principio cuyo objetivo es reducir los movimientos de residuos (sobre todo los peligrosos) fuera del territorio en que se generan tanto dentro de cada región

como de cada país, y de la propia Unión Europea. Este principio implica que cada país disponga de una red homogénea y suficiente de instalaciones de tratamiento y gestión de residuos.

• **Principio de quien contamina paga:** Principio consagrado en la política medioambiental de la Unión Europea que, en materia de residuos, hace recaer el coste de su gestión en el poseedor de éstos y/o el productor generador de los mismos.

• **Productor de residuos:** Cualquier persona cuya actividad produzca residuos o cualquier persona que efectúe operaciones de tratamiento previo, de mezcla o de otro tipo que ocasionen un cambio de naturaleza o de composición de esos residuos.

• **Protocolo de Kioto:** Instrumento internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero1 en un porcentaje de un 5%, dentro del periodo 2008 - 2012, en comparación a las emisiones del año 1990. Éste es un porcentaje a nivel global y cada país tiene sus propios porcentajes individuales de emisión. La Unión Europea, en conjunto debe reducir un 8%, y dentro de ella cada Estado Miembro tiene objetivos diferentes. España, debido a su desarrollo económico, puede aumentar hasta un 15% las emisiones respecto a las de 1990. Este instrumento se encuentra dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, suscrita en 1992 dentro de lo que se conoció como la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro.

• **Reciclado:** transformación de los residuos para su fin inicial o para otros fines, incluido el compostaje y la biometanización, pero no la incineración con recuperación energética.

• **Recogida:** Toda operación consistente en recoger, clasificar, agrupar o preparar residuos para su transporte.

• **Recogida selectiva:** Sistema de recogida diferenciada de materiales orgánicos fermentables y de materiales reciclables, así como cualquier sistema de recogida que permita la separación de los materiales valorizables contenidos en los residuos.

• **Regeneración de aceites usados:** Cualquier proceso que permita producir aceites de base mediante un refinado de aceites usados, en particular mediante la separación de los contaminantes, los productos de la oxidación y los aditivos que contengan dichos aceites.

• **Residuo:** Cualquier sustancia u objeto del que su poseedor se desprenda o del que tenga intención u obligación de desprenderse.

• **Residuos Sólidos Urbanos (RSU):** Aquéllos generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios así como los que puedan asimilarse a ellos y no tengan la categoría de peligrosos. Incluye los procedentes de limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas, playas, animales domésticos muertos, muebles, enseres, vehículos abandonados y escombros de obra menor.

• **Residuos peligrosos:** Todos los que figuran en la lista de residuos peligrosos así como los recipientes y envases que los hayan contenido.

• **Residuos primarios o residuos crudos:** Los recogidos directamente de los generadores sin que hayan sufrido ningún proceso posterior de clasificación, separación o tratamiento de reciclaje o de otras operaciones de valorización.

• **Residuos secundarios:** Los generados como rechazos en las plantas de tratamiento de los residuos primarios o crudos, como por ejemplo, en las plantas de separación y clasificación de envases, plantas de compostaje o biometanización de la materia orgánica o instalaciones de incineración con recuperación de energía.
• **Reutilización:** Empleo de un producto usado para el mismo fin para el que fue diseñado originariamente.

• **Tasa de sustitución:** Porcentaje de consumo de combustibles alternativos sobre el total de consumo térmico.

• **Valorización:** Es el término utilizado actualmente para la traducción española del término en inglés "recovery" de la Directiva Marco de Residuos en vigor. Procedimiento de recuperación que permite el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos, de manera segura y sostenible. Entre dichos procedimientos destacamos:

• Utilización principal como combustible o como otro medio de generar energía.

• Recuperación o regeneración de disolventes.

• Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes.

• Reciclado y recuperación de metales o de compuestos metálicos.

• Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas.

• Regeneración de ácidos o de bases.

• Recuperación de componentes utilizados para reducir la contaminación.

• Regeneración u otro nuevo empleo de aceites.

• Tratamiento de los suelos con beneficio ecológico o para la agricultura.

• Utilización de residuos para someterlos a cualquiera de las operaciones anteriores.

En la propuesta de Directiva ya se utiliza el término "recuperación" en español como traducción de "recovery".

2.3. Impacto ambiental de los componentes del hormigón

2.3.1. Introducción

A lo largo de este apartado, se abordarán, uno por uno, los principales componentes del hormigón, analizando en qué medida contribuyen al impacto ambiental del producto final así como medidas, por medio de las cuales, dicho impacto puede ser atenuado. De la bibliografía seguida, destaca el libro de Meg Calkings "Materials for Sustainable Sites", tomado como referencia para la redacción de las próximas páginas.

Se tratará también el empleo de residuos, como los neumáticos fuera de uso o los aceites usados, para la fabricación del hormigón por medio del reciclado, reutilización, valorización, etc. A la vez que se estudiará el estado de implantación de dichas técnicas a nivel español y europeo. En este caso, las principales referencias fueron los siguientes informes de la Fundación Laboral del Cemento y Medio Ambiente (CEMA):

• Valorización de residuos en la industria cementera europea: estudio comparado (Alonso&Asociados)

• Reciclado y valorización de residuos en la industria cementera en España (Instituto Cerdá)

• La sustitución de combustibles fósiles en el sector cementero. Oportunidad para reducir el vertido de residuos (Instituto para la Sostenibilidad de los Recursos – ISR)

2.3.2. Cemento Portland

2.3.2.1. Características generales

El cemento Portland es el principal componente del hormigón, ya que es precisamente el encargado de agregar todos los demás componentes en una masa resistente y durable. No obstante, también es el componente que mayor impacto ecológico produce sobre el medio ambiente. La industria del cemento, soporta, de hecho, el mayor ratio de intensidad de energía por dolar de producto obtenido (U.S. EPA 2007).

En la fabricación del cemento Portland, puede ser empleado uno de los siguientes procesos: el proceso húmedo, el proceso de secado prolongado, el proceso seco con precalentado y el proceso seco con precalcinado. El proceso húmedo es el más antiguo y el que más cantidad de energía demanda, de modo que progresivamente, las empresas de hoy en día, se esfuerzan por adaptar sus instalaciones a alguno de los otros métodos.

Además de la energía consumida, y del CO_2 liberado, las actividades mineras necesarias para la obtención de la roca caliza pueden favorecer la destrucción de ciertos hábitats así como la liberación de contaminación al aire y agua. En cuanto a este aspecto, se preferirán las explotaciones mineras subterráneas a las canteras a cielo abierto, si bien es cierto, que su coste es sensiblemente mayor.

2.3.2.2. Uso de energía durante la producción de cemento Portland

Como se ha mencionado, la fabricación del cemento requiere de una extraordinaria cantidad de energía. Las materias primas se “piroprocesan” en grandes hornos a temperaturas de unos 1.500ºC para obtener el clinker.

En 2004, el sector del cemento, consumió 422 trillones de Btus de energía, casi el 2% del total de energía consumida por la industria americana (PCA 2006).

La principal fuente de energía es el consumo de carbón, seguido del coque y de energía eléctrica comprada, la cuál es producida en un alto porcentaje, a partir del carbón.

2.3.2.3. Emisiones a la atmósfera

→ **CO_2** – El sector cementero es responsable de alrededor del 5% de las emisiones de CO_2, principal gas productor del efecto invernadero y cambio climático (Humphreys and Mahasenan 2002). Durante la fabricación, se produce CO_2 en torno a dos vías: la conversión química de la piedra caliza producida durante su calcinación y el propio consumo de combustibles como el carbón. Hoy en día se estudian diferentes medidas para reducir estas emisiones, entre las que se destacan las siguientes:

- Uso del proceso seco, mucho más eficiente que el proceso húmedo (720-800 the/t de clinker, frente a 1300-1500 the/t de clinker, según Humphreys and Mahasenan 2002).

- Potenciar el uso de cementos con adiciones (o cementos mixtos), que incluyen materiales como las cenizas volantes o escorias de alto horno y que no requieren ser procesados en los hornos de clinker.

- Usar alternativas al uso de combustibles fósiles y perseguir sistemas de consumo más eficiente.

→ **Partículas materiales** – Las operaciones llevadas a cabo desde la obtención de las materias primas en minas y canteras hasta las de calcinado, empaquetado, transporte, etc. producen ciertas pérdidas de partículas materiales que se liberan al medio local pudiendo llegar a producir cierto impacto ambiental. Las partículas cuyo diámetro no supera las 2,5 micras (PM2.5) son las causantes de los mayores efectos negativos sobre la salud humana. En general son difícilmente eliminables por el propio cuerpo humano y pueden llegar a provocar problemas repiratorios.

→ **Óxidos de Nitrógeno (NO_x)** – Se generan durante la quema de combustibles fósiles, liberándose más cantidad cuanto mayor sea la temperatura de combustión. En general, contribuyen al efecto isla sobre las ciudades, reducen la calidad del aire y provocan cierto impacto sobre la salud de los seres humanos. El uso de carbón en lugar de aceites o gas natural, reduce las emisiones de estos compuestos, aunque bien es cierto que incremente las de CO_2.

→ **Dióxido de Azufre (SO_2)** – Pueden ser producidos por los propios compuestos sulfurosos presentes en las materias primas aunque también se producen al quemar combustibles durante los procesos de fabricación. La propia naturaleza alcalina de los materiales tiende a "reabsorber" entre un 70% y un 90% del SO_2, pero el restante es liberado, contribuyendo a reducir la calidad del aire, producción de "smog", lluvia ácida e incluso ciertos problemas respiratorios.

→ **Productos nocivos de la contaminación del aire** – La industria del cemento emplea y produce materiales con ciertas características químicas que pueden llegar a ser nocivas para la salud pública. Si el combustible no se consume completamente durante la combustión, componentes como el monóxido de carbono (CO) y VOCs pueden ser liberados. Además, en los hornos de clinker, se producen ciertos compuestos metálicos que también son liberados a la atmósfera.

2.3.3. Agua

En la fabricación del cemento serequiere de un importante consumo de agua, empleada en controlar las emisiones de polvo al aire, refrigerar los gases salientes de los hornos, enfriar el producto, etc. Cabe destacar que el empleo de filtros de mangas para el desempolvado, en vez de electrofiltros, elimina la necesidad del empleo de agua.

Esta agua empleada, contiene abundantes cantidades de sólidos en suspensión, aluminio, fenoles, aceites y grasas, nitratos, materia orgánica disuelta, cloruros, sulfatos, amonio, zinc y altos índices de pH.

2.3.4. Áridos

Los áridos gruesos y finos suponen entre un 60% y un 75% del volumen total dentro del hormigón. Estos pueden proceder de una mina o bien ser manufacturados a partir del machaqueo de piedra. Algunos son subproductos de procesos industriales o incluso productos de desecho. Las arenas y gravas, suelen ser extraídas en canteras o dragadas de los lechos de los ríos y lagos. Éstas suelen suponer un mínimo proceso de tratamiento frente a los áridos obtenidos del machaqueo de roca.

Los principales impactos que estas actividades suponen son la alteración del hábitat y la creación de polvo. Por norma general, suele ser bastante complicado capturar este polvo en operaciones de cantera, machaqueo, transporte, acopio, etc.

El procesado de materiales como la sílice (comúnmente contenida en la arena), libera partículas en el aire que pueden causar irritaciones en ojos y sistema respiratorio humano.

Las actividades mineras, de extracción, dragado, etc. de arena y grava suelen alterar hábitats de plantas y animales, contribuir a la erosión del suelo y a la contaminación del aire y del agua. Por último, suele ser necesaria maquinaria pesada capaz de emprender estas tareas, lo cuál se traduce en un considerable consumo de combustible con su correspondiente emisión de CO_2 a la atmósfera.

2.3.5. Producción y transporte del hormigón

Unas tres cuartas partes del hormigón empleado, se fabrica en plantas mixtas para luego ser transportado bien en tren, barcazas o camiones. En estos procesos, así como en las propias plantas, suelen producirse pérdidas de material en forma de polvo que incluso puede contener porciones de metales pesados y cuyos efectos nocivos para la salud humana ya se han expuesto.

El consumo de agua, es también un factor ambiental muy a tener en cuenta, puesto que desde la fabricación hasta la puesta en obra, el hormigón suele requerir de grandes cantidades de agua en la práctica totalidad de procesos seguidos. Además, el agua usada suele ser devuelta al medio conteniendo ahora una gran contaminación y niveles de pH, lo que la convierte en tóxica para la vida acuática. Es por ello que hoy en día, la mayoría de países regulan la actividad de las plantas hormigoneras obligándolas a tratar dichos vertidos.

La cantidad de energía empleada, también suele depender del tipo de cemento y del uso de constituyentes puzolánicos como las cenizas volantes, humo de sílice o escoria de alto horno. Mezclas con menores cantidades de cemento y mayores porcentajes de otro de estos materiales puzolánicos, suponen una menor cantidad de energía en su fabricación así como de emisiones de CO_2.

En cuanto al transporte, es obvio que el factor ambiental predominante son las emisiones de CO_2. Afortunadamente, en la actualidad existe un considerablemente alto número de plantas de hormigón e incluso plantas provisionales establecidas expresamente para obras de gran envergadura. Así pues, las distancias de transporte, no suelen ser demasiado largas para los componentes convencionales del hormigón, aunque sí bien es cierto, que materiales como las escorias de alto horno, humo de sílice y cenizas volantes pueden requerir transportes desde puntos más lejanos. Esto se traduce en que muchas empresas productoras de hormigón, prefieran emplear más cantidad de cemento Portland, con los consiguientes inconvenientes ambientales ya citados a lo largo del presente documento.

Finalmente, mencionar que en las operaciones de mezcla y puesta en obra, el polvo de cemento puede provocar impactos negativos sobre la salud de los operarios. Suele ser un producto altamente alcalino que puede llegar a producir quemaduras en tejidos pulmonares, ojos y piel.

2.4. Reducción del impacto ambiental del cemento Portland

Dado que una buena porción de los impactos ambientales que el hormigón produce son debidos a la utilización del cemento Portland como uno de sus componentes, es lógico pensar que una reducción en el empleo de éste es un gran paso para alcanzar lo que hoy en día se conoce como “hormigón verde”.

Las estrategias que se siguen para lograr esta tarea se centran en dos corrientes: reducir la cantidad de cemento en la mezcla del hormigón y la sustitución de éste por alternativas más apropiadas como las puzolanas industriales o subproductos como las cenizas volantes, humo de sílice y escorias.

2.4.1. Reducción de la cantidad de cemento en la mezcla

Puede reducirse la cantidad de cemento especificando un período de 56 días (en vez de los habituales 28 días) para alcanzar la resistencia de diseño. Esta opción permite obtener hormigones más durables (Aïtcin, 2.000) e incluso poder aportar mayores volúmenes de cenizas volantes y otros subproductos que ralentizan el curado.

Como ya se ha mencionado, las cantidades de cemento y agua pueden ser también reducidas con el uso de hormigones de altas prestaciones.

2.4.2. Uso de sustitutos del cemento Portland

Hoy en día, diversas investigaciones han demostrado ya que mezclas con hasta un 60% de materiales cementantes suplementarios (MCS) en vez de cemento Portland, son factibles. Aunque probablemente este porcentaje siga siendo todavía alto, los MCS están cobrando cada vez más importancia en el mercado.

Los MCS más empleados son las cenizas volantes (tanto la clase C como la F), la escoria granulada de alto horno y el humo de sílice. Otros MCS son las puzolanas naturales como la arcilla calcinada o el metacaolín.

El empleo de estos materiales reduce las emisiones de CO_2, la cantidad de energía necesaria para la fabricación del hormigón además de reducir la cantidad de residuos y obteniendo un hormigón de mejores prestaciones.

Los cementos mezclados con los diferentes MCS se describen a continuación así como sus principales cualidades.

2.4.2.1. Cenizas volantes

Las cenizas volantes son un subrpoducto de la combustión del carbón, presente fundamentalmente dentro del proceso de funcionamiento de las centrales térmicas de carbón. Su abundancia y prestaciones hacen que sean el MCS más empleado hoy en día, llegando a sustituir al cemento, en algunas mezclas, hasta en un 50%.

Las que se emplean en la construcción son las tipo C (procedentes de la combustión del lignito) y las tipo F (prcedentes de la combustión de la antracita). Dado que las primeras tienen capacidad de hidratarse y endurecer por sí solas, sin la presencia de otros materiales cementantes, pueden entrar en la mezcla en mayores proporciones.

Entre los efectos que producen en la mezcla final, destacan la mayor trabajabilidad del hormigón, una menor necesidad de agua en la mezcla, un mayor tiempo de curado (aunque llegando a alcanzar resistencias incluso mayores que con una mezcla pura de cemento Portland), menores esfuerzos térmicos durante el curado y menor permeabilidad (hormigón menos poroso) además de ofrecer una amplia variedad de composiciones químicas que pueden afectar al producto final en aspectos como el color, resistencia, vulnerabilidad frente a ataques químicos, etc.

2.4.2.2. Escoria molida granulada de alto horno

La escoria de alto horno enfriada rápidamente con grandes volúmenes de agua, forma gránulos cristalinos que una vez molidos y procesados, pueden llegar a sustituir al cemento hasta en un 70%-80% en determinadas mezclas.
Su uso, mejora la trabajabilidad, resistencia y durabilidad del hormigón, reduce el calor de hidratación y mejora la resistencia a compresión y flexión (National Slag Asociation, NSA).

Es importante mencionar, que pese a que suponen un ahorro de cemento realmente considerable, el hecho de tener que ser transportadas desde las plantas siderúrgicas hasta las plantas hormigoneras, puede reducir su beneficio medioambiental, a parte de encarecer el metro cúbico de hormigón.

2.4.2.3. Humo de sílice

Es un subproducto de la industria productora de silicio o aleaciones silicoférricas. Las partículas que lo integran tienen un tamaño 100 veces menor que las partículas de cemento, y una superficie específica, así como contenido de SiO_2, tan elevado, que su uso como aditivo en la mezcla, produce hormigones de enormes resistencias (del orden de 15.000 psi) y durabilidades.

Como contraprestación, se debe señalar que requieren el uso conjunto de superplastificantes lo cuál encarece el producto (siendo ya el propio humo de sílice un subproducto de elevado coste). Además, su inhalación, puede producir graves efectos nocivos, por lo que se suele preparar como “slurry” antes de su uso.

2.4.2.4. Escoria de cáscara de arroz

Esta escoria procedente del recubrimiento de los granos de arroz es otro subproducto que puede reemplazar al cemento en la mezcla, dado su alto contenido en sílice. Como gran ventaja, destacar su enorme producción mundial (unos 60 millones tons anuales). Su uso todavía no está extendido más allá de estudios y pruebas de laboratorio (King 2005)

2.4.2.5. Metacaolín

Es una puzolana natural que se obtiene con la calcinación del caolín y cuyos tienen un tamaño 10 veces menor que los de cemento, resultando un hormigón más compacto. Por ello, este aditivo aumenta la resistencia a ataques químicos, a ciclos de hielo-deshielo y el hormigón alcanza altas resistencias desde una edad más temprana de lo convencional.

2.4.2.6. Roca caliza molida

La asociación americana de cemento Portland (PCA) estimó en 2003 que el uso de un simple 2,5% de este material, reduciría los impactos ambientales en las siguientes magnitudes:

- Reducción de materias primas en un 1,6 millones de toneladas
- Reducción del uso de energía de más de 11,8 trillones de Btus
- Reducción de emisiones de CO_2 en más de 2,5 millones de toneladas
- Reducción de polvo de horno de clinker en más de 190.000 toneladas

2.4.3. Sustitución de áridos naturales por materiales reciclados

El uso de materiales reciclados aporta beneficios ambientales en torno a dos vías. Por un lado, evita la necesidad de obtener, producir o explotar materiales naturales (con el correspondiente impacto ambiental que esto supone) mientras que además, da solución a los vertidos de material de desecho, como pueden ser los procedentes de demoliciones, cuya reincorporación al medio suele suponer un gran impacto ambiental.

Además, dado el bajo coste de estos materiales, el resultado obtenido puede ser incluso más económico que el procedente del uso de áridos naturales.

A parte de los restos de demoliciones, también pueden ser empleados como áridos (tanto finos como gruesos), ladrillos, escorias de alto horno, cristal, plásticos granulados, desechos de fibra de vidrio, maderas mineraizadas, etc.

Como contraprestación, se debe destacar que cada tipo de árido reciclado, puede ofrecer características muy dispares, en cuanto a demanda de agua, resistencia, atacabilidad química, reactividad con otros componentes de la mezcla, etc. Por ello, es muy difícil estandarizar unas características comunes para el hormigón producido con árido reciclado.

2.4.3.1. Áridos de hormigón reciclado

Pese a que su destino más común es el de servir como árido en bases y subbases de firmes y pavimentos, hoy en día, su uso como árido para mezclas de hormigón está cada vez más extendido.

Su uso en estructuras está limitado por su elevada demanda de agua e incertidumbre a la hora de determinar sus propiedades mecánicas. Aún así, empleando este tipo de material, se pueden conseguir reducciones en cuanto a costes e impacto ambiental muy considerables, sobre todo, en zonas en las acceder a áridos naturales es más complejo, como zonas urbanas.

El proceso de obtención suele implicar las siguientes fases:

- Demoler y extraer el hormigón viejo
- Machaqueo con machacadoras primarias y/o secundarias
- Extracción del acero presente en las armaduras
- Lavado, tamizado y clasificado
- Almacenamiento en silos separados de árido grueso y fino

Durante el proceso debe prestarse especial atención a no contaminar los áridos con otros materiales como madera, asfalto, etc. (FHWA 2006). Debe tenerse en cuenta, que durante todo este proceso, se obtiene el acero de las antiguas armaduras como subproducto, que a su vez puede ser reciclado, aportando un beneficio extra a los ya mencionados.

El hormigón con árido reciclado puede poseer cualidades como trabajabilidad, durabilidad y resistencia incluso mejores que con árido natural. Sin embargo ofrecen ciertos riesgos, como el hecho de poder ser contaminados con restos de otros materiales nocivos, necesitan un mayor aporte de agua por ser más porosos o bien la adición de superplastificantes. La resistencia a los 7 y 28 días puede ser ligeramente inferior que con árido natural, pero un 100% de árido reciclado puede suponer una pérdida en el módulo de elasticidad de hasta un 35%.

2.4.3.2. Escoria de alto horno

A parte de ser empleadas como material en sustitución del cemento, pueden ser empleadas tanto como árido fino como grueso. Dependiendo del proceso de enfriamiento, se pueden obtener distintos tipos de material (escorias enfriadas con aire, escoria expandida y escoria pelletizada) con cierta diversidad de características.

2.4.3.3. Desechos plásticos reciclados

El uso de materiales plásticos como árido es una técnica que aún hoy en día se encuentra en fase de desarrollo. No obstante, algunos países como EEUU cuentan con especificaciones técnicas que permiten una sustitución de hasta un 10% del árido grueso y otro 10% del fino (Texas DOT).

2.4.3.4. Vidrio triturado reciclado

Aunque su uso más común se refiere a la sustitución de árido fino, hoy en día, con fracciones más gruesas, se está sustituyendo también el árido grueso, proporcionando al hormigón ciertas características estéticas.

Presenta el problema de posibles reacciones entre los álcalis del cemento y la sílice del vidrio, resultando un gel expansivo que puede provocar roturas y grietas. Pese a que hoy en día se disponen de técnicas que minimizan este nocivo efecto, el hormigón con vidrio reciclado suele dejarse para usos no estructurales, tales como aceras, caminos de acceso, etc.

El vidrio posee una absorción de agua prácticamente nula lo que se traduce en un hormigón más durable. La dureza del vidrio aporta a la mezcla una resistencia a la abrasión superior y durante su etapa plástica, permite una mejor trabajabilidad y puesta en obra. Si se incorporan granos de elevada finura, puede incluso aportar características puzolánicas y dar color al producto final.

2.5. Reducción del impacto ambiental mediante el uso de aditivos

Los aditivos son materiales diferentes del cemento, árido o agua y que se añaden a la mezcla para que ésta adquiera determinadas características especiales.

Mientras que algunos pueden suponer riesgos de toxicidad para los humanos y medio ambiente en general, algunos pueden también mejorar las características “verdes” del hormigón, por ejemplo, logrando que su vida útil sea mayor.

Algunos aditivos pueden causar irritación en ojos, pulmones y piel, además de suponer un riesgo de toxicidad sobre aguas superficiales y subterráneas. Otros contienen metales pesados, como el cromo, plomo y cobalto y otros compuestos químicos dañinos. Es por ello que en la elección del aditivo, se deben sopesar estos efectos frente a las ventajas que ofrece.

Los principales aditivos, así como sus características ambientales más destacables se recogen a continuación.

→ **Retardantes de fraguado** – La mayoría son relativamente benignos. Están compuestos por sustancias orgánicas e inorgánicas. Los orgánicos incluyen calcio no refinado, sodio, sales, NH_4, ácidos hidrocarbosílicos y carbohidratos.

Los inorgánicos incluyen óxidos de plomo y zinc, sales de magnesio, fosfatos, fluoratos y boratos (PATH).

→ **Aceleradores de fraguado** – Un ingrediente común de este tipo de compuestos es el cloruro cálcico, que aunque puede causar irritación en ojos, piel y pulmones, es relativamente benigno. Pueden causar la corrosión de las armaduras de acero por lo que su uso no es demasiado aconsejable.

→ **Superplastificantes** – Su uso, permite ahorrar agua, lo cuál puede ser especialmente importante en ciertas regiones en las que el mencionado bien es escaso (Thompson y Sorvig 2000). Algunos incluyen compuestos químicos como el sulfato de melamina-formaldeido y el sulfato de naftalina formaldeido condensado, que pueden suponer un riesgo de toxicidad tanto para la salud humana como para el propio medio ambiente. El especial factor a tener en cuenta con este tipo de aditivo es la posible contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

→ **Superfluidificantes** – Proporcionan un hormigón más fluido y trabajable sin necesidad de añadir más agua por lo que también favorecen su ahorro. Puede conseguirse este efecto simplemente empleando materiales sustitutivos del cemento como las cenizas volantes, lo cual ayuda incluso a conseguir un hormigón más durable.

→ **Aireantes** – Protegiendo al hormigón de agresiones como por ejemplo las producidas por el efecto hielo-deshielo, provocan que el resultado sea más durable y por tanto, con una vida útil más duradera. Algunos de estos productos contienen sales inorgánicas que son relativamente benignas. Sin embargo, también pueden incluir otras sustancias químicas más nocivas como sulfatos alcalinobencénicos y cocamida dietanolamina metil-eter-derivada (EBN 1993).

→ **Otros aditivos** – Pueden emplearse otros aditivos como los ligantes para unir hormigón nuevo con viejo o aditivos impermeabilizadores. No obstante todos ellos suelen implicar el uso de sustancias poliméricas ambiental y saludablemente nocivas.

2.6. Empleo de residuos como fuente de energía (valorización)

2.6.1. Utilización de residuos en plantas de cemento

2.6.1.1. Aspectos derivados del alto consumo energético

La fabricación de cemento, y más específicamente la producción de clínker, es una actividad que requiere un consumo energético intensivo, especialmente en forma de energía térmica a alta temperatura, lo que exige la aportación de cantidades importantes de combustibles.

Debido a esto, la industria cementera ha trabajado para reducir el consumo energético en tres líneas:

• mejorando el proceso de producción, especialmente con la incorporación de precalcinadores,

• utilizando materias primas alternativas al clínker para la producción de cemento, buscando alternativas al combustible empleado,

• utilizando combustibles alternativos, sólidos y líquidos, constituidos por diferentes tipos de residuos con un poder calorífico suficientemente elevado para realizar una aportación energética neta al proceso.

Esto ha permitido reducir el consumo de energía térmica de forma continua; en la actualidad el consumo energético en hornos modernos puede ser del orden de 3.000 a 3.550 MJ/t de clínker producido.

La utilización de determinados residuos en la fabricación de clínker es un hecho completamente incorporado a los procedimientos de fabricación, tanto para la sustitución de combustibles tradicionales como para la utilización de algunos residuos como materias primas alternativas, dentro de determinados límites impuestos por los rigurosos criterios de calidad de los productos a obtener.

2.6.1.2. Emisiones de dióxido de carbono (CO_2)

La industria cementera produce alrededor del 5% de las emisiones totales de CO_2 debidas a la acción humana; las fuentes de estas emisiones, de acuerdo con los datos de emisiones disponibles en Oficemen, son:

- algo más del 60% (del orden de 540 kg CO_2/t de clínker) se deben al proceso de descarbonatación (transformación de la caliza en cal viva),

- entre el 30 y 40%, aproximadamente, corresponde al uso de los combustibles necesarios en el proceso.

Hay tres caminos para reducir la emisión neta de CO_2 debido a la producción de cemento:

- Optimizar la eficiencia energética de los procesos asociados al uso de energía térmica; en este sentido debe señalarse la incorporación de precalcinadores, aunmento del número de etapas en el intercambiador, empleo de enfriadores de alta eficacia, empleo de mecheros de bajo aire primario y otras formas de aprovechamiento energético.

- Reducir la cantidad de combustible fósil mediante la sustitución por biomasa o por residuos; en el primer caso la energía procedente de la biomasa se obtendría con un balance neutro de CO_2, por su origen biológico; en el caso de utilización de residuos, como la valorización energética en las plantas de clínker tiene un rendimiento térmico superior a otras formas de valorización, las emisiones de CO_2 serán menores para la misma cantidad de energía útil recuperada.

- Como la etapa de producción en la que se producen las mayores emisiones de CO_2 es la producción de clínker, una forma de reducir las emisiones totales en la producción de cemento es sustituyendo parcialmente el clínker por otros subproductos, o residuos, en la fabricación de cemento sin merma de su calidad.

En todo caso, la comparación de las emisiones evitadas de CO_2 derivadas de la utilización de residuos en las plantas de clínker debe compararse, también, con el depósito de residuos en vertederos, que puede ser el destino habitual alternativo de la mayor parte de los residuos utilizados.

2.6.1.3. Ventajas de las plantas de clínker para la valorización energética de residuos

Es suficientemente conocida la adecuación técnica de los hornos de clínker para la valorización energética de determinados residuos de alto poder calorífico y que pueden utilizarse como combustibles alternativos dentro del proceso.

Los aspectos más importantes son:

- Alta temperatura combinada con un tiempo mínimo de residencia de los gases a esta elevada temperatura, en condiciones oxidantes; esto permite garantizar la

total destrucción de las moléculas orgánicas complejas; el Real Decreto 653/2003 establece un tiempo de residencia mínimo de 2 segundos a una temperatura superior a 1.100 ºC cuando el contenido de cloro orgánico de los residuos alimentados sea superior al 1%, para garantizar la destrucción de compuestos orgánicos halogenados.

• Para la formación del clínker es necesario que la temperatura de la masa sólida sea superior a 1.400 ºC lo que implica una temperatura de la llama del quemador del orden de 2.000 ºC; esta temperatura se mantiene a lo largo del horno por un tiempo superior a 6 segundos, lo que garantiza el cumplimiento de las condiciones reglamentarias.

• La naturaleza alcalina del horno de clínker que favorece la neutralización de los gases ácidos producidos en la combustión en el momento de su generación; esta neutralización afecta no sólo a los compuestos ácidos derivados de halógenos (HCl y HF) sino que se produce también para los compuestos de azufre (especialmente SO_2), derivados de la combustión del azufre presente en el coque o en los combustibles alternativos.

• Integración de los residuos secundarios producidos por los combustibles alternativos dentro de la masa de clínker, formando parte fi ja de la estructura de los silicatos e impidiendo su posterior liberación incluso tras el uso del cemento, sin merma de la calidad del producto; de esta forma se evita la formación de residuos secundarios.

• Gran estabilidad térmica del proceso, por el gran inventario material del horno lo que garantiza la ausencia de situaciones anormales de funcionamiento sobrevenida de forma brusca; sin embargo, la gran inercia térmica del sistema supone también una exigencia complementaria de control.

2.6.1.4. Limitaciones en la valorización de residuos por emisiones a la atmósfera

Las emisiones atmosféricas de las plantas de clínker están relacionadas, básicamente, con la emisión de partículas sólidas y con la emisión de gases procedentes de la combustión de los combustibles utilizados.

Para evitar, o controlar, las emisiones de partículas todas las plantas están equipadas con diferentes sistemas de separación de partículas, mediante filtros electrostáticos o mediante filtros de mangas; este desempolvado se aplica tanto a las líneas de proceso principal como a las de molienda de materias primas y productos terminados; las partículas separadas, clínker o materias primas, son reintroducidas al horno o añadidas al clínker en la fase de preparación de cemento.

Las emisiones de gases ácidos y SO_2 típicas en los procesos de combustión, son generalmente bajas por la naturaleza alcalina del proceso, como se ha indicado anteriormente, y son razonablemente independientes del tipo de combustible que se utilice (fuel oil o coque); las emisiones de NOx pueden ser más elevadas que otros procesos de combustión, por la elevada temperatura a que ésta se produce y por el elevado tiempo de permanencia a temperaturas elevadas.

Cuando no se utilizan residuos, los límites de emisión establecidos en las diferentes Comunidades Autónomas pueden ser ligeramente diferentes, y están recogidos en la Autorización Ambiental Integrada (AAI); para el horno de clínker los valores más representativos se muestran en la tabla 2:

Tabla 2. Valores más representativos de límites de emisión en hornos de clínker

Partículas	30 - 50 mg/Nm^3
SO_2	200 - 600 mg/Nm^3
NOx	800/1.200 mg/Nm^3

Cuando se utilizan residuos, las emisiones a la atmósfera pueden estar condicionadas por la composición de los mismos y por el punto de incorporación de los residuos al proceso; las emisiones de contaminantes más importantes son:

→ Emisiones de compuestos orgánicos volátiles procedentes normalmente de las materias primas, podrían darse también si se alimentaran a baja temperatura, en ese caso serían indicativas de una mala combustión; se controlan mediante la medida del Carbono Orgánico Total (COT) en los gases de salida.

→ Emisiones de metales pesados volátiles presentes en los residuos y que no se destruyen en el proceso de combustión dentro del horno; su destino final depende de las propiedades físicas y químicas de cada uno de ellos; debe tenerse en cuenta la existencia de dos mecanismos de retención de los metales pesados:

• uno, de retención de los mismos dentro de la masa de clínker; esta retención es permanente y no afecta a la calidad del clínker ni a las posibilidades de lixiviación posterior,

• otro, de adsorción por las partículas sólidas en los sistemas de intercambio de calor de los precalentadores o en las partículas de polvo separadas en los electrofiltros o filtros de mangas.

→ Cada uno de los metales tiene un comportamiento diferente, dependiendo de su volatilidad o de la posibilidad de formar compuestos volátiles a las temperaturas de los hornos:

• Los metales más volátiles, como talio o mercurio, no son retenidos en suficiente proporción dentro de la masa de clínker sino que abandonan el horno casi en su totalidad, siendo absorbidos en los sistemas de retención de partículas.

• Para el cadmio y el plomo existe un reparto entre la cantidad de metal retenido en el clínker y el retenido en las partículas separadas en los electrofiltros.

• La distribución de otros metales, como cinc, arsénico, cromo y níquel, es relativamente insensible al proceso de producción ya que la práctica totalidad de los mismos queda retenida dentro de la masa de clínker de una forma químicamente estable, que permanece incluso cuando el cemento formado a partir del clínker se somete a procesos de lixiviación.

→ Emisiones de partículas que son independientes de la cantidad y tipo de residuos alimentados como combustibles alternativos, ya que depende de la eficiencia de los equipos de captación o filtrado de partículas; sin embargo, si la presencia de cloro es elevada puede producirse un aumento de las emisiones de partículas.

→ Emisiones de gases ácidos, especialmente HCl y HF, que se generan inicialmente por la presencia de halógenos en los residuos; sin embargo, las

emisiones finales son muy reducidas por el carácter básico del horno, independientemente de la concentración de halógenos en los residuos.

→ Emisiones de otros compuestos regulados por el Real Decreto 653/2003, entre los que tienen mayor importancia las dioxinas y furanos, potencialmente procedentes de reacciones de combustión; la presencia de dioxinas y furanos es considerablemente inferior a los valores límite recogidos en el Real Decreto 653/2003, de 0,1 ng I-TEQ/Nm3.

Como resumen de lo indicado respecto a emisiones atmosféricas procedentes de los hornos de clínker pueden señalarse las siguientes conclusiones:

→ Las emisiones de compuestos orgánicos en las chimeneas de las plantas de clínker no cambian por la utilización de residuos peligrosos en sustitución de los combustibles habituales; las características de emisión dependen más de las variables de operación de la planta que de los combustibles empleados.

→ La mayor parte de los metales pesados presentes en los residuos, o alimentados al horno con las materias primas, quedarán fijados en el clínker, formando parte de la estructura cristalina de los silicatos o embebidos dentro de la misma.

→ Dada la estabilidad intrínseca de las plantas de cemento no es previsible que de las posibles incidencias en la operación se derive un aumento significativo de los riesgos en las emisiones a la atmósfera como consecuencia del uso de residuos como combustibles alternativos.

2.6.1.5. Residuos susceptibles de tratamiento en plantas de clínker

La sustitución de combustibles fósiles por residuos ha sido una práctica muy desarrollada en algunos países desde hace más de 30 años, tanto para residuos peligrosos como para residuos energéticos. Entre los residuos comúnmente utilizados se encuentran:

- Neumáticos usados
- Aceites usados y disolventes
- Harinas de carne y hueso
- Plásticos no reciclables
- Papel, cartón y restos de embalaje
- Lodos de depuradora
- Residuos de madera procedente de actividades de demolición
- Fracciones combustibles derivadas de los residuos urbanos, tras un tratamiento
- Mecánico, o mecánico-biológico

Junto a los anteriores puede definirse una lista negativa de residuos que no deberían formar parte de la alimentación a las cementeras:

- Residuos nucleares
- Asbestos

- Residuos que contengan mercurio
- Explosivos
- Residuos eléctricos y electrónicos, por su potencial contenido de PCB
- Ácidos minerales, que no aportarán contenido energético
- Residuos infecciosos o sanitarios
- Residuos de composición y origen desconocidos.

El aspecto técnico más relevante respecto a la aceptación de residuos peligrosos para su tratamiento en una planta de clínker debe ser el conocimiento previo y detallado de los mismos, de sus composiciones y de las posibilidades de afectar al proceso de fabricación o a las emisiones de la planta.

2.6.2. Utilización de neumáticos fuera de uso

2.6.2.1. Antecedentes

La utilización de neumáticos usados (NFU en la terminología habitual del sector) como combustible alternativo en la industria del cemento se remonta a más de veinticinco años, cuando empezaron a sustituir a los combustibles tradicionales; esta sustitución es posible por su alto poder calorífico; de esta forma se reducía la cantidad de NFU que debían ser depositados en vertederos de residuos urbanos, que era casi la única alternativa practicada.

Las características técnicas de los hornos de clínker permiten la valorización tanto de los neumáticos completos, de tamaño reducido, como los neumáticos troceados:

- La alimentación de neumáticos completos se realiza directamente en el horno de clínker, lo que exige un diseño específico del mismo y del sistema de alimentación de neumáticos usados.
- La alimentación de neumáticos troceados es más fácil, porque se realiza en los precalcinadores o en la entrada al horno de clínker y porque es posible un mejor control de la adición de los mismos, aunque supone un mayor coste de trituración.

Numerosos hornos de clínker europeos utilizan neumáticos fuera de uso en alguna de las formas señaladas; los países que hacen mayor uso de esta fuente de energía alternativa son Francia, Suiza, Austria, Alemania y Reino Unido; en España el grado de sustitución es reducido (15% de la generación de NFU) a pesar de que numerosas Comunidades Autónomas han autorizado, de alguna forma, la valorización de NFU.

Desde el punto de vista ambiental, además de la valorización energética obtenida debe considerarse otro aspecto importante: la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente CO2, ya que una parte de la energía recuperada procede de fuentes renovables.

2.6.2.2. Sistemas integrados de gestión de neumáticos fuera de uso

Uno de los elementos más importantes del Real Decreto 1619/2005 es la definición de los Sistemas Integrados de Gestión (SIG) de Neumáticos Fuera de Uso como entidades que pueden asumir la responsabilidad de los productores asociados al mismo.

Cada SIG será responsable del cumplimiento de las obligaciones individuales de los productores asociados, especialmente del cumplimiento de los objetivos ecológicos establecidos en el Plan de Gestión específico y de las responsabilidades financieras derivadas del cumplimiento del mismo; hasta la fecha se han constituido dos SIG de NFU que actúan de forma independiente dentro del territorio nacional:

SIGNUS Ecovalor

Constituido en mayo de 2005, al que están adheridos la mayor parte de los productores e importadores del mercado nacional, que representan casi el 80% de las ventas de neumáticos. De acuerdo con los datos de la Memoria Anual de 2007, las ventas de los asociados a este SIG ascendieron a 206.955 toneladas, ha gestionado más de 213.000 toneladas de NFU durante el año 2007 de las que un 8,4% se ha destinado a recauchutado, un 10,3% a valorización energética y un 57% (123.000 t) a distintas recuperaciones materiales, especialmente a la producción de granza. Por lo que las posibilidades de sustitución serían de hasta cerca de 52.000 toneladas.

Tratamiento de Neumáticos Usados – TNU

Constituido el 9 de junio de 2006, incluye a un número importante de importadores aunque cuenta con la participación de numerosos valorizadores materiales; el número de asociados al SIG es superior al centenar y la organización del SIG cubre la totalidad de las Comunidades Autónomas, a través de los propios asociados al mismo, aunque está pendiente su autorización formal, como SIG, en algunas Comunidades. De acuerdo con los datos indicados por el propio SIG, a lo largo del año 2007 TNU ha recogido y gestionado algo más de 55.000 toneladas de neumáticos; los destinos indicados para los mismos son: un 15% para recauchutado, un 45% para distintas recuperaciones materiales y un 35% para valorización energética. Queda un 5% que podría utilizarse como sustitución de combustibles.

Ambos SIG han seleccionado agentes colaboradores con autorización como gestores en las distintas Comunidades Autónomas, estableciendo Centros de Recogida y Clasificación (CRC) que centralizarán las actuaciones de recogida y almacenamiento temporal, junto con una primera selección de las carcasas que puedan ser destinadas a recauchutado y las que deban destinarse a otros usos de recuperación material o valorización.

Adicionalmente está previsto el establecimiento de Centros de Almacenamiento y Preparación (CAP), que suponen un escalón superior en la gestión, ya que están destinados a la adaptación de los NFU para que puedan ser usados por la industria transformadora o para valorización energética, actuando también como almacenes de regulación.

El papel de los SIG es determinante en la gestión de los NFU dentro de los objetivos señalados en el Real Decreto 1619/2005 y los convierten en los actores clave en relación con las posibilidades de reutilización y valorización de estos residuos.

La obligación de financiar las operaciones de gestión de los NFU con internalización del coste debería conducir a una optimización económica de la gestión compatible con el cumplimiento de los objetivos ecológicos establecidos en el Plan.

En virtud de esta obligación, y considerando también las condiciones particulares que puedan ser establecidas en las autorizaciones en cada una de las comunidades autónomas, los SIG serán los responsables de la canalización del flujo de NFU para los distintos usos previstos en el Plan Nacional.

Debe señalarse que el ámbito de actuación de los SIG se extiende, exclusivamente, a los NFU procedentes de la reposición de los mismos durante el periodo de vida útil de los vehículos y excluye a la gestión de los NFU procedentes de los desguaces de vehículos al final de su vida útil.

2.6.2.3. Neumáticos fuera de uso procedentes de desguaces de vehículos

Teniendo en cuenta las bajas de vehículos, se estima que esta corriente de NFU podrá suponer unas 75.000 t/a de neumáticos, que no estarán cubiertos por las garantías financieras de los SIG de NFU pero que deben ser retirados en el proceso de tratamiento de los vehículos fuera de uso antes de la trituración y fragmentación de los mismos.

Por tanto, será el SIG de VFU o los gestores de los Centros de Tratamiento y Descontaminación de Vehículos Fuera de Uso los que deban buscar una salida ambientalmente aceptable para los mismos, dentro de las condiciones establecidas por el Real Decreto 1619/2005, ya que las instalaciones de desguace se convertirán en generadores de residuos especiales (entre ellos los neumáticos usados) que deben ser gestionados como tales.

2.6.2.4. El II Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso 2007 - 2015

Este Plan, integrado dentro de la planificación del borrador del Plan Nacional Integral de Residuos 2008 - 2015, es la continuación revisada del establecido en el año 2001 y que ha tenido vigencia hasta el año 2006.

Generación y gestión de los NFU durante el periodo de vigencia del I Plan de NFU

De acuerdo con los datos del I Plan de NFU, desde el año 2001 hasta el año 2005, la evolución de la generación y gestión de los NFU en España ha sido como se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3. Generación y gestión de los neumáticos fuera de uso en el periodo 200-2005 (toneladas)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Generación	265.409	276.970	300.159	284.898	304.900	302.000
Recauchutado	34.139	38.646	42.092	40.300	37.200	45.000
Reciclado material	4.000	4.000	23.500	27.100	42.500	41.000
Valorización energética	20.000	17.000	30.000	35.000	52.500	50.000
Exportación	7.270	6.324	13.567	12.498	19.700	15.000
Vertido	200.000	211.000	191.000	170.000	153.000	151.000

Aunque los datos recogidos para la elaboración del II Plan de NFU incluido en el borrador del PNIR tengan una fiabilidad relativa, pueden sacarse algunas conclusiones en relación con la tendencia seguida y las perspectivas futuras:

- Se observa un crecimiento medio sostenido en la generación de NFU del 3,4% anual, aunque en el Plan se contemplaba una previsión de reducción del 5% de la cantidad de NFU generados, que no se ha cumplido.

- Las cantidades de neumáticos destinadas a recauchutado también presentan un ligero crecimiento sostenido, correspondiente a neumáticos de vehículos pesados, alcanzándose valores del orden del 12%, muy en línea con los valores equivalentes en los países de la Unión Europea (UE-15).

- El impulso más importante corresponde a la valorización material, especialmente a la producción de caucho para usos muy diversos; las aplicaciones más consolidadas son la producción de pavimentos artificiales para pistas de atletismo, soportes para campos de hierba artificial, material para la industria del automóvil, industria del calzado, etc.

• Otras aplicaciones han empezando a desarrollarse al final del periodo de vigencia del I Plan, especialmente la fabricación de mezclas bituminosas para construcción de carreteras, que se analiza detalladamente por la gran importancia que se le concede en el II Plan de NFU.

• La suma de ambas aplicaciones sitúa al reciclado material en torno al 14% del total de los NFU generados, que es la mitad del porcentaje alcanzado, como media, en los países de la UE-15, que alcanza hasta un 30% de la generación.

• La valorización energética también ha tenido un crecimiento muy importante, hasta el 17% de la generación, debido casi exclusivamente a la utilización de neumáticos en plantas cementeras; no obstante, el porcentaje de valorización alcanzado es muy inferior al de los países de la UE-15, que alcanzaron porcentajes del orden del 32% en 2005.

• El punto más importante es la disminución de la cantidad de neumáticos destinados a vertedero, que se ha reducido en casi un 25% desde el año 2000 hasta el 2005, con un ritmo especialmente acelerado a partir del año 2003; no obstante, seguía representando casi la mitad de la generación, frente a un 15% en los países de la UE-15, a pesar las limitaciones introducidas en el Real Decreto 1481/2001, que prohibió el vertido de neumáticos enteros desde mediados de 2003 y de neumáticos triturados a partir de 2006.

Objetivos ecológicos del II Plan de NFU 2007- 2015

Estos objetivos ecológicos fijados para el periodo 2007 – 2015 son:

a) Reducción de un 10 por ciento en peso de los NFU generados mediante el alargamiento de la vida útil de los neumáticos, la mejora del uso de los neumáticos y de la conducción de vehículos; el Plan contempla también el establecimiento de mejoras de calidad por parte de los productores de neumáticos; el cumplimiento del objetivo de prevención estará muy condicionado por muchos factores, entre ellos la reducción del uso del automóvil.

b) Recuperación y valorización del 98 por 100 de los neumáticos generados antes de 2008.

c) Recauchutado de, al menos, un 20 por ciento en peso de los NFU; en este punto debe considerarse que el nivel de recauchutado ya es similar al alcanzado en otros países europeos, por lo que el crecimiento en la tasa de recauchutado podría ser selectiva, especialmente para grandes neumáticos.

d) Reciclado material del 50 por ciento en peso de los NFU generados:

• El 40 por ciento mediante utilización como componente de mezclas bituminosas para pavimentación de carreteras; representa la gran apuesta del II Plan de NFU, habiéndose potenciado extraordinariamente las actividades de I+D+i en relación con la producción de mezclas bituminosas para uso en obra civil y carreteras, estableciendo los requisitos y especificaciones que se deberían cumplir las mezclas bituminosas que contengan polvo de caucho procedente de NFU (Orden 21/2007 del Ministerio de Fomento).

La capacidad de tratamiento de las instalaciones de valorización en funcionamiento, incluidas las de reciente construcción, y de las previstas en el Plan es del orden de 80.000 a 100.000 t/a de NFU, localizadas principalmente en Andalucía, Castilla y León, Aragón, Cataluña y Valencia; no obstante, para cumplir los objetivos ecológicos el SIGNUS ha exportado

parte de los neumáticos usados para valorización material en plantas francesas y alemanas (más de 35.000 t/a).

• El 10 por ciento restante a la utilización en otras aplicaciones industriales, especialmente mediante la obtención de polvo de caucho para diversos usos, desde la pavimentación deportiva a usos industriales.

e) Recuperación y reciclado de la totalidad del acero procedente de las plantas de tratamiento de los NFU.

f) Valorización energética del 30 por ciento de los NFU generados, que supondría una gestión del orden de 100.000 t/a; en la actualidad esta valorización se concentra casi exclusivamente en las plantas cementeras y alcanza las 42.000 t/a, de acuerdo con los datos de las Memorias de Oficemen y de los SIG de NFU correspondientes al año 2007.

2.6.3. Utilización de aceites usados

2.6.3.1.Antecedentes

La utilización de aceites usados como combustibles alternativos de las plantas de clínker ha sido una forma tradicional de gestión de este tipo de residuos, por las características generales de los hornos y por la facilidad de adaptación de las instalaciones al nuevo combustible, que prácticamente no presentaba exigencias técnicas ni ambientales complementarias a los combustibles líquidos tradicionales usados por las cementeras; en general, sólo requerían un pretratamiento para la eliminación de los lodos y un control analítico completo previo a la aceptación, tanto por razones de control reglamentario como por garantía de funcionamiento adecuado.

Esta práctica está muy extendida por Europa, donde los aceites usados suponen un porcentaje importante de los combustibles alternativos usados en las plantas de cementos, ya sea por uso directo o a través de la preparación de combustibles alternativos en plantas de blending.

Numerosas instalaciones españolas han sido autorizadas para la utilización de aceites usados, en solitario o mediante mezclas con otros residuos, aunque la estrategia para la gestión de los aceites usados ha considerado prioritaria la regeneración de los mismos frente a la valorización energética.

Esta valorización energética, que ha cumplido su función en el pasado, sigue teniendo su utilidad como complemento de otras formas de gestión, especialmente para los aceites de difícil tratamiento, no regenerables. Sin embargo, el nuevo marco legal de gestión de aceites usados puede modificar, de forma muy importante, las condiciones de valorización, que pueden convertir este residuo en un componente marginal de la valorización energética en los próximos años, por el impulso legal a la regeneración de bases, a pesar de que esta última forma de gestión no ha sido considerada prioritaria en la redacción de la nueva Directiva Marco de Residuos recientemente aprobada y que en numerosos Estados Miembros de la Unión Europea no goza de la prioridad que en España.

2.6.3.2. Características de los aceites usados como combustible alternativo

Los aceites lubricantes, especialmente los de automoción, están constituidos por:

• Bases lubricantes (hasta un 75% de peso de los aceites), que son mezclas de hidrocarburos fundamentalmente parafínicos de cadena larga pero con presencia también de hidrocarburos nafténicos y aromáticos.

• Aditivos, para conseguir las propiedades específicas pretendidas en el aceite (antioxidantes, detergentes, anticorrosivos, antiespumantes, etc.); están constituidos por compuestos orgánicos, entre los que tienen una especial participación los compuestos de azufre, siliconas y derivados de cinc y bario.

Dependiendo de la aplicación y del tiempo de uso, los aceites usados mantienen, sin gran modificación, las bases lubricantes aunque los aditivos se van degradando con el tiempo; precisamente esta degradación es la que obliga a su sustitución periódica.

Después de su uso, el aceite lubricante adquiere concentraciones elevadas de contaminantes, entre los que los más importantes son:

• Metales pesados derivados principalmente del desgaste del motor o maquinaria por contacto con combustibles.

• Es frecuente la presencia de disolventes clorados procedentes de la degradación de los aditivos o por manipulación posterior de los aceites usados; no es improbable la presencia de tricloroetano, tricloroetileno y percloroetileno.

• Hollín procedente de la combustión incompleta de los propios aceites o del combustible; está en forma de partículas sólidas finas, difícilmente retenibles en los filtros de aceite.

• Componentes ácidos procedentes de combustiones de derivados de azufre.

• Agua, procedente de la condensación del vapor presente en la atmósfera o a fugas en los sistemas de enfriamiento del aceite.

• Combustibles utilizados por los vehículos, debido a un paso de los mismos hasta el cárter de aceite.

• Sólidos y polvo, debidos a la entrada de los mismos con el aire de combustión del motor y que finalmente se incorporan al aceite.

El aprovechamiento de los aceites usados debe tener en cuenta la presencia de estos contaminantes; dependiendo del uso a que se destinen puede ser necesaria la separación completa de las impurezas, incluidos los aditivos; para su uso como combustibles alternativos en plantas cementeras los tratamiento necesarios son menos exigentes.

En general, en todos los casos es necesario realizar pretratamientos de separación de agua y sólidos, que generan residuos secundarios que deben ser gestionados de forma conjunta con los propios aceites recuperados.

2.6.3.3. Alternativas de gestión de los aceites usados

Básicamente pueden considerarse tres formas principales de aprovechamiento de los aceites usados:

• La regeneración tras un tratamiento previo para eliminación de agua, lodos y contaminantes físicos; está orientada a la obtención de bases lubricantes, que permitan la reformulación del aceite, con las mismas o parecidas propiedades.

• La valorización energética, previo tratamiento, en motores de combustión interna, para la producción de electricidad que puede ser vertida a la red; los aceites usados tratados se utilizan como carburantes en motores térmicos que, a su vez, accionan generadores de energía eléctrica.

- La valorización energética como combustible en hornos adecuados, generalmente de clínker; también han sido muy utilizados en otras instalaciones, especialmente en hornos de materiales cerámicos.

Existen también otros usos minoritarios, como la utilización en algunas fabricaciones, pero no tienen una gran incidencia en la distribución de los aceites usados.

2.6.3.4. Regeneración de aceites usados

La regeneración de los aceites usados consiste en la obtención de bases lubricantes a partir de aceites usados, mediante la separación física de los contaminantes presentes (agua, lodos, metales y restos degradados de los aditivos específicos de los aceites).

Existen numerosos procesos de regeneración de los aceites lubricantes pero los más usados en España realizan la regeneración de las bases mediante diferentes etapas de filtración, extracción con disolventes y rectificaciones; de esta forma se obtienen las siguientes corrientes:

55 - 60% del peso de los aceites usados alimentados se recuperan en forma de bases lubricantes, destinadas a reformulación; este porcentaje es el que realmente se obtiene en forma de bases lubricantes.

25 - 30% en forma de asfaltos, polímeros y aditivos degradados, que son residuos peligrosos y deben ser gestionados como tales; esta es la única fracción que sería potencialmente valorizable en cementeras.

10 - 15% de una fracción ligera de hidrocarburos (naftas) que puede ser utilizada como combustible alternativo en motores especiales o ser usada internamente, para cubrir las necesidades energéticas propias.

Agua y lodos procedentes de la separación física inicial, que deben ser gestionados como residuos.

En España la capacidad de regeneración de aceites usados instalada es de 130.000 t/a, distribuidas en tres instalaciones situadas en Madrid (2) y en Cataluña (1).

<u>La valorización energética en la cogeneración de energía eléctrica</u>

La utilización de los aceites usados para este fin exige un tratamiento físico-químico de los aceites para eliminación de las impurezas; este tratamiento es bastante similar al realizado en el caso de la regeneración ya que su objetivo es obtener un carburante apto para ser utilizado por motores de gran potencia, que exigen requisitos de calidad mínima.

Esta forma de recuperación tuvo un gran auge a principios de los años 90, beneficiándose de las ventajas económicas de la recogida de aceites usados y de las subvenciones a la producción de energía eléctrica a partir de residuos; sin embargo, los cambios introducidos en las tarifas de generación de energía no han favorecido al sector, reduciéndose considerablemente la aportación para este uso.

Existe un número importante de instalaciones de valorización energética para producción de electricidad a partir de aceites usados, distribuidas por el país, con capacidad de consumo superior a las disponibilidades de aceites usados; la mayor parte de estas instalaciones están vinculadas a las plantas de regeneración, pudiendo aprovechar parte de los subproductos y residuos de las mismas, logrando así una mejor integración vertical de la gestión.

La valorización energética como combustible alternativo en hornos

Es la forma más sencilla de recuperar los aceites usados, ya que sólo requiere un pretratamiento, que normalmente consiste en la eliminación del agua y los lodos contenidos en los aceites y, sobre todo, un control analítico completo que permita el aseguramiento de las características de emisión.

En estas instalaciones los aceites usados sustituyen a combustibles tradicionales; sin embargo, las nuevas normativas de emisión y de gestión de los aceites usados han reducido considerablemente estos usos a las instalaciones provistas de sistemas de tratamiento de gases de combustión o que realicen pretratamientos adecuados de los aceites.

2.6.3.5. Sistema Integrado de Gestión. SIGAUS

La responsabilidad descrita en los puntos anteriores puede ser asumida directamente por los fabricantes e importadores o a través de Sistemas Integrados de Gestión; los mayores fabricantes de aceites se han integrado dentro de SIGAUS, que representa más del 90% de todos los aceites puestos en el mercado español. En consecuencia, SIGAUS asume la responsabilidad individual de los fabricantes de aceites asociados; esta responsabilidad se concentra, fundamentalmente, en:

- Garantizar el cumplimiento de los objetivos ecológicos, tanto de recogida como de un alto grado de regeneración de los aceites usados recogidos, otorgando a la valorización energética un papel secundario en la gestión de los aceites usados.

- Financiar económicamente el funcionamiento del sistema de gestión, para el cumplimiento de los objetivos señalados en el punto anterior.

Para cumplir los dos puntos anteriores el SIGAUS debería contar con la infraestructura ya existente de recogedores, transportistas, instalaciones de regeneración y de valorización, etc., estableciendo formas de colaboración con los mismos.

Para la financiación económica, el SIGAUS recibirá una cantidad estipulada por unidad de aceite puesto en el mercado por cada fabricante, (0,06 €/kg para el año 2007).

Con esta aportación el SIGAUS debe financiar los déficits de funcionamiento del sistema de gestión completo: debe abonar a los recogedores y, especialmente a los regeneradores de aceite, las retribuciones estimadas para la rentabilidad de su actividad; sin embargo, las actividades de valorización energética no recibirán ninguna financiación por parte de los fabricantes de aceites.

De esta forma, con la entrada en funcionamiento de SIGAUS desaparecen las ayudas económicas a la gestión de los aceites usados, que han sido aplicadas durante largo tiempo con cargo al presupuesto del Ministerio de Medio Ambiente, actuando el SIGAUS como el órgano de reparto de los costes y de los ingresos recibidos de los fabricantes de aceites.

2.6.3.6. Objetivos ecológicos establecidos en el Real Decreto 679/2006

Con independencia de las medidas preventivas orientadas a la disminución de la generación de aceites usados o a la disminución de la presencia de componentes peligrosos, el Real Decreto 679/2006 establece una serie de objetivos ecológicos que cuantifican y jerarquizan la estrategia ambiental en relación con los aceites usados; estos objetivos mínimos, revisables por el Gobierno en el año 2009, son:

- Recuperación del 95% de aceites usados generados; esto obligará a realizar esfuerzos importantes en la recogida; la cantidad generada para cada tipo de aceite depende del uso del mismo y se estima de acuerdo con las estadísticas del sector, con la aprobación de la Administración, el SIG debe demostrar que

han controlado la recogida de las cantidades correspondientes a este alto grado de recuperación.

• Valorización del 100% de aceites usados recuperados ya sea mediante regeneración, por reciclado en la producción de otros productos o mediante valorización energética.

• Regeneración de un 55% de los aceites usados recuperados a partir del 1 de enero de 2007 (y de un 65% de los aceites usados recuperados a partir del 1 de enero de 2008); algunos tipos de aceites usados, los recuperados de separadores de agua-aceite y los que no puedan garantizar su origen, se consideran no regenerables y están excluidos de los objetivos de regeneración.

Teniendo en cuenta los rendimientos de estas plantas, cuyo valor mínimo se especifica en el artículo 9 del mismo Real Decreto, la regeneración dará lugar a residuos secundarios; estos residuos resultantes del proceso de regeneración (fondos, cabezas de columnas de destilación, aceite residual no regenerado, etc.) deben ser gestionados y valorizados de acuerdo con la legislación general de residuos peligrosos, pudiendo ser destinados a valorización energética.

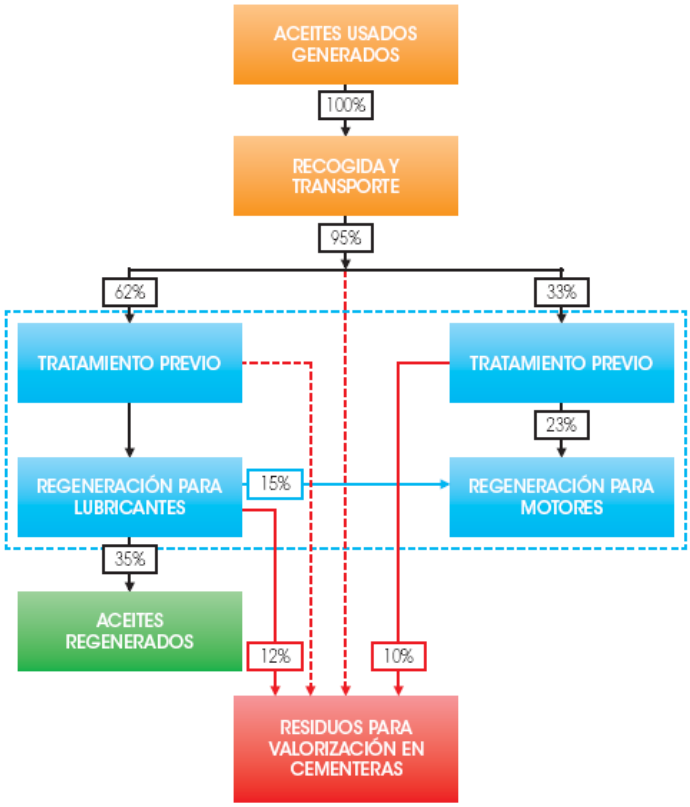

Figura 4. Esquema de los flujos de gestión de aceites usados aplicando los objetivos establecidos en el Real Decreto 679/2006

2.6.4. Utilización de residuos industriales

2.6.4.1. Antecedentes

Tradicionalmente, las plantas de clínker han utilizado distintos tipos de residuos industriales, tanto como combustibles alternativos como en sustitución de materias primas; entre los primeros, los más habituales han sido los residuos líquidos, como los aceites usados, los restos y lodos de disolventes orgánicos no clorados y diferentes residuos procedentes de las industrias petroquímica y farmacéutica; también se han utilizado otros residuos sólidos o

pastosos como los lodos de fabricación y aplicación de pinturas y barnices y los lodos de diferentes procesos químicos orgánicos.

La característica fundamental de los mismos ha sido su elevado poder calorífico y la ausencia o la baja concentración de determinados contaminantes clave, como algunos metales pesados volátiles y cloro orgánico.

Esta sustitución se ha basado tanto en la capacidad intrínseca de los hornos de clínker para la valorización energética de estos residuos dentro de un marco de completa garantía ambiental como por la facilidad de manejo de los mismos, tanto en el acopio y almacenamiento de los mismos, como en la introducción al proceso.

De acuerdo con la Memoria de Oficemen del año 2006, a lo largo de ese año se han utilizado casi 47.000 toneladas de residuos líquidos (sin incluir los aceites usados) constituidos fundamentalmente por disolventes y residuos petroquímicos; a la cifra anterior deben añadirse 15.000 toneladas de residuos sólidos y pastosos.

En conjunto, los residuos industriales representan la segunda fuente de combustibles alternativos de las plantas cementeras, que sólo son superadas, en peso, por las harinas cárnicas.

La actividad está regulada, desde el punto de vista técnico y de autorización, por la legislación sobre residuos peligrosos en lo referido al control del manejo, almacenamiento y gestión de los residuos peligrosos, especialmente en los aspectos referidos a las responsabilidades de los gestores, recogidas en el Real Decreto 833/1988, que ahora se engloban dentro de la Autorización Ambiental Integrada.

Desde el punto de vista ambiental, la normativa de referencia es el Real Decreto 653/2003, de incineración de residuos, que recoge las condiciones de autorización y funcionamiento de las instalaciones de clínker cuando utilizan residuos como combustibles alternativos.

La actividad se desarrolla en casi todas las Comunidades Autónomas, de acuerdo con la normativa general y con la específica de cada Comunidad, cuando existe; en este sentido deben señalarse dos excepciones importantes:

- En la Comunidad Autónoma de Aragón no está autorizada la valorización energética de residuos en cementeras, al no estar incluida dentro del Catálogo Aragonés de Residuos.

- En Cataluña existe una condición adicional, ya que la utilización de residuos como combustibles sólo se considera valorización energética si el poder calorífico inferior (PCI) de los mismos es superior a 30 MJ/kg; para valores inferiores de PCI se considera que la operación es de eliminación por incineración (D10); como esta operación está declarada servicio público y asignada a un gestor privado, el aprovechamiento de residuos con PCI inferior a 30 MJ/kg no puede ser autorizado para las cementeras en Cataluña; está en fase de reconsideración por la Agencia de Residuos, que podría establecer el límite en torno a 15 MJ/kg.

A pesar de lo anterior, no todas las Comunidades Autónomas autorizan la valorización de residuos peligrosos; estas excepciones no se refieren, generalmente, a impedimentos de tipo legal sino que a veces se basan en otros condicionantes locales o territoriales.

2.6.4.2. La valorización energética en el II Plan de Residuos Peligrosos 2007 - 2015

El II Plan Nacional de Residuos Peligrosos, incluido en el borrador del PNIR, recoge la planificación sobre la producción y la gestión de los residuos peligrosos y establece los principios a tener en cuenta en las planificaciones territoriales.

En el momento de la elaboración del II Plan Nacional de Residuos Peligrosos, a finales de 2006, la situación en relación con la generación y gestión de los mismos en España se caracteriza por:

• Insuficientes datos reales sobre la generación de residuos peligrosos, con escasa verificación de los mismos; a pesar de las Declaraciones Anuales Productores y Gestores de residuos peligrosos no parece fácil llegar a cifras suficientemente fiables.

• La estimación de la generación anual es de algo más de 3 millones de toneladas.

• Existen diferencias notables entre las Comunidades Autónomas en relación con la propia clasificación de los residuos y con la designación orientativa de los tratamientos más adecuados, que en numerosos casos están muy condicionados por las instalaciones existentes más que por los objetivos ambientales perseguidos.

• Escaso nivel de coordinación en los programas y planes de gestión entre los diferentes territorios, quizá como consecuencia de una aplicación demasiado estricta del principio de autosuficiencia entendido a nivel autonómico.

• Infraestructuras insuficientes para algunas formas de tratamiento, que son paliadas mediante la asignación de otras formas de tratamiento, a veces poco convenientes desde el punto de vista ambiental.

• Escasa percepción social del problema derivado de la generación y gestión de los residuos peligrosos e hipersensibilidad ante cualquier propuesta de construcción de nuevas infraestructuras, especialmente si se incluye la recuperación energética.

Aunque la planificación contemplada en el II Plan de Residuos Peligrosos se basa en la aplicación de la estrategia de gestión en cinco niveles, la oposición social a algunas formas de gestión, entre ellas la recuperación energética, ha modificado la aplicación razonable de la estrategia jerarquizada, que conduce a un mayor esfuerzo en la recuperación material y, sobre todo, a una aplicación poco razonada de algunas tecnologías de eliminación, especialmente de tratamiento físico – químicos y biológicos.

En el II Plan de Residuos Peligrosos sólo se consideran como susceptibles de valorización energética a aquellos *residuos peligrosos que reúnen ciertas características técnicas, ecológicas y energéticas que facilitan esa forma de tratamiento*, aunque estas características no han sido definidas de forma explícita ni en el Plan ni en la legislación que lo soporta.

Los residuos considerados como potencialmente valorizables han sido considerados dentro de la actividad R1, para su transformación en combustibles alternativos en plantas de *blending*, para su uso en instalaciones autorizadas.

La destrucción o eliminación por incineración con o sin recuperación de energía, actividad D10, sólo es considerada en el caso de residuos peligrosos con contenidos importantes de compuestos orgánicos pero con un valor energético reducido, orientada fundamentalmente a eliminar las características de peligrosidad de los residuos.

Como se ha indicado, la clasificación establecida en el Plan, como R1 o D10 debe ser considerada como una primera aproximación, condicionada fundamentalmente por la inexistencia de determinadas infraestructuras de tratamiento; esta misma observación puede hacerse para algunas clasificaciones relacionadas con los tratamientos físico-químicos o biológicos, a los que se asignan residuos para los que no existe una referencia clara de gestión.

2.6.4.3. Inventario de residuos valorizables energéticamente

En la tabla 4 se muestra la generación de residuos peligrosos recogida en el II Plan de Residuos Peligrosos, correspondientes al año 2005, agrupados por sectores de producción, de acuerdo con la clasificación de la Lista Europea de Residuos (LER); se han excluido los datos correspondientes al Grupo 13, de Aceites Usados, analizado en otro punto del estudio por disponer de normativa específica.

El Plan Nacional de Residuos Peligrosos asigna unos porcentajes de participación de cada una de las formas de gestión que puedan ser adecuadas para cada uno de los residuos (definidas como mejores opciones de tratamiento); en la tabla 4 se recogen las mejores estimaciones del II PNIR para la actividad R1, de preparación de combustible.

La asignación de las mejores opciones de tratamiento lleva consigo, de forma implícita, la consideración de objetivos ecológicos para determinados tipos de residuos; en cualquier caso, las asignaciones deben ser contempladas con una cierta flexibilidad, tanto por las incertidumbres de la generación como por la escasa definición de muchos de los residuos en relación con las formas de tratamiento.

Tabla 4. Generación de residuos peligrosos en el año 2005 y estimación de la valorización energética (toneladas)

Lista Europea de Residuos	Descripción	Generación	Estimación actividad R1 (valorización energética)
03	Residuos transformación de madera	8.085	1.689
05	Residuos refino de petróleo	95.305	13.096
07	Residuos procesos químicos orgánicos	185.640	17.175
08	Residuos de pinturas y barnices	184.663	7.095
12	Taladrinas y aceites de uso mecánico	103.296	16.791
14	Disolventes no halogenados	126.000	1.749
19	Lodos de plantas de tratamiento efluentes	247.495	23.713
20	Residuos municipales, (puntos limpios)	43.112	1.475

De esta forma es posible conocer, para cada grupo de la LER, la cantidad de residuos que podrían ser valorizados mediante su transformación en combustibles alternativos para las plantas de clínker (actividad R1), que correspondería a residuos con un poder calorífico elevado y sin componentes inadecuados para su uso en cementeras. De acuerdo con los datos del borrador del PNIR, la generación total, incluyendo todas las posiciones de la LER es de 3.181.000 toneladas anuales (aunque en el estudio sólo se han considerado 8 posiciones, descartando otras poco claras como potenciales combustibles).

Hay que señalar que, aunque los datos de partida no estén muy actualizados, los porcentajes asignados a la forma de gestión R1 (preparación de combustibles alternativos), son muy reducidos, quizá por la sobrevaloración del potencial de otras opciones de gestión, especialmente de la recuperación material y la recurrencia a procesos de tratamiento físico químico orientadas a la estabilización y/o inertización de los residuos peligrosos como paso previo a su depósito en vertederos de residuos peligrosos.

En un primer análisis se observa una gran disponibilidad (más de 82.000 t/a) de residuos peligrosos cuya opción prioritaria de gestión debería ser la transformación en combustible para recuperación energética en instalaciones industriales como las plantas de clínker, aunque en la práctica esta cantidad es considerablemente menor, por el desvío hacia otras formas de gestión.

El análisis detallado de cada uno de los Grupos, en orden decreciente de cantidades asignadas para la valorización energética, permite algunas observaciones previas:

En el Grupo 19 se incluyen las fracciones de aceites y grasas separadas en las instalaciones de tratamiento efluentes, que representan una cantidad en torno a 23.000 t/a, aunque su valor energético puede ser muy variable en función del tipo de instalación de procedencia; no se incluyen en este apartado los lodos de las depuradoras, que se analizan separadamente, por su interés futuro y sus posibilidades.

El Grupo 7 de la LER está constituido por los residuos procedentes de procesos químicos orgánicos; deben considerarse dentro de este grupo los residuos pesados procedentes de procesos de destilación, los disolventes líquidos residuales (muy cargados de impurezas que impiden su reutilización), así como subproductos de reacciones químicas orgánicas, no reutilizables; en general, es importante la presencia de inertes (como medios de filtración y diferentes lodos), lo que reduce considerablemente su valor energético e impide un mayor porcentaje de valorización.

El Grupo 5 lo constituyen los residuos procedentes del sector de refino de crudo; generalmente son restos oleosos de tanques y de operaciones de mantenimiento, derrames de hidrocarburos, etc.; en general, la recuperación energética de la mayor parte de estos residuos es poco ventajosa, por la gran cantidad de inertes presentes en los residuos pero puede considerarse como la mejor opción ambiental.

En el Grupo 12 se han considerado los residuos procedentes de los aceites sintéticos utilizados en la preparación de taladrinas; éstas y otros residuos oleosos deben ser sometidas a tratamientos físico-químicos previos antes de su transformación en combustibles; la gestión de estas taladrinas podría formar parte de las obligaciones del SIG de aceites usados; la mayor incertidumbre se refiere a la cantidad realmente gestionada.

En el Grupo 8 sólo se consideran destinados a actividades R1 a algunas fracciones de residuos de pinturas, cuando la presencia de metales pesados es reducida o controlada, y a las fracciones que contienen cantidades apreciables deaceites y fijadores orgánicos.

Dentro del Grupo 3, correspondiente a residuos del sector de la madera, se han considerado una generación muy reducida, del orden de 8.000 t/a que puede corresponder a restos de lacas y barnices.

Finalmente, dentro del Grupo 14 se encuentran los residuos de disolventes, refrigerantes y propelentes, sean o no halogenados; responden a colas de destilación de la recuperación de disolventes, con contenidos importantes de lodos; la cantidad estimada para valorización energética parece muy baja, del orden de 2.000 t/a.

Por tanto, de acuerdo con las previsiones del Plan de Residuos Peligrosos 2007- 2015, si se excluyen a los aceites usados y a los lodos de depuración de aguas residuales urbanas que se analizan separadamente, la cantidad estimada de residuos peligrosos que pueden ser destinados a valorización energética mediante su transformación en combustibles alternativos sería del orden de 82.000 t/a.

<u>Capacidad de las instalaciones de gestión de la actividad R1 y D10</u>

Aunque la distribución territorial de las instalaciones de gestión de residuos peligrosos, y en especial las de valorización energética, debería ser poco relevante, el Plan recoge las instalaciones y capacidades instaladas para la gestión de residuos peligrosos a través de la transformación en combustibles (actividad R1).

Entre las instalaciones adecuadas para valorización, el Plan refleja 33 instalaciones potenciales, aunque no las detalla, que casi coinciden territorialmente con las plantas de clínker, con una capacidad global superior a 209.000 t/a.

Es evidente que la capacidad de tratamiento de las plantas cementeras supera, considerablemente, la generación de residuos valorizables (80.000 t/a).

El Plan Nacional de Residuos Peligrosos recoge también un déficit de infraestructuras en relación con la preparación de combustibles alternativos para la valorización ener gética; en este sentido, prevé la necesidad de dos plantas de preparación de combustibles a partir de residuos (plantas de blending), con una capacidad de 30.000 a 40.000 t/a cada una.

Sin embargo, teniendo en cuenta las instalaciones actuales, la capacidad instalada en las tres plantas en funcionamiento se acerca a las disponibilidades de residuos peligrosos para valorización energética, especialmente si se tiene en cuenta la reducción prevista de las cantidades de aceites usados disponibles para valorización energética.

2.6.4.4. Instalaciones de blending de residuos para preparación de combustible

En el pasado, la escasez de las instalaciones de tratamiento térmico y la dispersión de los puntos de generación junto con la capacidad intrínseca de las plantas de clínker para la gestión de numerosos residuos peligrosos con alto contenido energético motivó un flujo directo de residuos peligrosos desde los productores/gestores hacia las plantas de clínker; estos flujos de residuos estaban constituidos, casi exclusivamente, por aceites usados de automoción, y disolventes no recuperados (colas de destilación) junto con pinturas y barnices.

Sin embargo, a medida que se fue ampliando el abanico de residuos susceptible de tratamiento, las operaciones logísticas relacionadas con la preparación de los combustibles alternativos requirieron una mayor y más especializada dedicación, que aconsejó que este trabajo fuese realizado de una forma independiente a la producción de cemento, por parte de organizaciones distintas a las plantas de producción de cemento.

De esta forma surgieron las instalaciones de blending de residuos, como una actividad R1, cuyo objetivo principal es la obtención de combustibles procedentes de residuos que cumplan las especificaciones solicitadas por el usuario mediante la mezcla de residuos de diferentes orígenes y características.

Estas instalaciones utilizan preferentemente residuos peligrosos de alto poder calorífico; generalmente no realizan ninguna transformación o tratamiento químico de los mismos, distinto del acondicionamiento físico de los residuos para facilitar su uso en las cementeras.

Los residuos de procedencia pueden ser sólidos, líquidos o pastosos y la forma de preparación puede ser por mezcla (blending), fluidificación o emulsificación.

Los combustibles preparados suelen ser especificados por cada horno de clínker de forma independiente, teniendo en cuenta las características de las materias primas, de las propias instalaciones y la aportación de otros residuos distintos.

Este tipo de instalaciones presenta ventajas importantes para todos los participantes en el proceso:

- Para el productor de residuos porque proporciona un destino adecuado para los mismos, directamente o a través de gestores de recogida de residuos peligrosos.

- Para la industria cementera puede suponer ventajas económicas porque le permite abastecerse de combustibles alternativos de calidad garantizada y adaptada a las necesidades específicas de sus hornos.

• Porque se disminuye el riesgo de la manipulación de residuos peligrosos en las plantas de clínker.

• Para la Administración, porque facilita el control de la producción y de la gestión de los residuos peligrosos, estableciendo una etapa de control analítico y de cantidades, que sería difícil obtener en el caso de suministro directo desde los productores de residuos a las plantas de cemento.

Los tipos de residuos recibidos, normalmente, en plantas de blending son:

• Residuos oleosos (aceites usados, anticongelantes, fluidos de transmisión, etc.) procedentes de garajes de automóviles y desguaces de vehículos al final de su vida útil.

• Residuos pastosos procedentes de refinerías de petróleo que no pueden ser empleados en la producción de asfaltos u otros productos petrolíferos pesados.

• Residuos peligrosos procedentes de la recogida directa de los productores o restos de los procesos de tratamiento de algunas instalaciones de recuperación.

Sin embargo, no son aceptados en estas instalaciones de preparación de combustibles:

• Residuos con PCB/PCT > 50 ppm, que tienen una reglamentación especial.

• Residuos que puedan producir olores nauseabundos.

• Residuos sanitarios de cualquier tipo ni los residuos radiactivos.

2.6.4.5. Valorización energética de residuos industriales no peligrosos

La información sobre generación y formas de gestión no está disponible para los residuos industriales no peligrosos, para los que no existe una legislación específica de ámbito nacional, salvo la Ley 10/1998, ni un grado de control tan estricto.

Los inventarios de residuos no permiten, en general, desglosar las cantidades generadas en función de la vía de tratamiento, por la gran heterogeneidad de los residuos y porque la forma de gestión está basada en las disponibilidades reales de cada Comunidad más que en justificaciones de estrategia ambiental.

En gran parte de los casos los inventarios se han estimado aplicando diferentes ratios que correlacionan la hipotética generación de residuos con producciones, personal empleado, consumo de energía, etc.; estos ratios pueden dar una idea global de la cantidad de residuos pero son escasamente válidos desde el punto de vista de planificación detallada; casi lo mismo puede decirse de las Declaraciones Anuales de Gestores de Residuos No Peligrosos, que son obligatorias en numerosas Comunidades Autónomas, aunque el grado de concreción de las mismas es escaso.

En numerosas Comunidades Autónomas la gestión de los residuos industriales no peligrosos es asimilada a la de los residuos urbanos, y suelen ser depositados en vertederos comunes, con independencia de que el depósito sea realizado por gestores autorizados, aunque los nuevos planes integrados de gestión de residuos suelen incluir también estos residuos, de forma independiente, pero el nivel de información es muy escaso.

La Comunidad Autónoma que más detalla la forma de gestión, tanto desde el punto de vista legislativo como de control de la gestión, es Cataluña; en esta Comunidad la obligación de declaración es común para todos los residuos industriales, sean especiales (peligrosos) o no; la propia clasificación implica las vías prioritarias de gestión a través de gestores autorizados para todos los residuos industriales; esto permite definir con mayor precisión los flujos de residuos

potencialmente valorizables energéticamente, teniendo en cuenta los criterios ya indicados del poder calorífico.

De acuerdo con las Declaraciones correspondientes al año 2005, la cantidad de residuos industriales potencialmente valorizables en Cataluña fue de 29.300 t de residuos peligrosos y 99.000 t de residuos no peligrosos; de esta cantidad total las partidas más importantes se refieren a harinas cárnicas, lodos de depuradoras urbanas e industriales, residuos de madera, etc.; la mayor parte de los mismo se gestiona externamente.

Como se ha señalado anteriormente, la Agencia de Residuos de Cataluña está considerando la modificación del valor límite de PCI que diferencia las actividades R1 y D10 en plantas distintas de la incineración; esto permitirá aumentar la cantidad de residuos industriales potencialmente valorizables; las estimaciones realizadas por la Agencia con los datos de 2005 indican una cantidad adicional de 174.000 t/a, aunque una gran cantidad ya está contabilizada en los flujos de residuos gestionados por los SIG y otra parte significativa está constituida por rechazos no reciclables de papel y cartón y residuos de embalajes, que son depositados en vertederos de residuos urbanos.

Los inventarios parciales recogidos en el Plan Nacional son escasamente útiles para la estimación del potencial de valorización, por la falta de homogeneidad y detalle de la forma de clasificación; en el Plan se recoge un objetivo de valorización energética del 15% de la generación pero este porcentaje debería ser referido exclusivamente a algunos apartados de la Lista Europea de Residuos, que no son los recogidos mayoritariamente en la documentación de generación del Plan.

2.6.5. Utilización de harinas animales

2.6.5.1. Antecedentes

Tradicionalmente, los subproductos animales se han destinado a la preparación de piensos para animales, tanto por su contenido en proteínas fácilmente digeribles como por la presencia de grasas, que otorgan un poder alimenticio a los piensos.

Los procedimientos de transformación de subproductos establecían una clasificación de los subproductos en función del riesgo biológico, que garantizaba la higienización y prevenía de la transmisión de enfermedades animales.

La aparición de nuevos tipos de enfermedades relacionados con la presencia en la alimentación de determinados tejidos (sistema nervioso), así como la alimentación con animales de la misma especie dio lugar a la crisis de las vacas locas y obligó a una redefinición de la legislación de subproductos no destinados a consumo humano, que fue establecido por el Reglamento (CE) 1774/2002, relativo a subproductos animales no destinados a consumo humano.

El Reglamento (CE) 1774/2002 clasifica los subproductos animales en tres categorías en función del riesgo biológico de los mismos; aunque la clasificación es muy detallada, a efectos del presente estudio puede resumirse como sigue:

- Material de categoría 1: son los de mayor riesgo y se incluyen los animales que presenten un riesgo de transmisión de encefalopatías espongiformes (EET), de riesgos desconocidos o relacionados con el uso de sustancias ilegales en la alimentación animal o contaminantes medioambientales; uno de los subproductos típicos son los Materiales Específicos de Riesgo (MER).

- Material de categoría 2: que son los subproductos que presentan otros riesgos relacionados con enfermedades animales no transmisibles o que contienen otros

residuos de medicamentos veterinarios; también se incluyen los cadáveres de animales muertos en las explotaciones ganaderas.

• Material de categoría 3: que son los subproductos no destinados a consumo humano que proceden del sacrificio de animales sanos.

Para cada una de las categorías se determina una forma de tratamiento, en función de los riesgos sanitarios para la cadena de alimentación animal y humana y determina, también, unos usos posibles para los subproductos transformados obtenidos de los subproductos originales.

Así, únicamente los subproductos transformados de categoría 3, básicamente grasas y harinas, pueden ser destinadas a alimentación animal, para preparación de piensos, con determinadas restricciones en relación con las especies animales; existe además una restricción temporal que impide la alimentación de animales de producción con piensos que contengan subproductos de cualquier categoría, por lo que el uso de las harinas obtenidas se reduce a la alimentación de animales de compañía.

Precisamente esta utilización, tanto para consumo nacional como para exportación, hace que la práctica totalidad de las harinas cárnicas de categoría 3 estén destinadas, en la actualidad, a fabricación de piensos de animales de compañía, con un elevado valor económico por lo que no es necesaria, en general, su gestión como residuos, más allá de algunos excedentes temporales.

Por esto, en el presente estudio no se considerarán las harinas de categoría 3, ya que su uso como combustible en plantas cementeras no debe ser importante, limitando el estudio a las harinas de categorías 1 y 2, para las que se establece su condición de residuos y la forma de gestión, entre las que se incluye la valorización energética en plantas autorizadas.

Otros subproductos animales, como las grasas de cualquier categoría, tampoco se han evaluado cuantitativamente para su uso en cementeras por la existencia de usos específicos de gran valor añadido y la gran demanda potencial; los usos más importantes son los de alimentación animal para la grasas de categoría 3 o la producción de biocombustibles para las grasas de categoría 1 o 2.

Por tanto, desde el punto de vista de uso como combustibles alternativos, sólo se considerarán las harinas de categorías 1 y 2, para las que también existen otros usos alternativos.

2.6.5.2. Transformación de subproductos en harinas de categoría 1 y 2

Antes de su posible valorización energética, los subproductos deben ser transformados en harinas, mediante un proceso de evaporación de la humedad y separación de parte de la grasa contenida en los mismos.

En líneas generales, el proceso de transformación de los subproductos animales consiste en la trituración del material crudo, seguido de un calentamiento a una temperatura del orden de 150ºC; en estas condiciones, la humedad se evapora y la grasa se funde; esto permite la separación de la mayor parte de la grasa por filtración, centrifugación y prensado; los residuos sólidos constituyen la harina cárnica, en la que se encuentran las proteínas y huesos triturados.

Las composiciones químicas de las harinas obtenidas pueden variar ligeramente en función del subproducto de procedencia, de la categoría del mismo y de los procesos de transformación seguidos; desde el punto de vista de valorización energética, las variables más importantes son:

Tabla 5. Variables más importantes de las harinas según valorización energética

Humedad	Proteínas	Grasas	Óxido de Calcio (CaO)	Fosfato (P_2O_5)	Cloro	Azufre	PCI
6,5 - 15%	55%	12-16%	11%	9,5%	0,5%	0,5%	13 a 19 MJ/kg

Las características más importantes, que deben ser tenidas en cuenta, son:

• La humedad residual, que depende del procedimiento de tratamiento; la presencia de humedad puede dar lugar al desarrollo de microorganismos durante el periodo de almacenamiento.

• La proporción de grasa es muy importante, en un doble sentido; una mayor cantidad de grasa aumenta de forma considerable el PCI, pero proporciones elevadas de grasa aumentan las posibilidades de apelmazamiento y las dificultades de alimentación a los hornos de clínker.

• Casi el 70% de la harina está constituido por grasas y proteínas, en la que participan más de una veintena de aminoácidos.

• Los inertes suponen del orden del 20% y están constituidos fundamentalmente por huesos finamente triturados; esto justifica la presencia de especies inorgánicas de marcado interés en la producción de clínker (calcio y fósforo procedentes del fosfato de los huesos), y porcentajes menos inferiores de azufre y cloro (que varían entre el 0,5 y el 1%).

2.6.5.3. Valorización energética de harinas de categoría 1 y 2

Para las harinas de categoría 1 y 2 sólo pueden considerarse dos alternativas de destrucción:

• Valorización energética de las harinas en instalaciones alternativas.

• Eliminación de las harinas en vertederos de residuos.

La valorización energética en cementeras es la alternativa más viable dentro de los requerimientos de destrucción efectiva de estos residuos en un periodo tiempo necesariamente reducido; por otra parte, como la harina puede ser considerada biomasa, la valorización de la misma no supone una aportación neta de CO_2; esto ha permitido la exportación de harinas para poder ser utilizadas como combustibles en centrales térmicas de carbón en los países escandinavos.

Con independencia de la vigencia del Real Decreto Ley 4/2001, que autorizaba la valorización de las harinas con las condiciones ya citadas, la valorización debe hacerse teniendo en cuenta lo establecido en el Real Decreto 653/2003, de incineración de residuos, que regula la actividad para todos los tipos de residuos, con condiciones especiales para las plantas cementeras.

La valorización en cementeras es el camino elegido en numerosos países europeos para la eliminación de las harinas de categorías 1 y 2, tanto de las que se van produciendo como de las grandes cantidades acumuladas durante años de todas las categorías.

En la actualidad numerosas plantas cementeras tienen autorización para la coincineración de harinas animales; esta autorización es válida para cualquier categoría de harinas, que sólo se diferencian en los subproductos de procedencia pero no en las características de las mismas.

La cantidad autorizada en España es de casi 200.000 t/a, muy superior a las disponibilidades reales de harina de categoría 1; la cantidad real valorizada en el año 2006, de acuerdo con los datos de OFICEMEN, es del orden de 88.000 t/a, que representa casi el 60% de la harina teóricamente disponible.

Esto indica que una parte de la misma está siendo depositada en vertederos, quizá porque su calidad no sea suficiente o por razones logísticas (ya que el transporte de las harinas no siempre resulta fácil, especialmente a largas distancias); esta cantidad de harina depositada en vertedero puede ser del orden de 40.000 a 60.000 t/a de categorías C1 y C2, junto con una parte de la harina C3 que no pueda ser vendida para alimentación de animales de compañía.

La tendencia futura, en relación con estos subproductos, es la estabilización de la cantidad disponible para valorización, una vez que se reduzcan progresivamente las cantidades depositadas en vertederos, hasta alcanzar las 130.000-150.000 t/a; no es esperable un aumento de la cantidad de harinas C1 y C2, salvo por razones de una pandemia animal.

2.6.6. Utilización de residuos procedentes de vehículos fuera de uso

2.6.6.1. Residuo ligero de fragmentación

Este residuo, que puede llegar al 25% del peso total del vehículo compactado, se obtiene por medio de sistemas de aspiración colocados sobre el producto triturado y por los que se separan las fracciones más ligeras del mismo.

La composición es variable y diferente de unas plantas fragmentadora a otras; la composición media aproximada es:

40% plásticos y textiles,

23% caucho y elastómeros,

13% vidrio,

15% inertes (tierras, masillas, compuesto cerámicos),

2% metales no férreos.

Asimismo pueden contener pequeñas cantidades de metales y otros contaminantes que no hayan sido completamente retirados en la fase de descontaminación primaria.

La característica fundamental, en relación con el aprovechamiento energético de esta fracción, es su poder calorífico, que varía entre 12 MJ/kg y 18 MJ/kg, debido a la presencia de porcentajes muy importantes de plásticos, textiles y caucho.

Los distintos tipos de materiales potencialmente combustibles son:

Polietileno de los limpiacristales, perfiles y cintas.

Polipropileno de parachoques, recubrimiento del habitáculo y maletero, consola asideros, y volante.

Policloruro de vinilo de los laminados vinílicos, molduras, cables, tubos de drenaje y perfiles de ventanas.

ABS de la rejilla del radiador, guantera, recubrimiento de la columna de dirección y piezas del tablero.

Poliuretano de los rellenos de asientos y juntas.

Cauchos de conductos de aire, manguitos, cubiertas de cable, fuelles de protección, topes de amortiguación, defensas laterales y delanteras y juntas.

2.6.6.2. Alternativas de gestión de la fracción ligera de fragmentación

Una primera vía de valorización podría estar constituida por el reciclado material de plásticos; sin embargo, esta vía presenta dificultades por la heterogeneidad de los mismos; la Asociación Europea de Fabricantes de Plásticos estima que no más del 10% del plástico contenido en los

residuos ligeros de fragmentación podrían ser reciclados como materiales; el único camino viable en este reciclado es mediante el desmontaje de componentes homogéneos en la fase de desguace, antes de la compactación y fragmentación, lo que supone un incremento de coste importante.

Las alternativas más viables para la fracción ligera de fragmentación son la valorización energética y el depósito en vertedero, que es la aplicación casi general de los residuos ligeros de fragmentación.

La valorización energética es la vía obligatoria en diferentes países europeos, como Suiza, y de progresiva implantación en otros países (Alemania, Francia, etc.) por las restricciones crecientes al vertido o por la prohibición de eliminar residuos con un potencial energético aprovechable, como es el caso de los residuos ligeros de las fragmentadoras.

Esta valorización suele hacerse en plantas de incineración de residuos urbanos o de residuos peligrosos, cuando existe capacidad suficiente, que no suele ser el caso habitual; por esto se están ensayando otras alternativas, como la pirólisis o la gasificación; debe tenerse cuidado con la posible presencia de PVC en los plásticos o de contaminantes orgánicos no eliminados completamente en los procesos de desguace y descontaminación.

Evidentemente, por el alto poder calorífico, estos residuos son fácilmente valorizables en cementeras, reduciendo así su depósito en vertedero.

2.6.6.3. Combustibles alternativos procedentes de Vehículos Fuera de Uso

La utilización directa del residuo ligero de fragmentación en plantas cementeras no es habitual pero sí se están realizando ensayos para la transformación del mismo en combustibles sólidos recuperados (CDR) mediante una eliminación previa de los inertes por procedimientos de clasificación; esto supone un coste adicional frente al vertido, por lo que sólo es económicamente viable si existe una prohibición expresa y efectiva de vertido.

Por parte de SIGRAUTO se han analizado las distintas tecnologías y alternativas de tratamiento de esta fracción ligera, para anticipar grados crecientes de recuperación, tal y como exigen los objetivos ecológicos.

En general estas tecnologías emplean medios exclusivamente mecánicos para procesar los residuos generados en las plantas fragmentadoras y su objetivo es obtener distintas fracciones y granulometrías utilizando propiedades físicas como el tamaño, la densidad, la adherencia, etc.
De esta forma se pretende la obtención de un combustible alternativo, razonablemente homogéneo, con cantidades reducidas de cloro y otros halógenos, que pueda ser alimentado fácilmente a las plantas cementeras.

La generación de combustibles alternativos para cementeras puede ascender hasta el 55% de las cantidades de residuos ligeros separados en las plantas de fragmentación, y corresponde fundamentalmente a las fracciones de plástico y caucho presentes en los vehículos fuera de uso.

Según los datos recogidos en el Plan de Vehículos Fuera de Uso incluido en el borrador del Plan Nacional Integrado de Residuos del MARM, la estimación de la generación de residuos en las instalaciones de fragmentación en España, en el año 2006 se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Estimación de la generación de residuos de vehículos fuera de uso en el año 2006 (toneladas)

Comunidad autónoma	Estimación de la generación de residuos de vehículos fuera de uso	Estimación de la generación de la fracción ligera de fragmentos (destino general vertederos)	Estimación combustible alternativo potencial
Andalucía *	123.172	30.793	16.936
Aragón*	26.982	6.746	3.710
Asturias*	18.022	4.506	2.478
Cantabria	10.000	2.500	1.375
Castilla - La Mancha	26.650	6.663	3.664
Castilla y León*	40.110	10.028	5.515
Cataluña*	126.815	31.704	17.437
Extremadura*	16.231	4.058	2.232
Galicia*	45.573	11.393	6.266
La Rioja	5.163	1.291	710
Madrid*	125.130	31.283	17.205
Murcia	22.361	5.590	3.075
Navarra	13.113	3.278	1.803
País Vasco*	42.305	10.576	5.817
Valencia*	94.943	23.736	13.055
TOTAL	736.570	184.143	101.278

Nota: el asterisco indica la existencia de plantas fragmentadoras en la comunidad autónoma.

La primera columna recoge el peso de los vehículos que son enviados a fragmentación, tras los procesos de desguace y descontaminación; la segunda columna corresponde al peso de la fracción ligera de fragmentación, que en la actualidad es enviada, con carácter casi general, a vertedero y la tercera representa la estimación de la cantidad de combustible potencialmente recuperable.

Debe recordarse que no todas las Comunidades Autónomas disponen de Centros de Fragmentación, por lo que las cantidades asignadas a cada una de ellas no necesariamente significa que la producción de combustible alternativo tenga lugar en las mismas sino en las que poseen plantas de fragmentación; en la tabla 6 el asterisco indica la existencia de plantas fragmentadoras en la Comunidad Autónoma.

Teniendo en cuenta los datos anteriores, la cantidad combustible potencialmente obtenible de la fracción ligera de fragmentación sería del orden de 100.000 t/a considerando un alto grado de recuperación de plásticos y otros combustibles; de esta cantidad deben detraerse las correspondientes a instalación de fragmentación de escala reducida y situadas en puntos en los que el vertido siga siendo una opción aceptada por las Comunidades Autónomas; considerando las fragmentadoras de mayor capacidad, la posibilidad de producción de combustible alternativo podría estimarse en 65.000 t/a, considerando las fragmentadoras de Madrid, Cataluña, Valencia y Andalucía, que parecen tener volumen suficiente.

2.6.7. Utilización de lodos de depuradoras de aguas residuales urbanas

2.6.7.1. Tratamiento de lodos de depuradora

Los lodos, a la salida de la depuradora, tienen una gran humedad y un elevado contenido de materia orgánica volátil, que los hace inmanejables, cualquier uso o gestión del mismo exigirá el tratamiento previo, para facilitar el manejo de los mismos en etapas posteriores de utilización o eliminación. Los tratamientos más importantes en relación con el aprovechamiento energético en plantas cementeras son:

2.6.7.2. Deshidratación mecánica

Reduce la cantidad de humedad, hasta un 20 - 25% de materia seca, mediante centrifugación o filtrado a presión de los lodos, retornando el agua extraída a la propia planta de depuración, ya que este tratamiento tiene lugar en las propias EDAR. Tras este primer tratamiento los lodos pueden ser manejados fácilmente y transportados, pero no deberían ser aplicados directamente al terreno; sin embargo, no es excepcional este tipo de aplicación directa, lo que puede suponer riesgos ambientales importantes, especialmente si la presencia de metales pesados es elevada.

Los destinos de los lodos deshidratados son la estabilización biológica mediante compostaje, el secado térmico y la valorización energética directa en plantas de incineración específicas.

2.6.7.3. Estabilización biológica mediante compostaje

Los lodos deshidratados pueden ser sometidos a un proceso de estabilización biológica aerobia, orientada a la producción de compost para uso agrícola; este tratamiento, además de la estabilización bacteriológica, produce una reducción de la humedad, alcanzándose un grado de sequedad del orden el 65%; en algunas Comunidades Autónomas una parte importante de los lodos son compostados conjuntamente con restos vegetales.

2.6.7.4. Secado térmico

Para alcanzar condiciones superiores de sequedad se realiza una etapa de secado, efectuando la evaporación de la casi totalidad del agua contenida en los lodos; de esta forma se alcanzan grados de sequedad superiores al 85%.

Los lodos secados térmicamente se presentan en forma de gránulos; tienen carácter higroscópico aunque resultan fácilmente manejables y pueden ser almacenados durante un tiempo prolongado, en comparación con los lodos deshidratados de los que proceden.

Estos lodos pueden ser destinados a uso agrícola ya que el secado no disminuye la cantidad de nutrientes presentes en los lodos deshidratados; la aplicación es considerablemente más fácil y pueden aplicarse en un entorno geográfico más amplio que los lodos deshidratados.

El principal inconveniente que presentan estos sistemas es el elevado consumo energético, por lo que se suelen instalar con sistemas de cogeneración de energía o aprovechando el calor residual de algunas instalaciones, como las propias cementeras.

Existen numerosas plantas de secado térmico distribuidas por el territorio nacional, especialmente en Cataluña (9 plantas), Madrid (3 plantas), Castilla y León, Galicia, Asturias, etc. aunque no es el procedimiento general de gestión de los lodos; recientemente se están desarrollando sistemas de secado que utilizan, mayoritaria o exclusivamente, energía solar para alcanzar el grado de secado requerido para las aplicaciones.

La capacidad total de secado térmico convencional es del orden de 180.000 t/a de lodos expresados como materia seca.

2.6.7.5. Tratamiento térmico de lodos deshidratados

Una de las aplicaciones de los lodos secos es la valorización energética, ya que, por las condiciones de sequedad alcanzadas, la combustión de los mismos se mantiene de forma autógena.

La incineración de los lodos secos puede realizarse por cualquiera de los sistemas convencionales de incineración o coincineración:

- En instalaciones específicas, de hornos de pisos, que realizan de forma simultánea el secado y la incineración; generalmente se instalan en grandes plantas de tratamiento.

- En plantas de incineración de residuos urbanos, mezclando los lodos secos con los residuos urbanos.

- Por valorización en plantas cementeras u otros hornos industriales.

La incineración de lodos es una práctica frecuentemente utilizada en todo el mundo, ya que es un sistema de minimización de residuos particularmente útil cuando los lodos no son aptos para su aplicación al suelo y como alternativa a su depósito en vertedero.

En Japón, la incineración con recuperación energética de los lodos supone un 53% del total de la gestión y un 13% en el conjunto de la Unión Europea; en España solamente se incineran en la actualidad los lodos procedentes de algunas plantas depuradoras de aguas residuales, como las de Galindo (Vizcaya), Cartuja (Zaragoza), Pinedo II (Valencia) o Córdoba, que suponen, en total, unas 40.000 t/a de lodos secos.

2.6.7.6. Aplicaciones de los lodos de depuradora

La planificación de la gestión de los lodos de depuradora descansa en los mismos principios jerarquizados que la gestión del resto de los residuos:

- Prevención en la generación, especialmente en relación con la presencia de contaminantes que puedan resultar perjudiciales para los usos posteriores de los lodos; este aspecto está más relacionado con el control de vertido a las redes de saneamiento.

- Reciclado material de los lodos, en diferentes aplicaciones, principalmente de tipo agrícola si las características del lodo permiten su aplicación y sujeto a la limitación de nutrientes.

- Valorización energética, tras su acondicionamiento.

- Eliminación final en vertederos o mediante incineración.

El II Plan Nacional de Lodos de Depuradoras, que forma parte del borrador del PNIR establece algunos objetivos ecológicos en relación con los lodos de depuradora:

Valorización en usos agrícolas de, al menos, el 70% de los lodos de depuradora, previo tratamiento, antes del 2011.

Valorización energética de un 15%, como máximo, de los lodos generados, antes de 2011.

Depósito en vertedero de un máximo de un 15% de los lodos, antes de 2011.

El enunciado de los propios objetivos lleva implícito una jerarquización de la gestión, que parece orientarse claramente hacia la valorización en usos agrícolas, en tanto la calidad de los lodos y la disponibilidad de los suelos lo permitan.

Sin embargo la aplicación de esta planificación no parece contemplar algunos aspectos importantes:

• La mayor cantidad de lodos se producen en las aglomeraciones urbanas de alta densidad de población, que generalmente adolecen de falta de terreno agrícola en el que pueda realizarse la aplicación.

• Además, la generación de lodos suele coincidir con la generación de cantidades importantes de otros residuos cuya vía de gestión coincide con la de los lodos en la producción de compost.

• La aplicación agrícola no puede realizarse de forma continua para satisfacer las necesidades de salida de lodos de las EDAR.

En algunos países, como Alemania y Austria, se han establecido restricciones a la utilización de lodos en la agricultura, por la presencia de nutrientes, metales pesados u otros contaminantes, por lo que se está produciendo un desplazamiento importante hacia la valorización energética.

La cantidad de lodos depositados debe tener en cuenta el contenido de nutrientes en el suelo, el tipo de cosechas, los rendimientos de absorción de los mismos; en definitiva, debe existir una limitación de la cantidad de nutrientes aportada, evitando la acumulación de los mismos que puede dar lugar a fenómenos de eutrofización; esta aplicación está regulada por el Real Decreto 1310/1990 y sus normativas de desarrollo.

De la misma forma, es previsible la reducción de las cantidades de lodos sin tratamiento depositadas en vertedero, lo que obligará a su estabilización previa.

En la Tabla 7 se muestran los usos de los lodos en la Unión Europea y en España en el año 2005, y los objetivos establecidos en los Planes de Gestión de Lodos de Depuradora.

Tabla 7. Destino de los lodos de depuradora en la Unión Europea y España

Destino de los lodos de depuradora	Año 2005		Objetivos	
	Unión Europea	España	I Plan de lodos de depuradora	II Plan de lodos de depuradora (año 2010)
Aplicación agrícola	54%	54%	65%	70%
Valorización energética	18%	7%	15%	15%
Depósito en vertedero	25%	34%	20%	15%
Correcta gestión ambiental de las cenizas de incineración				100%

2.6.7.7. Utilización de lodos de depuradora en cementeras

El empleo de lodos secos en cementeras, además de una reducción de los combustibles tradicionales, aporta una ventaja ambiental adicional debida a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), ya que los lodos son biomasa y, por tanto, combustibles renovables cuyas emisiones de CO_2 se consideran neutras.

Una utilización de lodos secos en cementera equivalente al 2,5% del peso de clínker producido es un valor suficientemente experimentado y no tiene efecto alguno sobre la calidad del producto; los principales parámetros que deben controlarse son los contenidos en fósforo, que tendría un efecto sobre la velocidad de fraguado del cemento, y en metales pesados.

En algunos países europeos el empleo de lodos en cementeras es la forma habitual de gestión de los mismos, frente al depósito en vertederos o la aplicación en el terreno en forma de compost; sin embargo, en otros se están produciendo restricciones a la valorización energética si el contenido de mercurio y otros metales pesados volátiles en el lodo es elevado, aunque esto no suele ser muy habitual en instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas.

Los lodos previamente desecados se reciben en las plantas, donde se almacenan en instalaciones especiales y se alimentan al quemador principal del horno, mezclado con el combustible habitual.

La valorización de lodos en cementeras se considera un servicio de gestión de los lodos y por tanto suele tener un coste para el productor del residuo (EDAR).

2.6.7.8. Potencialidad de los lodos como combustible alternativo para cementeras

La estrategia española frente a los lodos de depuración descansa, fundamentalmente, en la aplicación de los mismos al suelo, como enmienda agrícola, ya sea por aplicación directa de los lodos deshidratados o tras un compostaje previo con otros residuos, especialmente con residuos vegetales.

En el Plan Nacional y en los diferentes Planes Autonómicos se contempla la valorización energética de una forma marginal, reducida a menos del 15% de la gestión total, especialmente cuando la calidad del lodo impida su uso agrícola. Así, se podrían usar hasta 138.750 toneladas anuales, según los datos aportados previamente sobre generación de lodos.

Sin embargo, la acumulación de nutrientes procedentes de distintos tipos de residuos, y las exigencias de un tratamiento previo al uso agrícola, pueden impedir la utilización agrícola, al tiempo que el traslado a otras áreas puede suponer un incremento de coste poco asumible.

Por otra parte, el vertido de lodos, frescos o sometidos a tratamientos de secado térmico, está restringido por la legislación, al reducir la cantidad de residuos biodegradables que pueden ser vertidos.

La valorización energética en plantas cementeras exige un paso previo de secado térmico, hasta alcanzar un grado de sequedad superior al 80-90% de materia seca; en estas condiciones los lodos tiene suficiente poder calorífico como para aportar energía al proceso, como combustibles alternativos.

Las posibilidades de que existan lodos secos disponibles están relacionadas con:

- La prohibición de vertido de los mismos.
- La saturación de las posibilidades de uso agrícola, tanto de aplicación directa como en forma de composta.
- La calidad de los lodos, por su alto contenido en metales pesados.

Todas las condiciones anteriores están presentes en algunas zonas del territorio, como en Cataluña y Valencia, que empiezan a tener excedentes de compost y están incluyendo plantas de secado térmico para facilitar la valorización energética de los lodos.

En el caso de Cataluña se detecta un excedente de más de 67.000 ton/año de lodos, expresados como materia seca, que podrían ser valorizables en cementeras de la Comunidad Autónoma.

En algunas instalaciones de diferentes Comunidades se han instalado planta de incineración de lodos (la más señalada es de la Galindo, en Vizcaya) estando prevista también la incineración en otras instalaciones en proyecto (Planta Integral de Incineración de Guipúzcoa).

En el resto de las Comunidades Autónomas analizadas la forma de gestión casi exclusiva sigue siendo la aplicación agrícola.

2.6.8. Utilización de residuos de plásticos agrícolas

2.6.8.1. Los residuos de plásticos agrícolas

Se consideran residuos de plásticos de uso agrícola aquellos residuos de plásticos producidos en el ejercicio de la actividad agrícola y/o ganadera, exceptuados los residuos de envases; tampoco se incluyen los residuos de envases de productos fitosanitarios, que son gestionados por un Sistema Integrado de Gestión, (SIGFITO).

Los usos principales de los plásticos en la agricultura son:

- En coberturas de protección en forma de láminas, placas y otros elementos en invernaderos, túneles, acolchados y otras modalidades de producción agrícola intensiva.

- En mallas cortavientos y como material para el manejo de la luz natural (plásticos fotoselectivos) y las radiaciones UV, visible, infrarroja.

- En forma de piezas de plástico en las redes de riego (tuberías, válvulas, goteros, etc.), en láminas de polietileno (PE) u otros polímeros empleados en la impermeabilización de embalses y aljibes.

El Plan Nacional de Residuos Plásticos Agrícolas, incluido dentro del borrador del PNIR, engloba todas las actuaciones que se realicen en relación con estos residuos dentro del territorio nacional, quedando integrados en él los documentos de planificación autonómicos ya elaborados, y ello de una forma coordinada para la optimización de los logros ecológicos.

El horizonte temporal del Plan de Residuos Plástico Agrícolas abarca del año 2007 al año 2015, inclusive.

2.6.8.2. Situación actual de la gestión de plásticos agrícolas

La gestión actual de los residuos de plásticos agrícolas se caracteriza por:

- Insuficientes estadísticas y datos sobre la generación y gestión de estos residuos.

- Las infraestructuras específicas existentes para la gestión de estos residuos se concentran en sólo unas Comunidades Autónomas; en general estas infraestructuras están dedicadas al reciclado de algunos tipos de plásticos (film), pero no a otras actividades de gestión, como la valorización energética.

- Existencia de un creciente mercado de demanda del residuo de plástico usado; los precios estimados del residuo se sitúan en torno al 15-25% del precio de la granza virgen; este precio puede ser muy fluctuante en función de la calidad del residuo.

- El mercado actual de plástico reciclado procedente de usos agrícolas tiene una gran competencia con los residuos de plásticos industriales y de la construcción, más limpios y uniformes que los procedentes de usos agrarios.

- Las normas técnicas de calidad exigidas a las explotaciones agrarias, que establecen la prohibición expresa del abandono de restos plásticos en el interior o lindes de la parcela por razones de control de plagas y sanidad vegetal.

- No existen planes específicos de gestión para este tipo de residuos, salvo en las Comunidades Autónomas de Andalucía, Canarias y Galicia.

• La consecuencia de estos factores es que está disminuyendo el vertido incontrolado y abandono de plásticos, especialmente de cobertura, constituidos por fi lm de polietileno de baja densidad.

2.6.8.3. Valorización energética de plásticos agrícolas

Los objetivos ecológicos contemplados en el Plan de Gestión de Plásticos Agrícolas se muestran en la Tabla 8:

Tabla 8. Objetivos ecológicos del I Plan Nacional de Residuos Plásticos de uso agrario

Objetivos ecológicos	2010		2015	
Prevención / reutilización	5%	9.400 t	10%	18.800 t
Reciclado	55%	103.400 t	70%	131.600 t
Valorización energética	30%	56.400 t	15%	28.200 t
Eliminación en vertedero	10%	18.800 t	5%	9.400 t

Como puede observarse, se realiza una apuesta importante por el reciclado material, que es variable para cada tipo de material.

Para los residuos plásticos agrícolas no reutilizables ni reciclables restan sólo dos opciones de tratamiento: la valorización energética, en sus diversas variantes, o la eliminación en depósito de seguridad o vertedero.

La valorización energética de los rechazos de plásticos no reciclables puede permitir el aprovechamiento del importante poder calorífico de los plásticos, que es ligeramente inferior al del gas natural, y superior al del papel, madera y otros residuos urbanos.

Este aprovechamiento de la energía contenida en los residuos de plásticos puede hacerse en instalaciones industriales ya existentes, como sustitutos de combustibles, siempre que se cumplan determinadas condiciones ecológicas y administrativas.

En España se han desarrollado experiencias de valorización energética de film de polietileno de cubiertas de invernadero mediante la coincineración en una central térmica de carbón pulverizado; asimismo, se han llevado a cabo ensayos sobre la utilización de plásticos como combustibles en cementeras, ambas con resultados positivos.

Otras iniciativas de gestión corresponden a proyectos de gasificación para la generación de electricidad o para la obtención de combustibles líquidos asimilables a gasoil.

El Plan estima que la valorización energética alcanzará un 15% de los residuos generados al finalizar el periodo de vigencia del Plan, con un objetivo intermedio de valorización del 30% en el año 2010, lo que supondría una valorización de casi 57.000 ton/año de material plástico.

La forma de valorización más adecuada puede ser en cementeras, generalmente tras una preparación de combustibles con otros tipos de residuos, como los CDR (combustibles derivados de residuos).

La única alternativa a la valorización energética para los residuos de plásticos agrícolas no reciclables es la eliminación en vertedero, que debe ser considerada como una opción posterior a la valorización energética.

Un aspecto a tener en cuenta es la posibilidad de desarrollo de tecnologías emergentes, por gasificación, para las que los plásticos agrícolas puedan ser una materia prima adecuada, a pesar de la presencia de tierras y suciedad que dificultan el reciclado.

2.6.9. Utilización de combustibles derivados de residuos urbanos

2.6.9.1. Antecedentes

El Real Decreto 1481/2001, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, y que engloba la Directiva 1999/31/CE, prevé que se reduzca la cantidad de residuos biodegradables vertidos, con respecto a los niveles de 1995, a un 75% para julio de 2006, un 50% para julio 2009 y un 35% para julio 2016.

Las plantas de cemento han utilizado tradicionalmente residuos de origen industrial, con una preponderancia de residuos líquidos de alto poder calorífico generalmente clasificados como peligrosos, como los disolventes usados, los aceites usados de automoción, etc.

También han formado parte de estos combustibles alternativos algunas fracciones de residuos no peligrosos procedentes de fuentes industriales o comerciales, (especialmente papel, maderas, algunos plásticos, neumáticos, harinas animales, etc.)

Sin embargo, la presencia de materiales procedentes de los residuos urbanos, o de algunas de sus fracciones energéticas ha sido de más reciente implantación.

Durante los últimos años se han introducido algunas modificaciones en las formas de tratamiento de los residuos sólidos urbanos (RSU), orientadas a mejorar la gestión de la materia orgánica contenida en los mismos; complementariamente, se obtienen fracciones secas de alta calidad que pueden ser utilizadas como combustibles alternativos.

Como la utilización directa de los residuos urbanos no es viable, históricamente se han utilizado diferentes fracciones obtenidas por separación mecánica de los mismos; la fracción seca se sometía a clasificaciones orientadas a la separación de materiales combustibles, (plásticos, papel, ..) que posteriormente eran sometidos a operaciones de densificación que facilitaban su utilización; así se desarrollaron los denominados Combustibles Derivados de Residuos (CDR), que en general se refiere a combustibles derivados de residuos sólidos urbanos. Estos combustibles fueron utilizados durante algunos años, tanto en cementeras como en diferentes tipos de hornos.

Durante los últimos años se ha reactivado el interés hacia la fracción combustible de los residuos urbanos, principalmente por dos motivos, primero por las obligaciones mencionadas en cuanto al vertido de la fracción biodegradable de los residuos, y el segundo por el objetivo establecido en Europa de aumentar el uso de fuentes de energía renovables y neutras en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero.

Con el objeto de extender el aprovechamiento energético de estos CDR en el mayor número de instalaciones posibles de distintos sectores (plantas de biomasa, instalaciones de generación eléctrica, etc.) se ha trabajado en Europa en la elaboración de una norma en el seno del Comité CEN/TC 343, en la que se establecen diferentes tipos de Combustible Sólido Recuperado, en función del poder calorífico y de la presencia de diferentes sustancias, entre ellos el cloro y el mercurio, que puedan tener un impacto en la operación de las instalaciones o en sus emisiones al medio ambiente.

En el caso de las instalaciones cementeras, el control de calidad de los residuos se realiza en la fase de recepción y aceptación de los mismos, de acuerdo a la Directiva 2000/76 de incineración. Por otra parte, éstas cuentan con condiciones de operación que les permiten mayor flexibilidad en los combustibles empleados (gran estabilidad térmica, elevada temperatura, materias primas alcalinas presentes en gran cantidad en el horno, etc.). Además las especificaciones para los combustibles utilizados están definidas en las Autorizaciones Ambientales Integradas, y son comprobadas con regularidad en los controles de recepción y aceptación, por lo que la aportación de este estándar es limitada y su aplicación es escasa.

2.6.9.2. Características de los Combustibles Derivados de Residuos para hornos de cemento

Las características más importantes de los CDR utilizados habitualmente en el sector cementero son:

- Poder calorífico elevado, en torno a 16-18 MJ/kg, aunque algunas plantas de clínker establecen valores bastante más elevados, superiores a 20 MJ/kg.

- Reducido contenido de cloro (inferior al 0,5-1%).

- Reducido contenido de mercurio, (inferior a 10 mg/kg, en base seca).

Las limitaciones más importantes están referidas al contenido de cloro, por razones de funcionamiento estable de la instalación, y de mercurio y metales pesados en los CDR, para poder cumplir las limitaciones de emisiones establecidas en la legislación sobre incineración de residuos.

En relación con el contenido de cloro, existe una limitación práctica generalizada del orden del 1% en el CDR, que podría ser algo mayor para CDR con un poder calorífico del orden de 20 MJ/kg; este límite está también condicionado por el grado de sustitución y por la aportación concurrente de otros combustibles alternativos distintos de CDR, especialmente disolventes, y de las materias primas.

En relación con los metales pesados volátiles deben tenerse en cuenta las limitaciones establecidas en el Real Decreto 653/2003 referidas a plantas de cemento y considerando la diferente capacidad de retención de los mismos en el clínker.

En relación con el poder calorífico, aparte de un parámetro técnico, se trata de un parámetro económico en cuanto al aporte energético que puede realizar un residuo.

En cualquier caso, las características de los combustibles pueden ser fijadas por las propias cementeras, en función de diferentes factores, entre ellos la utilización simultánea de otros residuos como combustibles.

2.6.9.3. Posibilidades de obtención de Combustibles Derivados de Residuos a partir de residuos urbanos en España

Siguiendo los modelos descritos anteriormente, es posible la obtención de CDR a partir de tres flujos de residuos:

- La fracción resto no estabilizada de los residuos urbanos; esta fracción se deposita en los casi 200 vertederos controlados distribuidos en las distintas Comunidades Autónomas y supone casi 15 Mt/a de residuos.

- La fracción seca separada en las 59 plantas de triaje y compostaje de los residuos recogidos en masa, mediante tratamientos mecánicos.

- Los rechazos de las plantas de clasificación de envases, constituidos básicamente por plásticos y papel.

En todos los casos se observa que el CDR se produce a partir de la fracción seca destinada a vertedero por lo que, además de una mejora en el uso de los recursos, no se produce ninguna interferencia en las actividades de reciclado material de los mismos, que debe ser previa a la preparación de CDR (la optimización de la recuperación material debe producirse mediante recogida selectiva de las diferentes fracción, no mediante clasificación de la fracción recogida de forma unificada).

La importancia de cada una de las corrientes señaladas está muy relacionada con la forma de gestión seguida en las diferentes Comunidades Autónomas:

• En Andalucía, Castilla - La Mancha, Castilla y León, Extremadura, Valencia, Murcia y La Rioja, la gestión de los residuos urbanos se basa en la clasificación, recuperación material y compostaje; los rechazos secos, valorizables energéticamente, son depositados en vertederos; en estas Comunidades se analiza la obtención de CDR a partir de las fracción seca separada en las plantas de triaje previas a las instalaciones de compostaje.

• En Cataluña, Castilla y León, Madrid, Aragón y parte del País Vasco se han instalando plantas de biometanización de la fracción resto; la obtención de CDR en instalaciones de biometanización se realiza tras la separación mecánica de fracciones seca y húmeda; la producción de CDR sería similar al caso anterior.

• En algunos casos se sigue realizando la gestión de los residuos por depósito directo en vertederos controlados; en estos casos la obtención de CDR debería venir asociada a los procesos de estabilización de la materia orgánica anterior al vertido.

Para poder estimar la potencial producción de CDR desde las distintas instalaciones de residuos urbanos se han analizado estas instalaciones y los procesos señalados anteriormente:

• La cantidad total de residuos urbanos recogidos en las 59 plantas de triaje y compostaje existentes en España es del orden de 7,1 Mt/a. Considerando un factor de transformación de residuos urbanos en CDR de 0,18, la producción máxima posible sería de 1.250.000 t/a de CDR si todas las plantas de compostaje se modificaran, ampliaran, para la producción de CDR a partir de los rechazos.

• De la misma forma, para las plantas de biometanización puede admitirse un factor de transformación de residuos urbanos en CDR del 15%. Como las 6 plantas de biometanización en funcionamiento tienen una capacidad total de unas 750.000 t/a, la producción máxima de CDR en estas instalaciones sería del orden de 112.000 t/a.

• Los 188 vertederos controlados existentes en España reciben casi 15 Mt/a de residuos no clasificados; la incorporación de planta de biosecado a cada uno de los vertederos permitiría la obtención de casi 4,9 Mt/a de CDR, suponiendo una transformación del orden del 33% de residuos urbanos en CDR (este factor de transformación conduciría a un CDR de calidad media).

• Finalmente, en España existen 89 plantas independientes de clasifi cación de envases ligeros procedentes de recogida selectiva; la cantidad de envases de plástico recogidos es del orden de 350.000 t/a de los que se recuperaron unas 252.000 t/a, según los datos de la Memoria de Ecoembes 2007; el rechazo de casi 100.000 t/a puede ser transformado en CDR con un rendimiento medio del 50%, lo que supondría una aportación potencial de unas 45.000 t/a de CDR.

Por tanto, el potencial máximo de obtención de CDR a partir de los diferentes flujos de residuos urbanos será del orden de 6,3 Mt/a; debe notarse que no toda la generación de CDR sería homogénea ni las probabilidades serían las mismas para cada una de las corrientes señaladas, por lo que la cifra indicada deben entenderse como un techo.

2.6.9.4. Posibilidades de obtención de CDR en Galicia

El modelo de gestión de residuos urbanos de Galicia se basa, fundamentalmente, en dos tipos de instalaciones:

• El Complejo de SOGAMA, que consta de instalaciones de reciclado de materiales y una planta de incineración del CDR obtenido por clasificación mecánica de los residuos recogidos en masa; la capacidad de tratamiento de SOGAMA es del orden de 550.000 t/a; la instalación dispone de un vertedero anexo, que recoge también una cantidad importante de los residuos que no pueden ser tratados por la instalación de incineración.

• La planta de tratamiento de NOSTIAN (Coruña), que realiza la clasificación de los residuos para valorización material y la biometanización y posterior compostaje de la fracción orgánica; los rechazos de esta instalación se envían a vertedero o la planta de valorización de SOGAMA.

La capacidad actual del sistema de gestión es claramente insuficiente por lo que la Xunta de Galicia está considerando diferentes opciones de ampliación de la capacidad, que probablemente exigirían nuevos complejos similares a SOGAMA en otros lugares del territorio.

Con los datos del año 2004, la generación de residuos urbanos en Galicia fue del orden de 900.000 t de las que el 40% se gestionaron vía incineración, el 30% se depositó en vertedero y el 30% restante vía recuperación de materiales (75.000 t/a), compostaje (97.000 t/a) y digestión anaerobia de la fracción orgánica (85.000 t/a).

Recientemente se ha llegado a un acuerdo de forma que la planta de NOSTIAN realice el tratamiento de la fracción orgánica separada en SOGAMA mientras que los rechazos de la planta de NOSTIAN, del orden de 100.000 t/a, serán enviados a la planta de incineración de SOGAMA; de cualquier forma, ambas instalaciones deben ser objeto de ampliación, porque las capacidades parece claramente insuficientes.

En nuevo Plan, en fase de elaboración, contempla un incremento importante en la producción de compost, especialmente en la zona sur de la Comunidad Autónoma, con varias plantas distribuidas, siguiendo el modelo del Complejo de NOSTIAN, aunque no está descartada la utilización de plantas de valorización energética para los rechazos de estas plantas, vía tecnología emergentes (plasma o gasificación).

En estos momentos no es fácil predecir la disponibilidad de residuos para valorización en cementeras, que estaría muy condicionada por el modelo de gestión que finalmente se desarrolle; si el modelo final incluye nuevas instalaciones de incineración, la producción de CDR de alta calidad no tendría interés, ni desde el punto de vista económico ni ambiental.

La única posibilidad interesante de obtención de CDR en Galicia es a partir de los rechazos de la planta de NOSTIAN, que podrían aportar una generación de unas 15.000 t/a, aunque en la actualidad estos rechazos están siendo transferidos al Complejo de SOGAMA para su incineración.

2.6.9.5. Factores a considerar en la producción de Combustibles Derivados de Residuos

Las ventajas fundamentales de la utilización de CDR para las cementeras son comunes a la utilización de otros residuos como combustibles alternativos y se refieren al menor coste de la energía primaria para las instalaciones usuarias al tiempo que se produce una reducción de los residuos destinados a vertedero (obligación establecida por la normativa europea y española).

En el caso de los CDR derivados de los residuos urbanos deben considerarse, además, otras ventajas adicionales, como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y mejora de las condiciones de emisión de las propias plantas cementeras, porque los combustibles alternativos, especialmente los CDR, tienen concentraciones de contaminantes muy reducidas.

A pesar del desarrollo de las actividades de prevención y reciclado, en la situación española actual un porcentaje muy elevado de los residuos urbanos (>60%) es depositado en vertedero; aunque es previsible un crecimiento de estas actividades, es probable que las cantidades de

fracción resto sigan siendo muy elevadas, como ocurre en el resto de los países europeos con altas tasas de reciclado.

En consecuencia, a corto y medio plazo las cantidades de residuos disponibles para producción de CDR seguirán siendo muy elevadas, especialmente las procedentes de instalaciones de compostaje o de estabilización.

Los factores más importantes que pueden condicionar esta producción son:

Aplicación del Real Decreto 1481/2001 sobre vertido

Aunque no tiene una implicación directa en la producción de CDR, el Real Decreto señalado establece limitaciones progresivas para el vertido de residuos biodegradables; esto obligará a un aumento de las plantas de compostaje o de biometanización, que exigen plantas de triaje previas a partir de las cuales puede obtenerse el CDR.

Tasas sobre vertido

El precio de vertido también tiene una influencia decisiva en las posibilidades de obtención de CDR; si el precio de vertido es muy bajo no existirá un incentivo por parte de los gestores de residuos para la realización de las instalaciones necesarias para la producción de CDR de calidad; este bajo coste de vertido se presenta como uno de los obstáculos más importantes en la producción de estos combustibles alternativos.

Existe una obligación legal de que los costes de vertido reflejen todos los gastos originados, incluyendo las garantías ambientales y los costes postclausura de los vertederos; esto debe conducir a precios de vertido superiores a los actuales; sin embargo, la fracción seca de la que se obtienen los CDR puede ser depositada sin grandes consecuencias ambientales.

La Estrategia Española de Lucha contra el Cambio Climático y el Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión

Todas las plantas de producción de cemento están incluidas dentro del Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión, establecido por el Real Decreto 1370/2006 y posteriormente modificado.

La sustitución de los combustibles tradicionales por combustibles alternativos pueden reducir las emisiones de CO_2 cuando estos combustibles tienen una parte de su PCI de origen biogénico, como ocurre con los CDR, de los que casi el 40% del poder calorífico es biomasa; en consecuencia, la sustitución de 1 t de coque por CDR supondría una reducción de emisiones del orden de 1 t de CO2- eq, aunque esta cifra puede variar sensiblemente en función del origen de los residuos.

2.7. Uso eficiente del hormigón

2.7.1. Estructuras durables y no sobredimensionadas

Muchas estructuras, son diseñadas para una vida útil que no supera los 30-40 años y aún así, luego en la práctica, son demolidas o sustituidas sin llegar tan siquiera, a cumplir dichas expectativas.

Una reducida durabilidad puede ser fruto de varios factores, como una inapropiada mezcla, puesta en obra, curado, etc. (Mehta 1998). El uso de puzolanas o subproductos como las cenizas volantes, humo de sílice y escorias, así como el empleo de hormigones de altas prestaciones pueden extender considerablemente la vida de las estructuras.

El desarrollo e incremento en el uso de cementos de altas prestaciones puede reducir la cantidad de energía, cemento, agua y/o áridos, resultando incluso más resistente y durable.

Además, el uso de hormigones de altas prestaciones junto con el de acero reforzado, permite reducir considerablemente las secciones de vigas y pilares, aumentar la resistencia ante agentes erosivos como las heladas (por poseer menor porosidad) y ataques químicos, ofreciendo una vida útil dos o tres veces mayor que el hormigón convencional y con posibilidad de ser reciclado hasta dos o tres más, antes de ser transformado en árido de base para firmes.

2.7.2. Vida útil del hormigón

Según un informe de la U.S. EPA 1998, en los Estados Unidos, el 67% de los residuos procedentes de la construcción y demolición, es hormigón.

Por ello, es importante destacar que la vida del hormigón no tiene porque acabar en el momento de su demolición. Hoy en día, estos desechos tienden a ser reutilizados, cada vez más, como árido para bases de firme, como árido para nuevas amasadas de hormigón, etc. lo que conlleva a un evidente ahorro de producción de material nuevo.

2.8. Otras medidas

Como comentario final de este capítulo, sería conveniente citar que en la actualidad se están desarrollando nuevas técnicas que permiten reducir el consumo eléctrico, dentro del proceso de fabricación del cemento. Aunque este hecho no reduce las emisiones directas de CO_2 de la fábrica, sí reduce las emisiones, de forma indirecta, de plantas generadoras de energía eléctrica. Así pues, las principales acciones que se desarrollan en este sentido son:

- Empleo de adiciones en los cementos, que reducen el consumo eléctrico global
- Empleo de sistemas de molienda más eficaces que los molinos de bolas, como los molinos verticales de rodillos
- Empleo de separadores de alta eficacia en la molienda
- Sustitución de transportes neumáticos por mecánicos
- Empleo de motores de velocidad variable
- Empleo de aditivos de molienda
- Sistemas expertos de operación de las plantas

Por último, resaltar también, a modo de comentario, que hoy en día se está experimentando con nuevos materiales, con el fin de poder ser incorporados al cemento, como sustituto del clínker. Los más destacables son:

- Residuos de la industria cerámica
- Cenizas de fondo de central térmica
- Escoria de siderurgia de horno eléctrico
- Escorias de Fe-Si-Mn
- Escorias de Cu

Capítulo 3 Objetivos y alcance del presente estudio

3.1. Planteamiento del estudio

El objeto del presente estudio es la aplicación de la metodología MC3 de cálculo de la huella ecológica corporativa (Juan Luis Doménech, 2002) a una instalación cementera para 3 casos de estudio.

Dada gran diversidad existente, no solo en España sino que en todo el mundo, en cuanto a tipología, operatividad, tamaño, etc. de las plantas de fabricación de cemento, el alcance del estudio se basará en tres escenarios o plantas “tipo”.

Los datos de partida que alimentan a la herramienta de cálculo son reales, provenientes de una planta ubicada en España; por razones de confidencialidad acordada, no se dan referencias concretas.

Los 3 casos de estudio son los siguientes:

- Caso A - Planta integral actual con capacidad de 1.000.000 t/año. Dicha planta elabora el cemento a partir de las materias primas de cantera, como la piedra caliza, adiciones, etc.

- Caso B - Planta de molienda de cemento con capacidad de 1.000.000 t/año. En este caso, la planta adquiere el clinker ya elaborado y se limita a molerlo junto con las adiciones para elaborar los diferentes tipos de cemento.

- Caso C - Planta integral que aplica las mejores técnicas disponibles (MTD) con capacidad de 1.000.000 t/año. Exactamente igual que la del caso A pero en la que a la cadena de proceso se le han incorporado las mejores técnicas disponibles, lográndose una mayor eficiencia y mínima huella ecológica.

La descripción del funcionamiento, características y análisis de costes, tanto de amortización como de inversión, se detallan a lo largo de los siguientes apartados.

3.2. CASO A: Planta integral actual. Capacidad: 1,000,000 t/año

3.2.1. Descripción del proceso operativo

En términos generales, se entenderá por este tipo de planta, aquellas cuya cadena de procesos consiste en los siguientes pasos:

- Obtención de materias primas (canteras) y transporte a planta
- Molienda y preparación del crudo
- Precalentamiento y cocción del crudo
- Enfriado del clinker
- Molienda y mezclado con adiciones
- Acopio, ensacado, expedición

A continuación se detallan estos procesos

3.2.1.1. Canteras

En el proceso del cemento, el material principal del crudo es la caliza. Son necesarios otros materiales como la arcilla o pizarra (aportadores de sílice y alúmina) y un aportador de hierro como el propio mineral de hierro o cenizas de pirita o similar.

En la cantera el material se obtiene por voladura, caso de ser homogéneo y duro (caliza, normalmente), o por ripado (caso arcilla).

Los frentes de caliza suelen ser de unos 12 a 20 m de altura. El material volado, de un tamaño del orden de 1000 mm se traslada a un sistema de trituración para reducirlo de tamaño, a unos 50-70 mm.

La trituración puede hacerse conjuntamente de caliza con otro componente (arcilla) o bien, caso de ser la arcilla muy húmeda, ser tratada ésta independientemente, en trituradoras de rodillos dentados, usualmente en 2 etapas, debido a su bajo coeficiente de reducción.

Una vez triturado, el material se envía a planta por cinta, camión, teleférico, etc.

3.2.1.2. Stock y prehomogenización

El material triturado se almacena en parques al aire libre o cubiertos. Puede emplearse., para casos de materiales poco homogéneos, un sistema de prehomogeneización, o mezclado del material triturado, donde se forman capas de material en sentido longitudinal y se recogen en sentido transversal, mezclando así las distintas capas que forman una pila.

3.2.1.3.- Molienda y secado de crudo

Del parque de prehomogeneización, el material se lleva a la sección de molienda y secado de crudo. Allí es reducido de tamaño hasta unas 80 micras, y secado con ayuda de los gases calientes de escape del sistema de horno-intercambiador.

Para la molienda y secado de crudo se emplean molinos tubulares de bolas o bien verticales, de rodillos.

La harina cruda y seca tiene una composición aproximada como la siguiente:

- Caliza: 80 %
- Arcilla: 19 %
- Corrector hierro: 1 %

La humedad de entrada del 8 %, por ejemplo, es reducida a no más del 0,5/1 %

3.2.1.4.- Homogenización y stock de crudo

La harina seca se lleva al sistema de homogeneización, donde, por medios neumáticos (inyección de aire a presión), se obtiene un producto muy regular que facilita la cocción uniforme.

El stock de harina viene a suponer el equivalente a tres días de marcha del horno.

3.2.1.5.- Cocción

La harina se lleva a la parte superior de un intercambiador de ciclones, en el caso actual, de cuatro etapas sucesivas, donde se produce la transferencia de calor gases- crudo, de forma que éste es calentado, secado de la humedad residual, pierde el agua de constitución de las arcillas, y finalmente, comienza a ser descarbonatado.

Los gases calientes salen del intercambiador por la parte superior, y se llevan a la sección de molienda de crudo, o, en caso de paro de ésta, a los filtros, tras un acondicionamiento por medio de agua pulverizada, por mezcla con aire frío o por reducción de temperatura en un intercambiador de calor gases-aire.

En la base del intercambiador se inyecta una parte del combustible total del horno, en el sistema de precalcinación, con empleo de aire de combustión que viene desde el cabezal del horno bien a través de un conducto *ad hoc* de aire terciario, bien a través del propio horno, como un exceso de aire con los gases de combustión procedentes del propio cabezal.

El crudo es casi totalmente descarbonatado con ayuda de esta precalcinación, y entra al horno a unos 900 º C.

En el horno rotativo avanza, mientras se completan las reacciones de descarbonatación, fusión y clinkerización, o formación de los distintos minerales, mezcla varias de sílice y óxido de cal, que constituyen el clinker, componente principal del cemento.

El combustible se inyecta en el cabezal por medio de un mechero. Hoy el combustible habitual es coque. La temperatura de llama alcanza los 2,000 º C.

En el momento actual, el porcentaje de combustible total que se inyecta en el precalcinador viene a ser de un 25 %, y un 75 % en el mechero del cabezal. Se usan pequeños porcentajes de combustibles secundarios, o residuos, como aceites usados, pinturas, disolventes y algo de biomasa. En general, todo en el precalcinador, y en un porcentaje del orden del 5 % del consumo térmico total.

Para una planta como la elegida, de 1,000,000 toneladas anuales de cemento, el horno viene a tener una capacidad de 2,500 t/d, y el consumo térmico total viene a ser de unas 780 the/t de clinker.

El clinker sale del horno a unos 1500 º C, y cae a un enfriador de parrilla, donde se enfría hasta unos 100 º C, por intercambio con aire. Parte de este aire entra al horno por efecto del tiro, como aire secundario de combustión, y la parte sobrante va a la atmósfera, tras ser depurado en el correspondiente filtro.

Un transportador de placas lleva el clinker hasta un stock de tipo DOMO, silo o nave, para mantenerlo a cubierto. La capacidad es muy variable, dependiendo del tipo de mercado y necesidades de la planta.

3.2.1.6.- Añadidos al cemento

El yeso se tritura, normalmente, en una instalación dotada de machacadora de impactos, hasta unos 25 mm de tamaño. Lo mismo sucede con la caliza, y con la puzolana, si se usa como añadido (depende de la zona, si existen yacimientos). La escoria granulada de alto horno se almacena tal cual llega, en tamaño de 3 mm. La ceniza volante es almacenada en silos, donde descargan las cubas o el tren, de haberlo. El yeso, la caliza, puzolana, escoria, son llevados a tolvas de dosificación a entrada al molino de cemento, dotadas de básculas pesadoras, lo mismo que el clinker.

3.2.1.7.- Molienda de cemento

De las tolvas y básculas de dosificación, una cinta alimenta al molino de los materiales que componen el cemento. Las cenizas volantes son alimentadas directamente al circuito de salida de la sección, al no necesitar molienda. En la actualidad, la inmensa mayoría de las plantas usan molinos tubulares de bolas, en circuito cerrado con un turboseparador de alta eficacia, que permite controlar la finura del cemento, por medio de fuerza centrífuga. El molino y el turboseparador son desempolvados por sendos filtros de mangas.

El producto final, cemento, tiene un tamaño de partícula del orden de 30 micras. Es llevado por medio de aerodeslizadores a elevadores de cangilones de banda de goma hacia los silos de stock de cemento

3.2.1.8.- Stock y expedición de cemento

Normalmente se usan más silos de cemento que los distintos tipos de producto fabricados. La capacidad de stock total usual viene a oscilar de 15 días a casi 30 días.

Son silos cilíndricos, con aireación inferior, con salidas a cargas a granel bajo los mismos, con báscula en cada salida y filtros para desempolvado de los silos y de los sistemas de carga.

En el mercado español, se ensaca del 20 al 35 % de la producción total. Normalmente se usan sacos de papel de 2 hojas, de 35 kg de capacidad. Los sacos se disponen en palets de 1,5 t de capacidad total, palets que se encapuchan en plástico y se almacenan bajo cubierto y se cargan en camión o tren por medio de carretillas.

3.2.1.9.- Tipos de cemento

En cuanto a categorías resistentes, lo normal es que el reparto sea como sigue:

- Clase resistente 52,5 : 10 %
- Clase resistente 42,5 : 60 %
- Clase resistente 32,5 : 30 %

El cemento clase resistente 52,5 es un tipo CEM I 52,5 R, con 90/95 % de clinker, yeso y algo de caliza. Los cementos clase 42,5 suelen emplear como añadidos caliza, cenizas volantes y, en muy pocos casos, puzolanas, ya que en la Península sólo hay pocos yacimientos en Castilla La Mancha. En consecuencia, se tratan cementos tipo como los siguientes:

- CEM II/ A-V 42,5 R, : 75 % de clinker
- CEM II/ A-L 42, 5 R: 82 % de clinker
- CEM II/A-M (L,V) 42,5 R: 77 % de clinker

Y para los cementos clase 32,5, lo usual es el empleo de calizas como añadidos, y de cenizas volantes, de haberlas.

Los cementos serían:

- CEM II/B-L 32,5 N : con 70 % de clinker
- CEM II/B-M /L,V) 32,5 N: con 65 % de clinker
- CEM IV/ A (V) 32,5 N : con 60 % de clinker

Sólo algunas plantas emplean como añadido la escoria granulada de alto horno, nacional (en España sólo hay ya en Avilés) o importada de Francia o Italia.

3.2.1.10.- Datos de marcha

La tabla 9 muestra de forma resumida los principales datos de marcha de la instalación actual:

Tabla 9. Características funcionales de la "instalación actual"

FÁBRICA	ACTUAL	UNIDAD
CAPACIDAD	1000000	t/a CEMENTO
FACTOR CK/CTO[1]	75	%
MOL CRUDO	VERT	
MOL CEMTO	HORIZONTAL	
INTERCAMBIADOR	4	Nº ETAPAS
PRECALCINACION	25	%
COMB RESIDUOS[2]	5	%
REND ENFRIADOR[3]	55	%
COMB PPAL[4]	COKE	
REDUCC NOX	NO	
SISTEMA EXPERTO COND[5]	SI	
CONS TERMICO[6]	780	THE/T CK
CONS ELECTRICO[7]		
CLINKER TOTAL	70	KWH/T CK
CK A CTO[8]	52,3	KWH/T CEMTO
MOLIENDA CEMTO	41,0	KWH/T CEMTO
EXPEDICION	1	KWH/T CEMTO
TOTAL	94,3	KWH/T CEMTO
CALIDADES		
52,5	I 52,5 R	
42,5	II/A-V 42,5 R	
32,5	II/B-L 32,5 N	
GAMA		
52,5	10	%
42,5	60	%
32,5	30	%
FACTOR CK/CTO		
52,5	93	%
42,5	75	%
32,5	68	%
PROM CALC[9]	74,7	%
PERSONAL	100	

(1) relación clinker/cemento
(2) Combustible residuos
(3) Rendimiento del enfriador: Rendimiento energético del enfriador: Porcentaje entre las calorías/kg de clinker devueltas al horno con el aire caliente secundario o terciario para la combustión, y las calorías/kg clinker entradas Aal enfriador con el clinker caliente desde el horno
(4) Combustible principal: Aquel que entra en mayor proporción en el conjunto de combustibles usados. Generalmente, en el mechero del horno.
(5) Sistema experto de conducción de una instalación industrial, aquella que en sus reglas y parámetros incorpora experiencias anteriores o las extrae el mismo sistema de los resultados de la operación
(6) Consumo térmico, en kcal/ kg de clinker, o en thermias/tonelada de clinker
(7) Consumo eléctrico, en kwh/tonelada de clinker o kwh/tonelada de cemento
(8) Transposición del consumo eléctrico total a clinker a cemento. Igual al consumo electrico total a clinker multiplicado por el factor clinker/cemento, dividido por 100.
(9) Promedio calculado

3.2.2. Esquema de funcionamiento

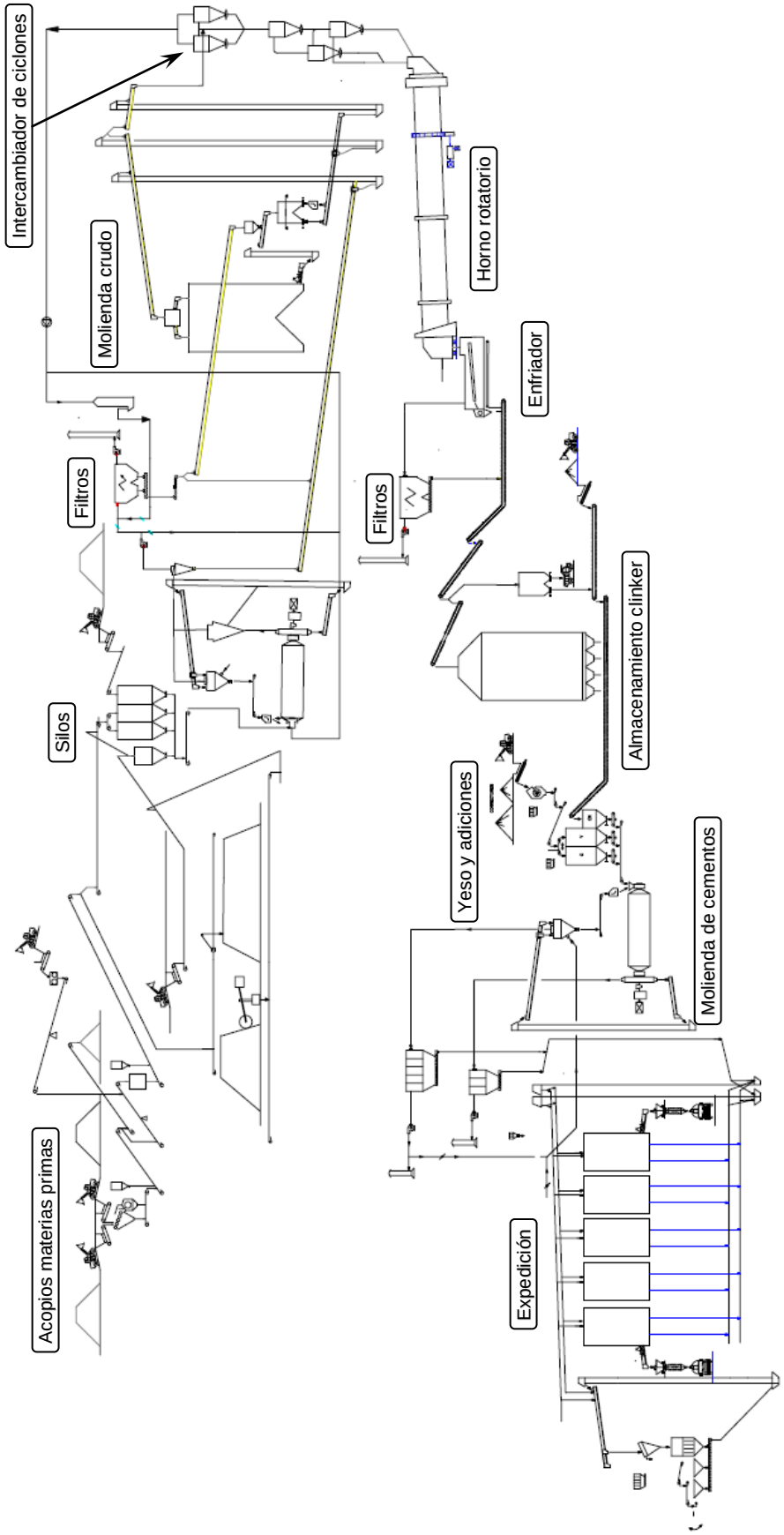

Figura 5. Esquema de funcionamiento (caso A)

3.2.3. Análisis de costes

3.2.3.1. Costes de inversión

Tabla 10. Reparto porcentual de los costes de inversión

CONCEPTO	KE	%	ACERO	PERSONAL	GASOIL	MAT EL	HORMIG
EQUIPOS	65.000	45	85	12	3		
MONTAJE Y ESTRUCTURAS	14.000	10	90	8	2	0	
OBRA CIVIL	43.000	29	5	10	5		80
ELECTRICIDAD Y CONTROL	18.400	13		15		85	
INGENIERIA	5.520	4		100			
TOTAL	145.920	100					

Tabla 11. Reparto absoluto de los costes de inversión

CONCEPTO	KE	%	ACERO	PERSONAL	GASOIL	MAT EL	HORMIG	TOTAL
EQUIPOS	65.000	45	55.250	7.800	1.950	0	0	65.000
MONTAJE Y ESTRUCTURAS	14.000	10	12.600	1.120	280	0	0	14.000
OBRA CIVIL	43.000	29	2.150	4.300	2.150	0	34.400	43.000
ELECTRICIDAD Y CONTROL	18.400	13	0	2.760	0	15.640	0	18.400
INGENIERIA	5.520	4	0	5.520	0	0	0	5.520
								145.920
TOTAL	145.920	100	70.000	21.500	4.380	15.640	34.400	145.920
	%		48	15	3	11	24	100

3.2.3.2. Terrenos – superficie construida

Tabla12. Superficie construida

TOTAL PARCELA	298000	M2
M	M	M2
25	45	1.125
12	6	72
15	7	105
25	25	625
11	11	121
5	8	50
25	40	1.000

	62	20	314
	94	20	1.880
	18	6	108
	18	10	180
	93	22	2.046
		25	491
		12	113
		30	707
		30	707
		45	1.590
		45	1.590
		45	1.590
		30	707
		12	113
		12	113
		12	113
	44	21	924
	21	21	441
	6	15	90
	36	20	720
	13	8	104
	13	8	104
TOTAL[1]			**17.845**
%			**6,0**

1 Este desglose proviene de la media general de instalaciones analizadas por los autores

3.2.3.3. Gastos amortización

Tabla 13. Gastos inversión

CONCEPTO	KE	%	ACERO	PERSONAL	GASOIL	MAT EL	HORMIG	TOTAL
EQUIPOS	65.000	45	55.250	7.800	1.950	0	0	65.000
MONTAJE Y ESTRUCTURAS	14.000	10	12.600	1.120	280	0	0	14.000
OBRA CIVIL	43.000	29	2.150	4.300	2.150	0	34.400	43.000
ELECTRICIDAD Y CONTROL	18.400	13	0	2.760	0	15.640	0	18.400
INGENIERIA	5.520	4	0	5.520	0	0	0	5.520
								145.920
TOTAL	145.920	100	70.000	21.500	4.380	15.640	34.400	145.920
	%		48	15	3	11	24	100

Tabla 14. Gastos anuales (considerada amortización de 20 años)

CONCEPTO	KE	%	ACERO	PERSONAL	GASOIL	MAT EL	HORMIG	TOTAL
EQUIPOS	3.250	45	2.763	390	98	0	0	3.250
MONTAJE Y ESTRUCTURAS	700	10	630	56	14	0	0	700
OBRA CIVIL	2.150	29	108	215	108	0	1.720	2.150
ELECTRICIDAD Y CONTROL	920	13	0	138	0	782	0	920
INGENIERIA	276	4	0	276	0	0	0	276
								7.296
TOTAL	7.296	100	3.500	1.075	219	782	1.720	7.296
	%		48	15	3	11	24	100

3.2.3.4. Costes de explotación

Tabla15. Costes de explotación

COSTES		€/t	€/AÑO
Personal (F)		4,20	4.201.341
Mat y servicios total		8,62	8.620.006
Mat y servicios variable		3,84	3.841.308
Personal		1,44	1.442.765
Materiales fabricacion		2,40	2.398.542
	Acero	1,92	1.918.834
	Refractario	0,48	479.708
Materiales y servicios fijos		4,78	4.778.699
Personal		3,82	3.822.959
Materiales manto	**Acero**	0,96	955.740
Combustibles	**Coke**	3,43	3.431.867
En eléctrica		5,66	5.657.400
Mat. Adición		5,47	5.470.072
Clinker ajeno		0,00	0
Otros (F)		1,29	1.287.866
	Personal	0,70	700.000
	Varios	0,59	590.000
Sacos	**Papel**	0,09	87.429
Palets	**Madera**	0,93	933.333
TOTAL		29,69	29.689.315
TOTAL CEMENTO POLVO		27,52	27.519.315

3.3. CASO B: Molienda de cemento. Capacidad: 1,000,000 t/año

3.3.1. Descripción del proceso operativo

En este caso, la planta recibe el clinker de fuera de la misma, generalmente importado. Se limita a moler y expedir el cemento producido.

3.3.1.1. Recepción y stock de materias primas

Habitualmente, el clinker es importado, ya que, para una planta independiente, no es fácil comprar clinker en el mercado interior. Los países fuente, en el momento presente, suelen ser China y Turquía.

La capacidad de los buques depende del calado del puerto más cercano a donde esté situada la planta, y, por supuesto, del coste del flete.

Al coste del clinker, en posición CIF, debe sumarse el de las operaciones de descarga, gastos de puerto, aduanas, pesaje y transporte a planta. Es conveniente efectuar el transporte rápidamente, para minimizar el tiempo de estancia del clinker en puerto, a fin de que no pierda calidad por lluvias o ambiente marino, y para ahorrar en gastos de ocupación de superficie.

Una vez el clinker en planta, se almacena en un stock, usualmente tipo DOMO o nave.

El yeso y los añadidos se compran triturados en el mercado interior y se almacenen en nave, o silos, previo a su paso a las tolvas de dosificación.

3.3.1.2. Molienda de cemento

De las tolvas y básculas de dosificación, una cinta alimenta al molino de los materiales que componen el cemento. Las cenizas volantes son alimentadas directamente al circuito de salida de la sección, al no necesitar molienda.

En la actualidad, la inmensa mayoría de las plantas usan molinos tubulares de bolas, en circuito cerrado con un turboseparador de alta eficacia, que permite controlar la finura del cemento, por medio de fuerza centrífuga.

El molino y el turboseparador son desempolvados por sendos filtros de mangas.

Dado que el clinker puede venir húmedo, es usual que la instalación de molienda disponga de un hogar de gases calientes, para el secado en el propio molino. Este no suele disponer de cámara de secado, sino que este proceso se produce en la primera cámara de molienda.

El producto final, cemento, tiene un tamaño de partícula del orden de 30 micras. Es llevado por medio de aerodeslizadores a elevadores de cangilones de banda de goma hacia los silos de stock de cemento.

3.3.1.3.- Stock y expedición de cemento

Normalmente se usan más silos de cemento que los distintos tipos de producto fabricados. La capacidad de stock total usual viene a oscilar de 15 días a casi 30 días.
Son silos cilíndricos, con aireación inferior, con salidas a cargas a granel bajo los mismos, con báscula en cada salida y filtros para desempolvado de los silos y de los sistemas de carga.

En el mercado español, se ensaca del 20 al 35 % de la producción total. Normalmente se usan sacos de papel de 2 hojas, de 35 kg de capacidad. Los sacos se disponen en palets de 1,5 t. de capacidad total, palets que se encapuchan en plástico y se almacenan bajo cubierto y se cargan en camión o tren por medio de carretillas.

3.3.1.4.- Tipos de cemento

En cuanto a categorías resistentes, lo normal, para una molienda independiente, es que el reparto sea como sigue:

- Clase resistente 52,5 : 5 %
- Clase resistente 42,5 : 65 %
- Clase resistente 32,5 : 30 %

El cemento clase resistente 52,5 es un tipo CEM I 52,5 R, con 90/95 % de clinker, yeso y algo de caliza.

El hecho de importar clinker obliga a fabricar cementos con el mínimo porcentaje de este material, a fin de abaratar los costes. Por ello, lo lógico es emplear el máximo de subproductos como añadidos.

Ahora bien, hay que contar con que en España no hay acceso para un independiente a materiales como escorias de alto horno o cenizas volantes que son monopolizados por las cementeras integrales, que han llegado a acuerdos exclusivos con los productores de estos materiales.

Por ello, o se producen cementos con añadidos calizos, y altos contenidos en clinker, o se usan materiales como cenizas de fondo, que podrían ser calificadas como puzolanas naturales calcinadas, ya que la Norma EN 197-1 no permite hoy su comercialización como cenizas de central térmica.

Los cementos clase 42,5 emplearían como añadidos, esas cenizas de fondo y, en muy pocos casos, puzolanas, ya que en la Península sólo hay pocos yacimientos en Castilla La Mancha.

En consecuencia, para cementos clase 42,5 se tratan cementos tipo como los siguientes:

- CEM II/ A-L 42,5 R : 82 % de clinker
- CEM II/ B-M (L,Q) 42, 5 R: 68 % de clinker

Y para los cemento clase 32,5, lo normal sería el empleo de cenizas de fondo

Los cementos serían:

- CEM IV/ B (Q) 32,5 N : con 50 % de clinker

3.3.1.5.- Datos de marcha

La tabla 16 muestra de forma resumida los principales datos de marcha de una instalación actual:

Tabla 16. Características de funcionamiento del caso de estudio "planta tipo B"

FÁBRICA	MOLIENDA	UNIDAD
CAPACIDAD	1000000	t/a CEMENTO
FACTOR CK/CTO[1]	63,7	%
MOL CRUDO	NO	
MOL CEMTO	BOLAS	
INTERCAMBIADOR	NO	Nº ETAPAS
PRECALCINACION	NO	%
COMB RESIDUOS[2]	NO	%
REND ENFRIADOR[3]	NO	%
COMB PPAL[4]	GAS/GAS-OIL	
RED NOX	NO	
SISTEMA EXPERTO COND[5]	SI	
CONS TERMICO[6]	10	THE/T CTO
CONS ELECTRICO[7]		
CLINKER TOTAL	0	KWH/T CK
CK A CTO[8]	1	KWH/T CEMTO
MOLIENDA CEMTO	42,4	KWH/T CEMTO
EXPEDICION	1	KWH/T CEMTO
TOTAL	44,4	KWH/T CEMTO
CALIDADES		
52,5	I 52,5 R	
42,5	II/ B-M (L,Q) 42,5 R	
32,5	IV/B (Q) 32,5 N	
GAMA		
52,5	5	%
42,5	65	%
32,5	30	%
F CK/CTO		
52,5	90	%
42,5	68	%
32,5	50	%
PROM CALC[9]	63,7	%
PERSONAL	26	

(1) relación clinker/cemento
(2) Combustible residuos
(3) Rendimiento del enfriador: Rendimiento energético del enfriador: Porcentaje entre las calorías/kg de clinker devueltas al horno con el aire caliente secundario o terciario para la combustión, y las calorías/kg clinker entradas Aal enfriador con el clinker caliente desde el horno
(4) Combustible principal: Aquel que entra en mayor proporción en el conjunto de combustibles usados. Generalmente, en el mechero del horno.
(5) Sistema experto de conducción de una instalación industrial, aquella que en sus reglas y parámetros incorpora experiencias anteriores o las extrae el mismo sistema de los resultados de la operación
(6) Consumo térmico, en kcal/ kg de clinker, o en thermias/tonelada de clinker
(7) Consumo eléctrico, en kwh/tonelada de clinker o kwh/tonelada de cemento
(8) Transposición del consumo eléctrico total a clinker a cemento. Igual al consumo electrico total a clinker multiplicado por el factor clinker/cemento, dividido por 100.
(9) Promedio calculado

3.3.2. Esquemas de funcionamiento

3.3.2.1. Procesado materias primas

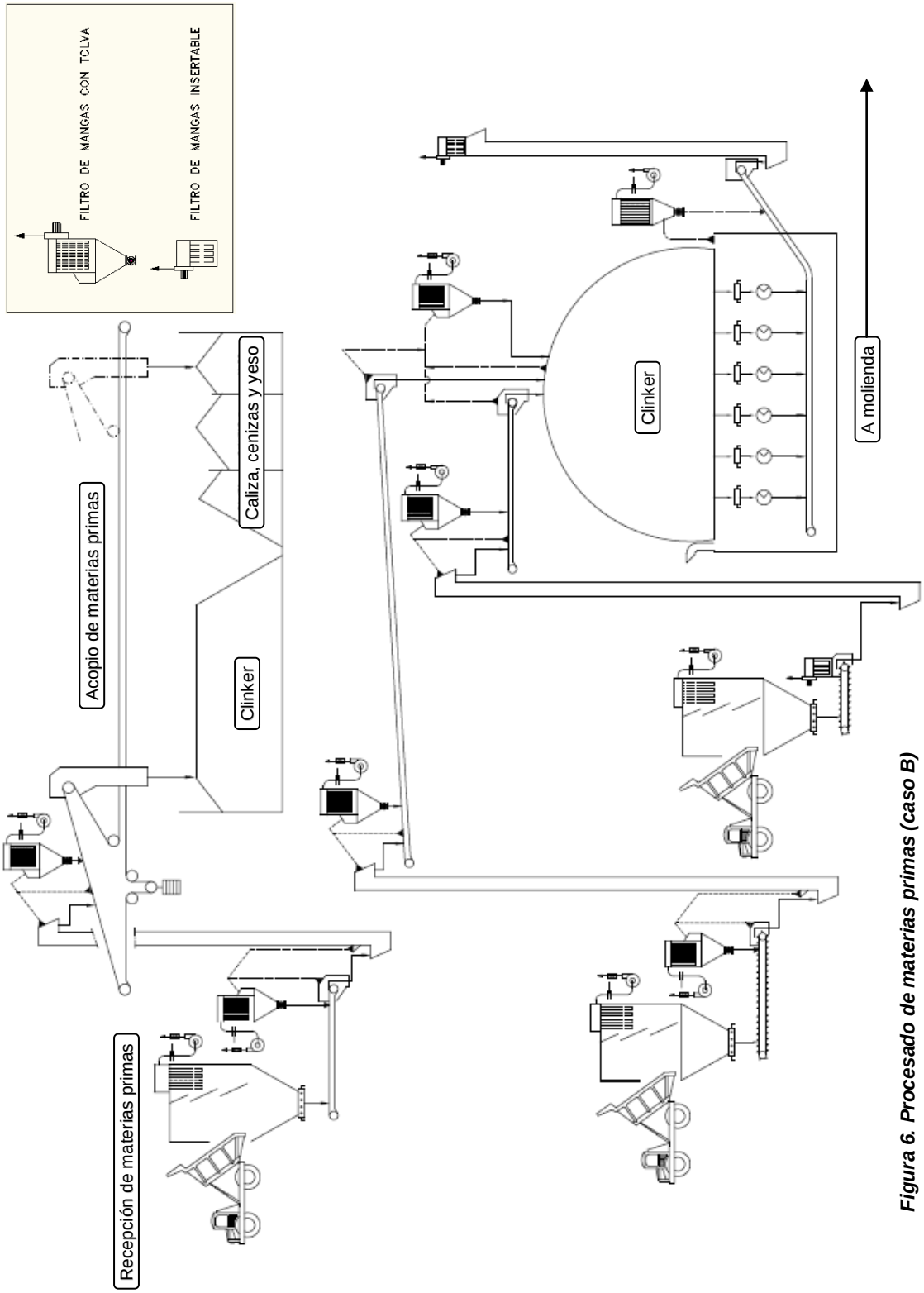

Figura 6. Procesado de materias primas (caso B)

3.3.2.2. Esquema tolvas

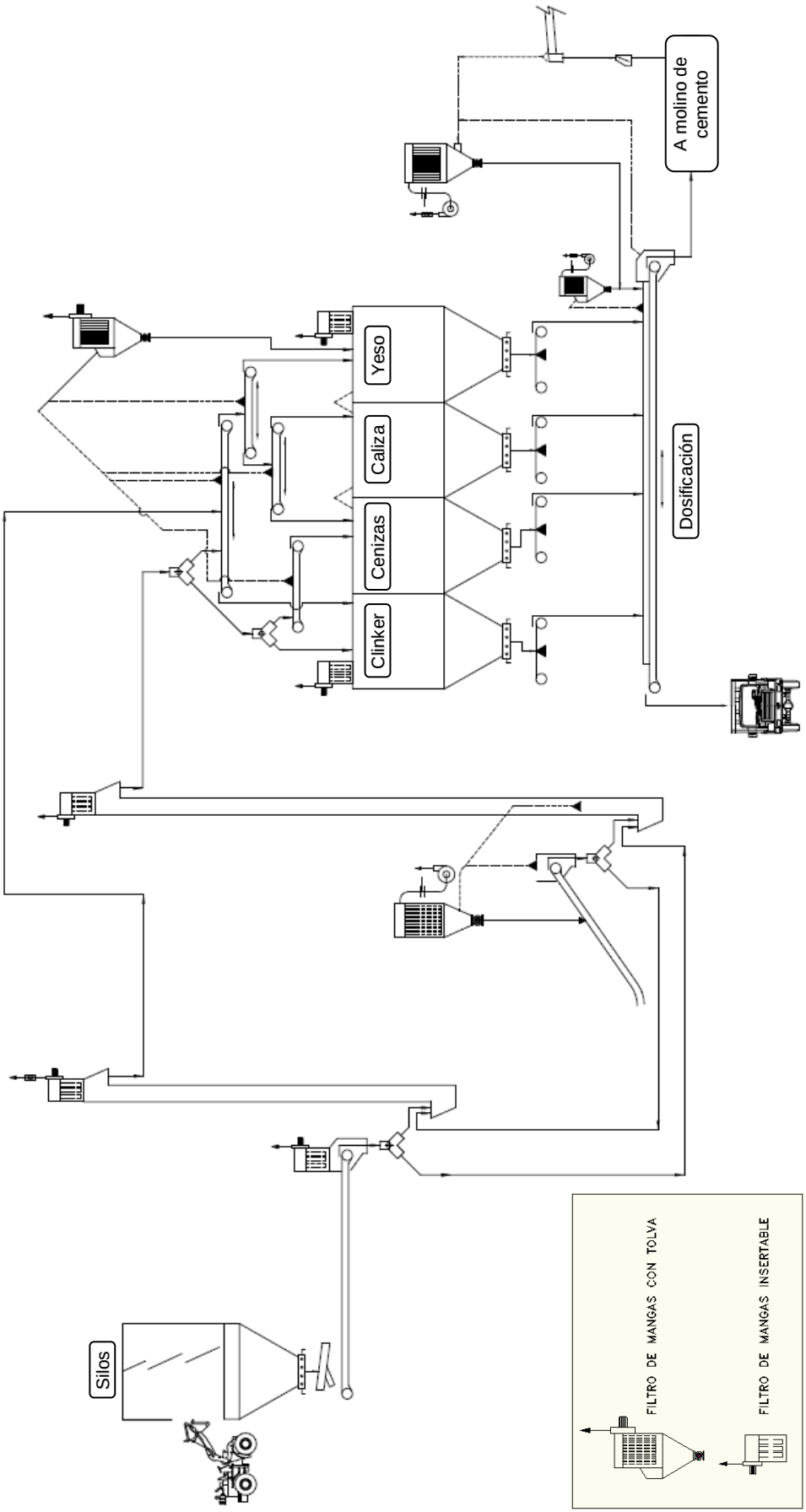

Figura 7. Esquema tolvas (caso B)

3.3.2.3. Esquema molienda

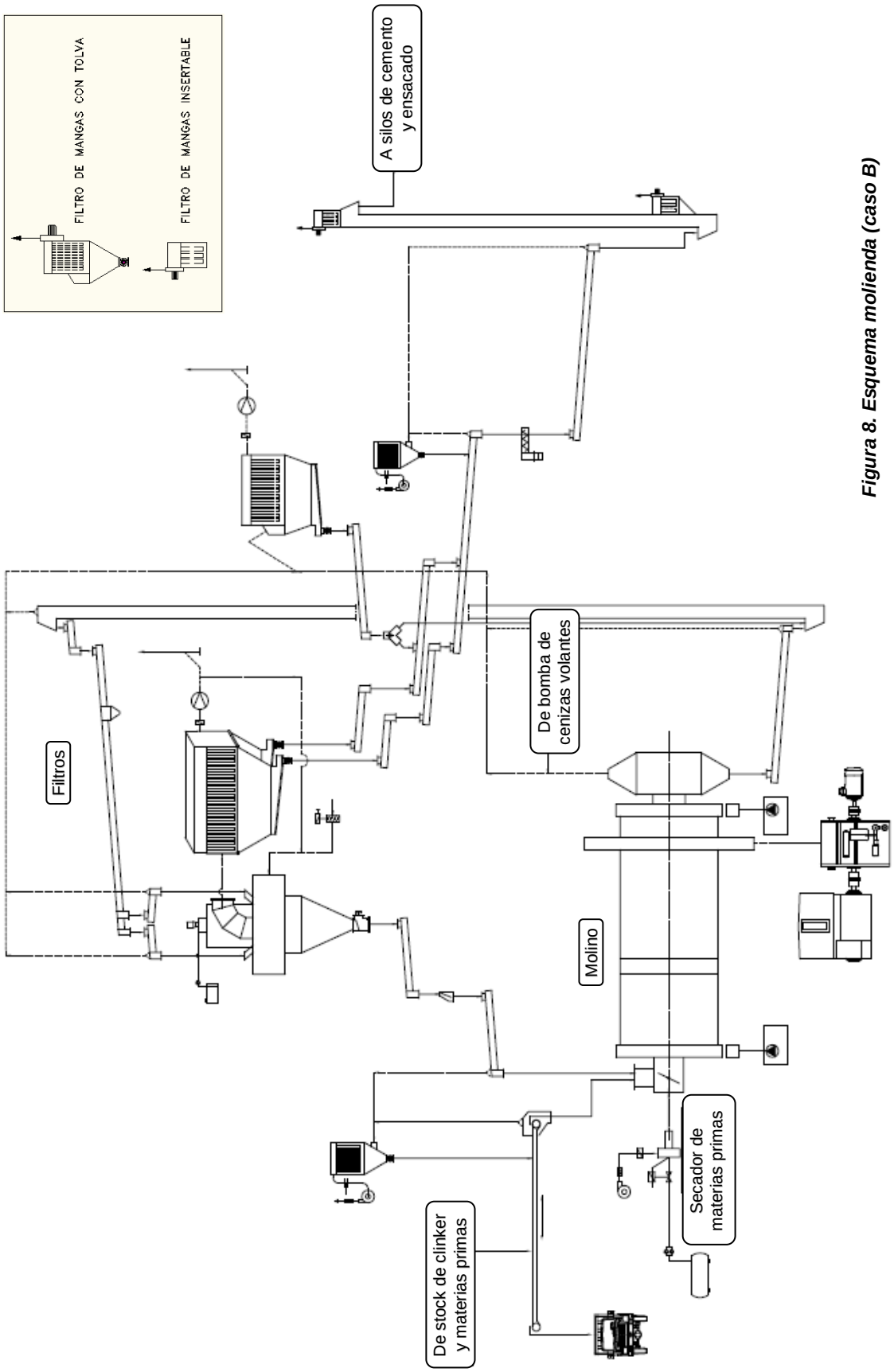

Figura 8. Esquema molienda (caso B)

3.3.2.4. Esquema silos

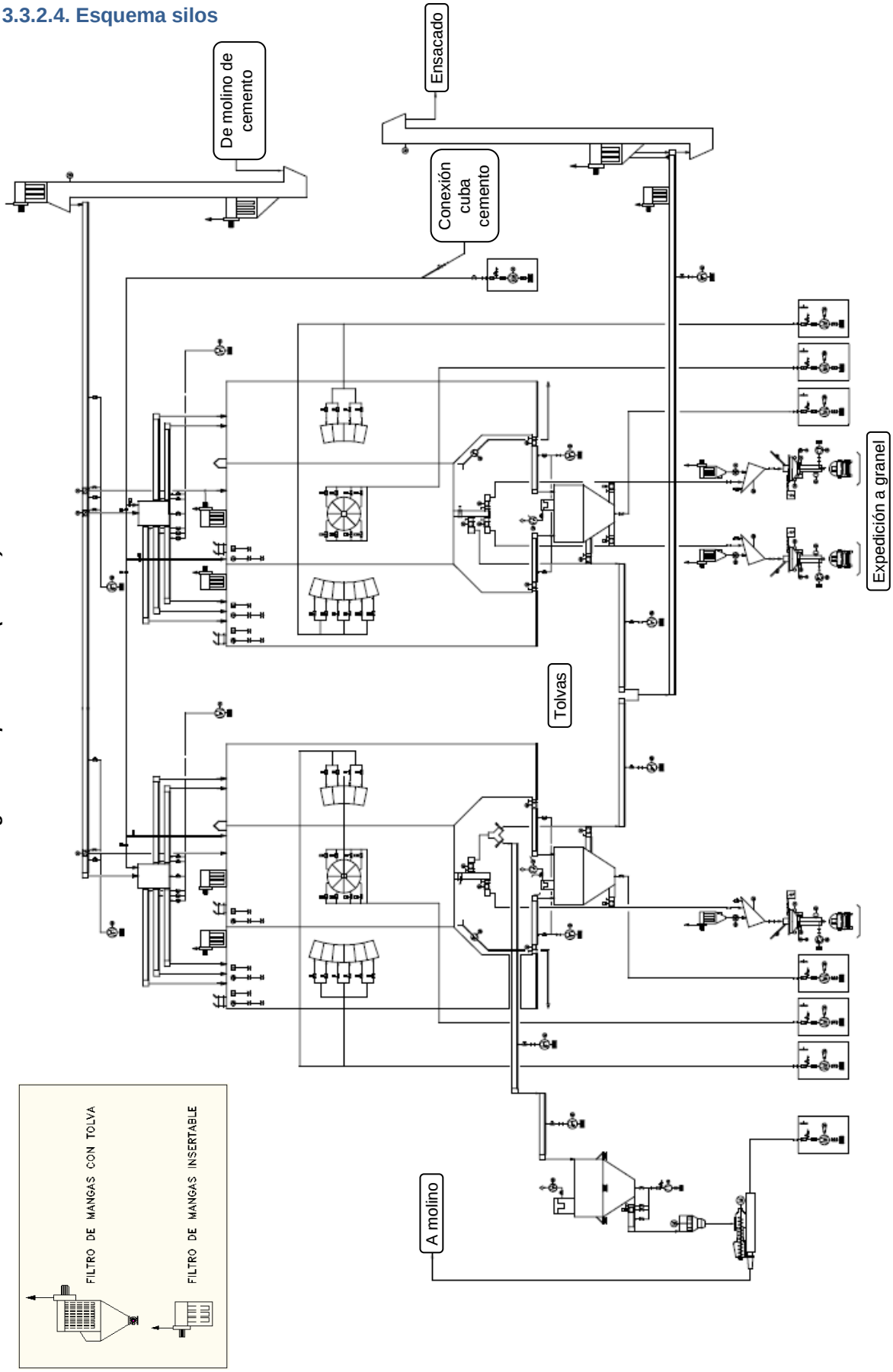

Figura 9. Esquema silos (claso B)

3.3.2.5. Esquema ensacado – paletizado

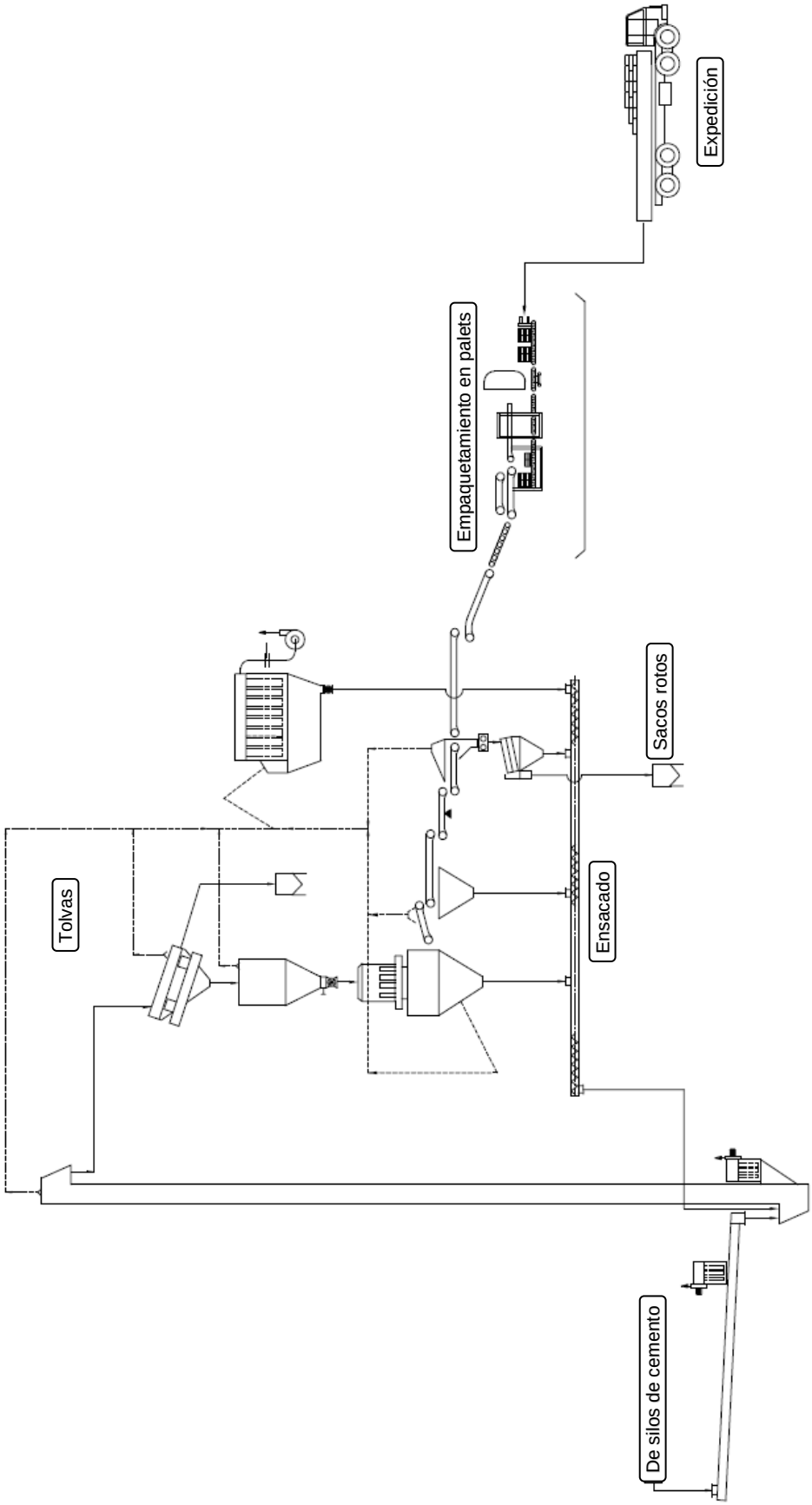

Figura 10. Esquema ensacado-paletizado (caso B)

3.3.3. Análisis de costes

3.3.3.1. Costes de inversión total

Tabla 17. Desglose de costes de inversión

EQUIPOS	€	%
Transporte interno y tolvas alimentación	2.476.000	
Filtros	532.000	
Silos cemento	724.000	
Ensacadora y paletizadora	837.612	
Compresores	300.000	
Básculas Comerciales	210.685	
Laboratorio	346.423	
Red protección incendios	57.000	
Bolas molino	410.000	
Repuestos	227.000	
Hogar secadero materias primas	177.000	
Equipos informatica + vigilancia + instalaciones	150.000	
Mobiliario oficinas y sala control	150.000	
Subtotal	6.597.720	16
Sección Molino (llave en mano)	9.800.000	24
SUBTOTAL EQUIPOS	14.668.936	37
INSTALACIONES		
Instalación eléctrica	4.540.000	11
Control y mando	250.000	1
Subtotal	4.790.000	12
Estruct y cerramiento + Montaj mecán	4.950.000	12
Subtotal	4.950.000	12
SUBTOTAL INSTALACIONES	9.740.000	24
TOTAL EQUIPOS E INSTALACIONES	24.408.936	61
TOTAL INGENIERIA	900.000	2
OBRA CIVIL E INFRAESTRUCTURAS		
Urbanizacion, carretera y Plan Parcial	2.500.000	6
Subtotal accesos	2.500.000	6
Obra Civil (Obra civil+Domo+Urb.interior+Oficinas)	11.000.000	27
TOTAL OBRA CIVIL E INFRAESTRUCTURAS	13.500.000	34

TOTAL SIN TERRENOS	38.808.936	97
Terrenos	735.000	2
TOTAL INVERSION MATERIAL	39.543.936	99
GASTOS OBRA	600.000	1
TOTAL INVERSION	40.143.936	100
t/año	1.000.000	
€/t/año	40	

Tabla 18. Reparto porcentual de costes de inversión

EQUIPOS	€	%	ACERO	PERSONAL	GASOIL	MAT EL	HORMIG
SUBTOTAL EQUIPOS	14.668.936	37	85	12	3	0	
INSTALACIONES							
Instalación eléctrica+control	4.790.000	12	0	15	0	85	
Estruct y cerramiento + Montaj mecán	**4.950.000**	12	90	8	2	0	
SUBTOTAL INSTALACIONES	9.740.000	24					
TOTAL EQUIPOS E INSTALACIONES	24.408.936	61					
TOTAL INGENIERIA	900.000	2		100			
OBRA CIVIL E INFRAESTRUCTURAS							
Urbanizacion, carretera y Plan Parcial	**2.500.000**	6		15	7		78
Obra Civil (Obra civil+Domo+Urb.interior+Oficinas)	**11.000.000**	27		15	7		78
TOTAL OBRA CIVIL E INFRAESTRUCTURAS	13.500.000	34					
TOTAL SIN TERRENOS	38.808.936	97					
Terrenos	**735.000**	2					
TOTAL INVERSION MATERIAL	39.543.936	99					
GASTOS OBRA	600.000	1	10	60	20		10
TOTAL INVERSION	40.143.936	100					

RATIO INVERSION ESPECIFICA	40,1	€/t

Tabla 19. Reparto absoluto de costes de inversión

EQUIPOS	€	ACERO	PERSONAL	GASOIL	MAT EL	HORMIG	TERR	TOTAL
SUBTOTAL EQUIPOS	14.668.936	12.468.595	1.760.272	440.068	0	0	0	14.668.936
INSTALACIONES								
Instalación eléctrica+control	4.790.000	0	718.500	0	4.071.500	0	0	4.790.000
Estruct y cerramiento + Montaj mecán	**4.950.000**	4.455.000	396.000	99.000	0	0	0	4.950.000
SUBTOTAL INSTALACIONES	9.740.000	4.455.000	1.114.500	99.000	4.071.500	0	0	9.740.000
TOTAL EQUIPOS E INSTALACIONES	24.408.936	16.923.595	2.874.772	539.068	4.071.500	0	0	24.408.936
TOTAL INGENIERIA	900.000		900.000					900.000
OBRA CIVIL E INFRAESTRUCTURAS								
Urbanizacion, carretera y Plan Parcial	**2.500.000**							
Obra Civil (Obra civil+Domo+Urb.interior+Oficinas)	**11.000.000**							
TOTAL OBRA CIVIL E INFRAESTRUCTURAS	13.500.000	0	2.025.000	945.000	0	10.530.000	0	13.500.000
TOTAL SIN TERRENOS	38.808.936	16.923.595	5.799.772	1.484.068	4.071.500	10.530.000	0	38.808.936
Terrenos	**735.000**						735.000	735.000
TOTAL INVERSION MATERIAL	39.543.936	16.923.595	5.799.772	1.484.068	4.071.500	10.530.000	735.000	39.543.936
GASTOS OBRA	600.000	60.000	360.000	120.000	0	60.000	0	600.000
TOTAL INVERSION	40.143.936	16.983.595	6.159.772	1.604.068	4.071.500	10.590.000	735.000	40.143.936
	%	42	15	4	10	26	2	100

Tabla 20. Desglose anual de costes de inversión (considerada amortización en 20 años)

EQUIPOS	€	ACERO	PERSONAL	GASOIL	MAT EL	HORMIG	TERR	TOTAL
SUBTOTAL EQUIPOS	733.447	623.430	88.014	22.003	0	0	0	733.447
INSTALACIONES	0	0	0	0	0	0	0	0
Instalación eléctrica+control	239.500	0	35.925	0	203.575	0	0	239.500
Estruct y cerramiento + Montaj mecán	247.500	222.750	19.800	4.950	0	0	0	247.500
SUBTOTAL INSTALACIONES	487.000	222.750	55.725	4.950	203.575	0	0	487.000
TOTAL EQUIPOS E INSTALACIONES	1.220.447	846.180	143.739	26.953	203.575	0	0	1.220.447
TOTAL INGENIERIA	45.000	0	45.000	0	0	0	0	45.000
OBRA CIVIL E INFRAESTRUCTURAS								
Urbanizacion, carretera y Plan Parcial	125.000	0	0	0	0	0	0	0
Obra Civil (Obra civil+Domo+Urb.interior+Oficinas)	550.000	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL OBRA CIVIL E INFRAESTRUCTURAS	675.000	0	101.250	47.250	0	526.500	0	675.000
TOTAL SIN TERRENOS	1.940.447	846.180	289.989	74.203	203.575	526.500	0	1.940.447
Terrenos	36.750	0	0	0	0	0	36.750	36.750
TOTAL INVERSION MATERIAL	1.977.197	846.180	289.989	74.203	203.575	526.500	36.750	1.977.197
GASTOS OBRA	30.000	3.000	18.000	6.000	0	3.000	0	30.000
TOTAL INVERSION	2.007.197	849.180	307.989	80.203	203.575	529.500	36.750	2.007.197

3.3.3.2. Terrenos – superficie construida

Tabla 21. Desglose de superficie construida

TOTAL PARCELA		50000	M2
	M	M	M2
NAVE MP	63	43	2.709
MOLINO	23	20	460
NAVE ENS	30	49	1.470
	13	8	104
SILO		18	254
		18	254
TOLVAS	18	18	324
DOMO		42	1.385
TOLVAS DOMO	15	15	225
PASARELAS	30	15	450
	15	4	60
OFICINAS	15	30	450
BASCULAS	15	6	90
PARKING	100	20	2.000
			10.236
VARIOS			1.024
TOTAL[1]			11.260
%			23

1 Este desglose proviene de la media general de instalaciones analizadas por los autores

3.3.3.3. Costes de explotación

Tabla 22. Desglose de costes de explotación

COSTES		€/t	€/AÑO
Personal		2,59	2.590.000
Materiales y servicios total		5,23	5.230.000
Mat y servicios variables		3,18	3.180.000
Personal		1,59	1.590.000
Materiales fabricacion		1,59	1.590.000
	Acero	1,50	1.500.000
	Refractario	0,09	90.000
Materiales y servicios fijos		2,05	2.050.000
Personal		1,59	1.590.000
Mat mto	**Acero**	0,46	460.000
Combustibles	**Gasoil**	810	1.053.000
En eléctrica		3,02	3.020.000
Mat. Adición		3,61	3.610.000
Clinker ajeno		28,87	28.870.000
Otros		3,00	3.000.000
	Personal	2,00	2.000.000
	Varios	1,00	1.000.000
Sacos	**Papel**	0,08	80.000
Palets	**Madera**	0,95	950.000
TOTAL COSTE EXPLOTACIÓN		48,20	48.200.000
TOTAL CEMENTO POLVO		46,10	46.100.000

3.4. CASO C: Planta integral MTD. Capacidad: 1,000,000 t/año

3.4.1. Descripción del proceso operativo

En este caso, la planta incorpora todas las tecnologías y principios asociados al concepto de "Mejores Técnicas Disponibles" del IPPC, en el nivel actual.

3.4.1.1.-Canteras

En el proceso del cemento, el material principal del crudo es la caliza. Son necesarios otros materiales como la arcilla o pizarra (aportadores de sílice y alúmina) y un aportador de hierro como el propio mineral de hierro o cenizas de pirita o similar.

En la cantera el material se obtiene por voladura, caso de ser homogéneo y duro (caliza, normalmente), o por ripado (caso arcilla).

Los frentes de caliza suelen ser de unos 12 a 20 m de altura. El material volado, de un tamaño del orden de 1000 mm se traslada a un sistema de trituración para reducirlo de tamaño, a unos 50-70 mm.

La trituración puede hacerse conjuntamente de caliza con otro componente (arcilla) o bien, caso de ser la arcilla muy húmeda, ser tratada ésta independientemente, en trituradoras de rodillos dentados, usualmente en 2 etapas, debido a su bajo coeficiente de reducción.

Una vez triturado, el material se envía a planta por cinta, camión, teleférico, etc.

3.4.1.2.-Stock y prehomogenización

El material triturado se almacena en parques al aire libre o cubiertos. Puede emplearse., para casos de materiales poco homogéneos, un sistema de prehomogeneización, o mezclado del material triturado, donde se forman capas de material en sentido longitudinal y se recogen en sentido transversal, mezclando así las distintas capas que forman una pila.

3.4.1.3.- Molienda y secado del crudo

Del parque de prehomogeneización, el material se lleva a la sección de molienda y secado de crudo. Allí es reducido de tamaño hasta unas 80 micras, y secado con ayuda de los gases calientes de escape del sistema de horno-intercambiador.

Para la molienda y secado de crudo se emplean molinos verticales, de rodillos, dotados de turboseparadores de alta eficacia.

La harina cruda y seca tiene una composición aproximada como la siguiente:

- Caliza: 80 %
- Arcilla: 19 %
- Corrector hierro: 1 %

La humedad de entrada del 8 %, por ejemplo, es reducida a no más del 0,5-1%

3.4.1.4.- Homogenización y secado del crudo

La harina seca se lleva al sistema de homogeneización, donde se obtiene un producto muy regular que facilita la cocción uniforme. Ello se consigue por medio de un sistema controlado de fluencia de las distintas capas de material en el silo, con una mezcla con aire comprimido en la parte de salida del filtro, con o sin cámara separada. El stock de harina viene a suponer el equivalente a 1 a tres días de marcha del horno.

3.4.1.5.- Cocción

La harina se lleva a la parte superior de un intercambiador de ciclones, en el caso MTD, de cinco etapas sucesivas, donde se produce la transferencia de calor gases- crudo, de forma que éste es calentado, secado de la humedad residual, pierde el agua de constitución de las arcillas, y finalmente, comienza a ser descarbonatado.

Los gases calientes salen del intercambiador por la parte superior, y se llevan a la sección de molienda de crudo, o, en caso de paro de ésta, a un filtro de mangas, tras una reducción de temperatura en un intercambiador de calor gases-aire.

En la base del intercambiador se inyecta una parte del combustible total del horno, en el sistema de precalcinación, con empleo de aire de combustión que viene desde el cabezal del horno bien a través de un conducto *ad hoc* de aire terciario. La inyección de combustible se hace en varias etapas, para reducir la emisión de NOx

El crudo es casi totalmente descarbonatado con ayuda de esta precalcinación, y entra al horno a unos 900 º C.

En el horno rotativo avanza, mientras se completan las reacciones de descarbonatación, fusión y clinkerización, o formación de los distintos minerales, mezcla varias de sílice y óxido de cal, que componen el clinker, componente principal del cemento.

El combustible se inyecta en el cabezal por medio de un mechero. Hoy el combustible habitual es coke de petróleo. La temperatura de llama alcanza los 2,000 º C.

Bajo el principio MTD, el porcentaje de combustible total que se inyecta en el precalcinador viene a ser del 70 %, y un 30 % en el mechero del cabezal. Se usan combustibles secundarios, o residuos, como aceites usados, pinturas, disolventes y algo de biomasa. En general, todo en el precalcinador, y en un porcentaje del orden del 25 % del consumo térmico total.

Para una planta como la elegida, de 1,000,000 toneladas anuales de cemento, el horno viene a tener una capacidad de 2,500 t/d, y el consumo térmico total viene a ser de unas 720 the/t de clinker.

El clinker sale del horno a unos 1500 º C, y cae a un enfriador de parrilla, de alta eficacia, de control de inyección de aire por placa, donde se enfría hasta unos 100 º C, por intercambio con aire. Parte de este aire entra al horno por efecto del tiro, como aire secundario de combustión, parte va al conducto de aire terciario y la parte sobrante va a la atmósfera, tras ser depurado en el correspondiente filtro.

Un transportador de placas lleva el clínker hasta un stock de tipo DOMO o nave, para mantenerlo a cubierto. La capacidad es muy variable, dependiendo del tipo de mercado y necesidades de la planta.

3.4.1.6.- Añadidos al cemento

El yeso se tritura, normalmente, en una instalación dotada de machacadora de impactos, hasta unos 25 mm de tamaño. Lo mismo sucede con la caliza, y con la puzolana, si se usa como añadido (depende de la zona, si existen yacimientos).

La escoria granulada de alto horno se almacena tal cual llega, en tamaño de 3 mm.

La ceniza volante es almacenada en silos, donde descargan las cubas o el tren, de haberlo.

El yeso, la caliza, puzolana, escoria, son llevados a tolvas de dosificación a entrada al molino de cemento, dotadas de básculas pesadoras, lo mismo que el clinker.

3.4.1.7.- Molienda de cemento

De las tolvas y básculas de dosificación, una cinta alimenta al molino de los materiales que componen el cemento. Las cenizas volantes son alimentadas directamente al circuito de salida de la sección, al no necesitar molienda.

Según la premisa MTD, el molino es vertical, de rodillos, con un turboseparador de alta eficacia, que permite controlar la finura del cemento, por medio de fuerza centrífuga.

El molino y el turboseparador son desempolvados en un filtro de mangas. Un circuito mecánico recircula los elementos gruesos no arrastrados por el aire desde la mesa de molienda al turboseparador.

El producto final, cemento, tiene un tamaño de partícula del orden de 30 micras. Es llevado por medio de aerodeslizadores a elevadores de cangilones de banda de goma hacia los silos de stock de cemento

3.4.1.8.- Stock y expedición de cemento

Normalmente se usan más silos de cemento que los distintos tipos de producto fabricados. La capacidad de stock total usual viene a oscilar de 15 días a casi 30 días.

Son silos cilíndricos, con aireación inferior, con salidas a cargas a granel bajo los mismos, con báscula en cada salida y filtros para desempolvado de los silos y de los sistemas de carga.

En el mercado español, se ensaca del 20 al 35 % de la producción total. Normalmente se usan sacos de papel de 2 hojas, de 35 kg de capacidad. Los sacos se disponen en palets de 1,5 t de capacidad total, palets que se encapuchan en plástico y se almacenan bajo cubierto y se cargan en camión o tren por medio de carretillas.

3.4.1.9.- Tipos de cemento

En cuanto a categorías resistentes, lo normal es que el reparto sea como sigue:

- Clase resistente 52,5 : 10 %
- Clase resistente 42,5 : 60 %
- Clase resistente 32,5 : 30 %

El cemento clase resistente 52,5 es un tipo CEM I 52,5 R, con 90/95 % de clinker, yeso y algo de caliza.

La premisa MTD exige el máximo aprovechamiento de residuos como añadidos al cemento. Según ello:

Los cementos clase 42,5 emplearían como añadidos, cenizas volantes y, en muy pocos casos, puzolanas, ya que en la Península sólo hay pocos yacimientos en Castilla La Mancha. En momentos donde no hubiera cenizas volantes por paro de la central térmica, o por falta de cantidades suficientes, podrían emplearse también cenizas de fondo.

Dado que estas cenizas aún no están reguladas como añadidos activos específicamente, se identifican por semejanza como " puzolanas naturales calcinadas", Q.

En consecuencia, se tratan cementos tipo como los siguientes:

- CEM II/ B-V 42,5 R : 68 % de clinker
- CEM II/ B-M (V,Q) 42, 5 R: 68 % de clinker

Y para los cemento clase 32,5, lo normal sería el empleo de cenizas volantes y de fondo.

Los cementos serían:

- CEM IV/ B (V,Q) 32,5 N : con 50 % de clinker

3.4.1.10.- Datos de marcha

La tabla 23 muestra de forma resumida los principales datos de marcha de una instalación actual:

Tabla 23. Características de funcionamiento de caso de estudio "planta tipo C"

FÁBRICA	MTD	UNIDAD
CAPACIDAD	**1000000**	**t/a CEMENTO**
FACTOR CK/CTO[1]	**65**	**%**
MOL CRUDO	**VERT**	
MOL CEMTO	**VERT**	
INTERCAMBIADOR	**5**	**Nº ETAPAS**
PRECALCINACION	**70**	**%**
COMB RESIDUOS[2]	**25**	**%**
REND ENFRIADOR[3]	**65**	**%**
COMB PPAL[4]	**COKE**	
RED NOX	**SI**	
SISTEMA EXPERTO COND[5]	**SI**	
CONS TERMICO[6]	**720**	**THE/T CK**
CONS ELECTRICO[7]		
CLINKER TOTAL	**70**	**KWH/T CK**
CK A CTO[8]	**45,36**	**KWH/T CEMTO**

MOLIENDA CEMTO	**35,4**	**KWH/T CEMTO**
EXPEDICION	**1**	**KWH/T CEMTO**
TOTAL	**81,76**	**KWH/T CEMTO**
CALIDADES		
52,5	**I 52,5 R**	
42,5	**II/ B-M (L,Q)42,5 R**	
32,5	**IV/B (Q) 32,5 N**	
GAMA		
52,5	**10**	**%**
42,5	**60**	**%**
32,5	**30**	**%**
F CK/CTO		
52,5	**90**	**%**
42,5	**68**	**%**
32,5	**50**	**%**
PROM CALC[9]	**64,8**	**%**
PERSONAL	**100**	

(1) relación clinker/cemento
(2) Combustible residuos
(3) Rendimiento del enfriador: Rendimiento energético del enfriador: Porcentaje entre las calorías/kg de clinker devueltas al horno con el aire caliente secundario o terciario para la combustión, y las calorías/kg clinker entradas Aal enfriador con el clinker caliente desde el horno
(4) Combustible principal: Aquel que entra en mayor proporción en el conjunto de combustibles usados. Generalmente, en el mechero del horno.
(5) Sistema experto de conducción de una instalación industrial, aquella que en sus reglas y parámetros incorpora experiencias anteriores o las extrae el mismo sistema de los resultados de la operación
(6) Consumo térmico, en kcal/ kg de clinker, o en thermias/tonelada de clinker
(7) Consumo eléctrico, en kwh/tonelada de clinker o kwh/tonelada de cemento
(8) Transposición del consumo eléctrico total a clinker a cemento. Igual al consumo electrico total a clinker multiplicado por el factor clinker/cemento, dividido por 100.
(9) Promedio calculado

3.4.2. Esquema de funcionamiento

3.4.2.1. Esquema de flujos

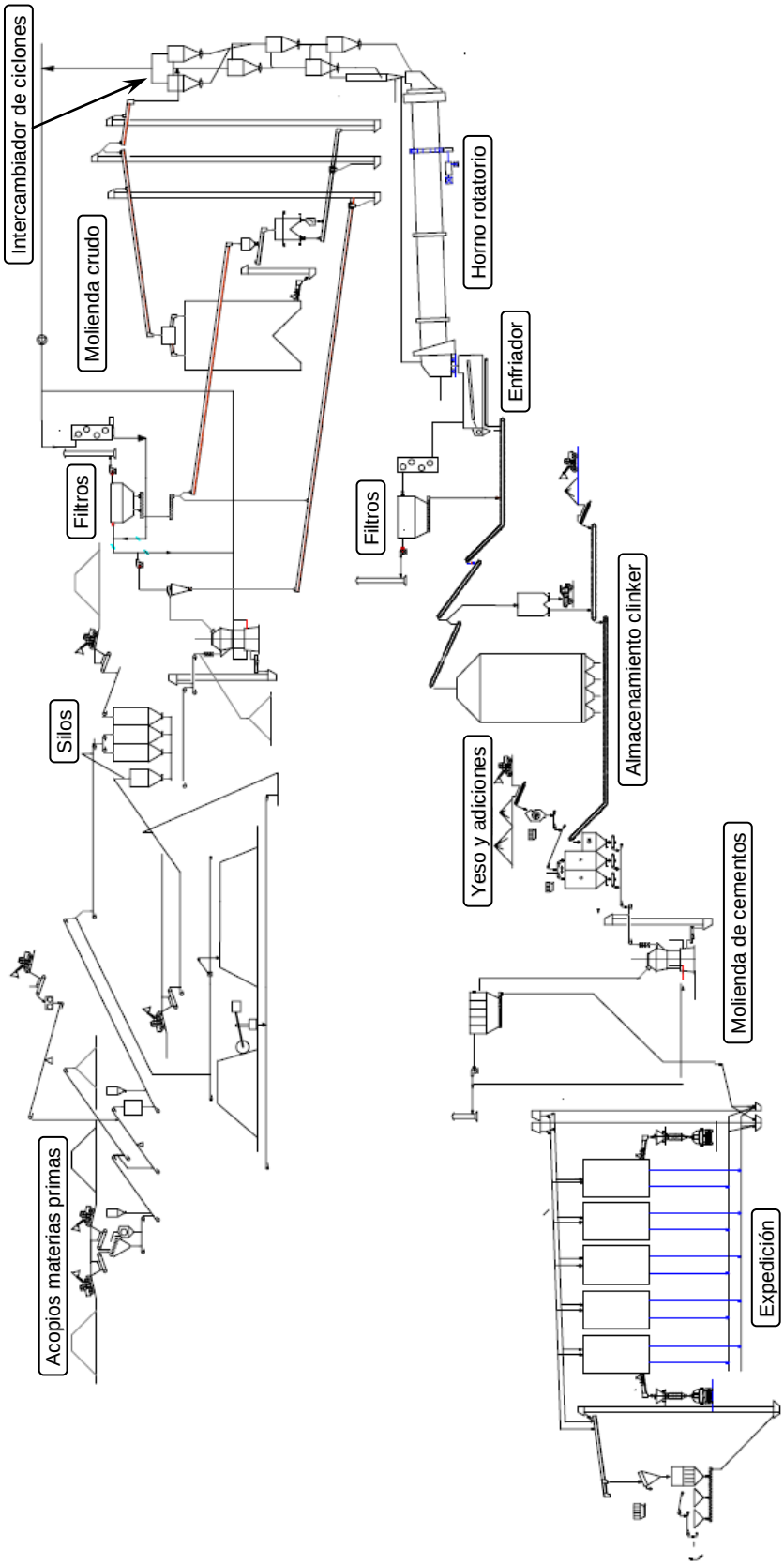

Figura 11. Esquema de funcionamiento (caso C)

3.4.3. Análisis de costes

3.4.3.1. Costes de inversión

Tabla 24 a y b. Desglose porcentual y absoluto de los costes de inversión

CONCEPTO	K€	%	ACERO	PERSONAL	GASOIL	MAT EL	HORMIG
EQUIPOS	73.600	46	85	12	3		
MONTAJE Y ESTRUCTURAS	15.018	9	90	8	2	0	
OBRA CIVIL	46.230	29	5	10	5		80
ELECTRICIDAD Y CONTROL	18.400	12		15		85	
INGENIERIA	5.520	3		100			
TOTAL	158.768	100					

CONCEPTO	K€	%	ACERO	PERSONAL	GASOIL	MAT EL	HORMIG	TOTAL
EQUIPOS	73.600	46	62.560	8.832	2.208	0	0	73.600
MONTAJE Y ESTRUCTURAS	15.018	9	13.516	1.201	300	0	0	15.018
OBRA CIVIL	46.230	29	2.312	4.623	2.312	0	36.984	46.230
ELECTRICIDAD Y CONTROL	18.400	12	0	2.760	0	15.640	0	18.400
INGENIERIA	5.520	3	0	5.520	0	0	0	5.520
								158.768
TOTAL	158.768	100	78.388	22.936	4.820	15.640	36.984	158.768
	%		49	14	3	10	23	100

3.4.3.2. Terrenos – superficie construida

Tabla 25. Desglose de superficie construida

TOTAL PARCELA		298000	M2
	M	M	M2
	25	45	1.125
	12	6	72
	15	7	105
	25	25	625
	11	11	121
	5	8	50
	25	40	1.000
	62	20	314
	94	20	1.880
	18	6	108
	18	10	180
	93	22	2.046
		25	491
		12	113
		30	707
		30	707
		45	1.590
		45	1.590
		45	1.590
		30	707
		12	113
		12	113
		12	113
	44	21	924
	21	21	441
	6	15	90
	36	20	720
	13	8	104
	13	8	104
TOTAL[1]			17.845
%			6,0

1 Este desglose proviene de la media general de instalaciones analizadas por los autores

3.4.3.3. Gastos amortización

Tabla 26. Desglose anual de costes de inversión (considerada amortización en 20 años)

CONCEPTO	KE	%	ACERO	PERSONAL	GASOIL	MAT EL	HORMIG	TOTAL
EQUIPOS	3.680	46	3.128	442	110	0	0	3.680
MONTAJE Y ESTRUCTURAS	751	9	676	60	15	0	0	751
OBRA CIVIL	2.312	29	116	231	116	0	1.849	2.312
ELECTRICIDAD Y CONTROL	920	12	0	138	0	782	0	920
INGENIERIA	276	3	0	276	0	0	0	276
								7.938
TOTAL	7.938	100	3.919	1.147	241	782	1.849	7.938
	%		49	14	3	10	23	100

3.4.3.4. Costes de explotación

Tabla 27. Desglose de costes de explotación

COSTES		€/t	€/AÑO
Personal (F)		4,40	4.400.000
Mat y servicios total		7,66	7.660.000
Mat y servicios variable		3,36	3.360.000
Personal		1,25	1.250.000
Materiales fabricacion		2,11	2.110.000
	Acero	1,69	1.688.000
	Refractario	0,42	422.000
Materiales y servicios fijos		4,29	4.290.000
Personal		3,44	3.440.000
Materiales manto	Acero	0,86	860.000
Combustibles	Coke	2,17	2.170.000
En eléctrica		4,91	4.910.000
Mat. Adición		5,35	5.350.000
Clinker ajeno		0,00	0
Otros (F)		1,18	1.180.000
	Personal	0,59	590.000
	Varios	0,59	590.000
Sacos	Papel	0,09	90.000
Palets	Madera	0,93	930.000
TOTAL		26,15	26.150.000
TOTAL CEMENTO POLVO		23,96	23.960.000

3.5. Datos generales

Para concluir el presente informe, se recopilan, en las siguientes tablas, los datos generales más representativos, relativos a los tres tipos de fábricas de cemento analizados.

3.5.1. Empleo de materias primas

Tabla 28. Empleo de materias primas en los tres casos de estudio

OPCION	FCA INTEGRAL		MOLIENDA
	ACTUAL	MTD	
t/a CEMENTO	1.000.000	1.000.000	1.000.000
F CK/CTO	74,7	64,8	63,7
t/a CLINKER	747.000	648.000	637.000
MATERIAS AL CRUDO			
CALIZA (80 %)	597.600	518.400	
ARCILLA (19 %)	141.930	123.120	
CORRECTOR Fe (1%)	7.470	6.480	
MATERIAS AL CEMENTO			
DOSIF PROM (%)[1]			
YESO	5,9	5,4	5,7
CALIZA	6,7	9,1	10,5
CV[2]	12,8	0	0
CEN FONDO	0	20,7	20,5
t/a AL CEMENTO[3]			
YESO	59.000	54.000	57.000
CALIZA	67.000	91.000	105.000
CV	128.000	0	0
CEN FONDO	0	207.000	205.000
CONSUMO TERM (the/t CK)	780	720	
the/t CTO	583	467	20
% SUSTITUCION	5	25	
COKE (the/t)	554	350	
COKE /t/a)	69.191	43.740	0
TOTAL (t/a)			
CALIZA	664.600	609.400	105.000
ARCILLA	141.930	123.120	0
CORRECTOR Fe	7.470	6.480	0
YESO	59.000	54.000	57.000
C VOLANTE	128.000	0	0
C FONDO	0	207.000	205.000
COKE	69.191	43.740	0
TOTAL GRAL	1.070.191	1.043.740	367.000
TOTAL SIN RESIDUOS	942.191	836.740	162.000

1 Dosificación promedio, en %, de los materiales que intervienen
2 Cenizas volantes
3 Toneladas al año al cemento

3.5.2. Huella equivalente materias primas

Tabla 29a y 29b. Materias primas empleadas medidas en toneladas y m^3

OPCION	FCA INTEGRAL		MOLIENDA	P ESPEC (t/m3)
	ACTUAL	MTD		
TOTAL (t/a)				
CALIZA	664.600	609.400	105.000	2,3
ARCILLA	141.930	123.120	0	1,7
CORRECTOR Fe	7.470	6.480	0	1,9
YESO	59.000	54.000	57.000	1,8
C VOLANTE	128.000	0	0	0,5
C FONDO	0	207.000	205.000	1,4
COKE	69.191	43.740	0	1,4
TOTAL GRAL	1.070.191	1.043.740	367.000	
TOTAL SIN RESIDUOS	942.191	836.740	162.000	

OPCION	FCA INTEGRAL		MOLIENDA
	ACTUAL	MTD	
TOTAL M3/a)			
CALIZA	288.957	264.957	45.652
ARCILLA	83.488	72.424	0
CORRECTOR Fe	3.932	3.411	0
YESO	32.778	30.000	31.667
C VOLANTE	256.000	0	0
C FONDO	0	147.857	146.429
COKE	49.422	31.243	0
TOTAL GRAL	714.576	549.891	223.747
TOTAL SIN RESIDUOS	458.576	402.033	77.319

Tabla 30. Huella materias primas empleadas

OPCION	FCA INTEGRAL		MOLIENDA
	ACTUAL	MTD	
TOTAL Ha/a)			
CALIZA	2,4	2,2	0,4
ARCILLA	0,7	0,6	0,0
CORRECTOR Fe	0,0	0,0	0,0
YESO	0,3	0,3	0,3
C VOLANTE	2,1	0,0	0,0
C FONDO	0,0	1,2	1,2
COKE	0,4	0,3	0,0
TOTAL GRAL	6,0	4,6	1,9
TOTAL SIN RESIDUOS	3,8	3,4	0,6

3.5.3. Personal total

Tabla 31. Desglose de personal contratado

OPCION	PLANTA INTEGRAL		MOLIENDA
	ACTUAL	MTD	
DIRECTO	100	100	26
INDIRECTO			
€/AÑO			
SERV FABRICACIÓN	1442765	1250000	1590000
SERV MANTENIMIENTO	3822959	3440000	1590000
SUBTOTAL	5265724	4690000	3180000
PRECIO UNIT (€/hh)	22	22	22
PERSONAL SERV	133,0	118,4	80,3
TPTES			
VENTA			
VIAJES/AÑO	40000	40000	40000
DIAS/AÑO	220	220	220
VIAJES/D	181,8182	181,8182	181,8182
VIAJES /dXh	3,5	3,5	3,5
PERSONAL	51,9	51,9	51,9
MAT PRIMAS			
t/año	458576	402033	77319
VIAJES/AÑO	18343,04	16081,32	3092,76
DIAS/AÑO	220	221	222
VIAJES/D	83,4	72,8	13,9
VIAJES /dXh	2,5	2,5	2
PERSONAL	33,4	29,1	7,0
CLINKER			
t/año	0	0	63700
VIAJES/AÑO	0	0	2548
DIAS/AÑO	220	220	150
VIAJES/D	0	0	16,98667
VIAJES /dXh	2,5	2,5	2
PERSONAL	0,0	0,0	8,5
OTROS			
SERV GRALES	1.287.866	1.180.000	2.000.000
€/hh	25	25	25
PERSONAL	28,6	26,2	44,4
TOTAL INDIRECTOS			
SERVICIOS FCA	133	118	80
TPTES			
VENTAS	52	52	52
MP	33	29	7
CLINKER	0	0	8
SUBTOTAL TPTES	85	81	67
OTROS	29	26	44
TOTAL INDIRECTOS	247	226	192
TOTAL PERSONAL D+I	347	326	218
RELACION TOTAL/DIR	3,5	3,3	8,4

3.5.4. Consumo de agua

Tabla 32. Consumos de agua

	FCA INTEGRAL				MOLIENDA	
	ACTUAL		MTD			
AGUA TORRE REFRIGERACIÓN	610,0916	m^3/día	0	m^3/día	0	m^3/día
	191263,7	m^3/año	0	m^3/año	0	m^3/año
AGUA REFRIG MAQ	40.000	m^3/año	40.000	m^3/año	15.000	m^3/año
AGUA POTABLE	38.462	m^3/año	38.462	m^3/año	10.000	m^3/año
TOTAL	269.725	m^3/año	78.462	m^3/año	25.000	m^3/año

3.5.5. Residuos generados

Tabla 33. Residuos generados en los tres casos de estudio

OPCION	TIPO	PLANTA INTEGRAL		MOLIENDA	Uds
		ACTUAL	MTD		
Aceites usado	Peligrosos	4200	4200	1500	kg/año
Filtros de aceites	Peligrosos	150	150	50	kg/año
Pilas y baterías	Peligrosos	80	80	50	kg/año
Trapos contaminados	Peligrosos	1600	1600	900	kg/año
Tubos fluorescentes	Peligrosos	12	12	4	kg/año
Toner	Peligrosos	12	12	10	kg/año
Filtros de mangas	No peligrosos	1000	1400	400	kg/año
Sacos de cemento	No peligrosos	1200	1200	1200	kg/año
Palets usados desechados	No peligrosos	800	800	800	kg/año
Residuos laboratorio	Peligrosos	700	700	700	kg/año
Reactivos laboratorio	Peligrosos	3	3	3	kg/año
Papel, cartón	RSU	700	700	550	kg/año
Orgánicos	RSU	3600	3600	1200	kg/año
Envases ligeros	RSU	520	520	370	kg/año
Vidrio	RSU	780	780	500	kg/año
TOTAL		15357	15757	8237	kg/año
		15,4	15,8	8,2	t/año

3.5.6. Caudales, gases y emisiones de polvo

Tabla 34. Emisión de paetículas

M3/h	FCA INTEGRAL		MOLIENDA
	ACTUAL	MTD	
MACHAQUEO	80.000	80.000	0
PARQUES	120.000	120.000	65000
HOMO	25.000	25.000	0
HORNO-CRUDO	494.849	395.879	0
ENFRIADOR	446.245	383.489	0
STOCK CK	80.200	80.200	80.200
MOLIENDA CEMENTO	342.857	342.857	342.857
STOCK Y EXPEDICION	76.000	76.000	76.000
TOTAL	1.665.151	1.503.425	564.057
BASE (MG/M3)	20	15	20
EMISION (KG/h)	33,3	22,6	11,3
t/año	251	170	85

3.5.7. Emisiones de gases

Tabla 35. Emisión de gases en mg/Nm^3 y kg/año

CONTAMINANTE	FCA INTEGRAL		MOL.	Ud	FCA INTEGRAL		MOL.	Ud
	ACT.	MTD			ACT.	MTD		
NOX	400	150	6	mg/Nm3	43.106	12.932	2.943	kg/año
NH3	0	15	0	mg/Nm3	0	1.035	0	kg/año
SO2	350	60	0	mg/Nm3	37.718	5.173	0	kg/año
ClH	0,5	0,5	0	mg/Nm3	54	43	0	kg/año
FH	0,05	0,05	0	mg/Nm3	5	4	0	kg/año
DIOX Y FUR METAL PESADOS	0,8	0,4	0	ng/Nm3	86	34	0	g/año
Hg	0,03	0,03	0	mg/Nm3	3	3	0	kg/año
Cd+Tl	0,03	0,03	0	mg/Nm3	3	3	0	kg/año
As+Sb+Pb+Cr+Co+ Cu+MN+Ni+V	0,3	0,3	0	mg/Nm3	32	26	0	kg/año

Capítulo 4 Cálculo de la Huella Ecológica Corporativa

4.1. Introducción

A lo largo del presente capítulo se realizará la primera aplicación práctica de la metodología **MC3** (Método Compuesto de las Cuentas Contables) de cálculo de huella ecológica corporativa, en su versión más actual (versión **V.2.0.**) al caso particular de la industria cementera descrita en el capítulo anterior.

Cualquier empresa cementera podrá ser evaluada del mismo modo en que se expone a continuación, simplemente restableciendo los correspondientes datos en los "inputs" de la metodología MC3.

4.2. La metodología MC3

4.2.1. Estructura de la herramienta de cálculo MC3[1]

4.2.1.1. Selección de una metodología estandarizable

De entre todas las metodologías mostradas hemos seleccionado el método compuesto de las cuentas contables (MC3), tanto por ser la herramienta que se ha venido desarrollando en España durante los últimos años (Doménech, 2004 y siguientes), como por presentar el siguiente conjunto de ventajas:

1) Se basa en la **huella ecológica**, método compuesto elaborado por los autores originales (Rees y Wackernagel). La incorporación de la huella ecológica (uno de los indicadores ambientales más extendidos en la actualidad), da un gran valor añadido a la huella del carbono, sin la cual, además, sería imposible convertir a CO_2 algunas categorías de consumos (todos aquellos que equivalen a la ocupación de espacios agrícolas, ganaderos o acuáticos).

2) Presenta un "enfoque a la organización" el cual incluye un **enfoque mixto**: a) "bottom-up" para los productos de entrada (todos los consumos de la organización); y b) "top-down" para los productos de salida, es decir, desde la organización se reparte la huella entre todos los productos (bienes y servicios) que ofrece la misma (tal y como propone la GFN para el reparto de huellas nacionales en sub-nacionales). Además de la sencillez de uso, permite análisis de ciclos de vida completos y precisos sin omisión de datos de entrada y sin errores de truncado, así como etiquetado de todas las empresas que componen la cadena de valor, entre otras aplicaciones. Frente a las metodologías de huella de organizaciones y las de huella de productos, que son totalmente

[1] Este capítulo constituye un extracto del libro "Huella de carbono", actualmente en prensa, elaborado por Juan Luis Doménech, Adolfo Carballo y Luis Jiménez Herrero

diferentes, esta tercera opción permite el cálculo simultáneo de la huella de organizaciones y de productos. Es sin ninguna duda, la principal ventaja de esta metodología. La mayor parte de los métodos de cálculo de ciclo de vida de bienes, si no todos, son muy incompletos ya que presentan un "*enfoque al producto",* frente al "*enfoque a la organización"* de la metodología MC3. En el primer caso, el análisis de inventario incluye aquellos materiales, energía y recursos empleados en la obtención o fabricación del producto, excluyendo muchos otros productos y consumos que no son tan evidentes y que parece que afectan más a la organización (como si esta fuese algo diferente o separado del producto que fabrica), como pueden ser el consumo eléctrico del ordenador del conserje, el viaje de un empleado comercial, el papel que consume la secretaria de dirección o el espacio ocupado por el comedor de los operarios. Sin embargo, todos estos consumos (es decir, todos los de la organización) afectan también al producto fabricado, es decir, no existirían si no tuviéramos que fabricar el producto en cuestión y el producto no existiría si no fuera por esos recursos. Por tanto, TODOS los consumos de la organización son los que afectan al producto. *"El enfoque a la empresa carece de límites y permite incorporar al producto todos los tipos de impacto, incluido el uso del suelo. Al integrar todos los impactos en un único macro-indicador, expresado de dos formas o "categorías de impacto" (uso de superficies bioproductivas y emisiones de CO_2) simplifica la interpretación de los resultados con respecto al enfoque a procesos"* (Carballo, 2009).

3) Incorpora absolutamente **todos los consumos de la organización**, lo que delimita totalmente el alcance del cálculo (que siempre es el mismo y único para todo tipo de organización) y permite la comparabilidad. Paradójicamente, los estándares más extendidos permiten fijar alcances diferentes a dos o más marcas competidoras, por ejemplo, lo que impide la comparabilidad, que es precisamente lo que deben facilitar los estándares. Al quedar el alcance claramente delimitado a la organización que calcula su huella, MC3 nunca incorpora el uso del producto por parte de un consumidor, o la destrucción del mismo al final de su vida útil, ya que esto queda fuera del alcance organizacional.

4) La totalidad de los datos se obtiene a partir de las **cuentas contables** de la organización lo cual permite una relación total entre el aspecto económico y el aspecto ambiental de la organización. Con el tiempo, las mismas facturas podrían presentar datos económicos (precio, etc.) y de carbono (peso del producto o, directamente, carbono emitido).

5) La información fluye directamente de una organización a otra **sin necesidad de contar con la colaboración de clientes o proveedores** de la cadena de suministro para calcular la huella. Toda la huella de productos pasa de una entidad a otra, acumulándose progresivamente, con lo cual el alcance queda perfectamente delimitado en todo momento.

6) Es una metodología **simple**, ya que podría considerarse una "extensión" de los métodos más sencillos de huella de carbono basados en los factores de emisión. Una organización que esté calculando su huella de carbono convirtiendo sus consumos de combustibles y de electricidad en base a los factores de emisión disponibles en el mercado (lo más frecuente en estos momentos), no está haciendo otra cosa que dar los primeros pasos para aplicar MC3. Esta última tan solo amplía y completa sustancialmente esos cálculos básicos, y emite normas para homogeneizar los mismos.

7) Es una metodología **objetiva** en cuanto a la obtención de los datos de entrada ya que estos salen directamente de las cuentas contables de la organización. Es en estas cuentas oficiales (y auditables) donde se reflejan todos los consumos de una organización. Otra cuestión son los factores de conversión que se emplean en la metodología, los cuales están sometidos a los principios de "mejora continua" y "mejor tecnología disponible".

8) Es **transparente** (de ahí que digamos que puede ser usada por todo el mundo), ya que se emplean factores de emisión de bases de datos reconocidas, de prestigio y oficiales, los cuales están a la vista en todo momento.

9) Es **completa**, ya que, partiendo de los cálculos simples citados, se amplía con la totalidad de categorías de consumo conocidas.

10) Incorpora un importante **valor añadido**, como es la *huella ecológica,* otra importante medida del mismo indicador, que permite convertir las emisiones de CO_2 a hectáreas de terreno productivo y viceversa. De hecho, hay algunas categorías de consumos cuyas emisiones de CO_2 equivalentes no podrían calcularse sin conocer su huella ecológica

11) **Índice integrado y disgregado.** Aunque se imponen los indicadores de índice único por las muchas ventajas que presentan (como el hacer más manejables los indicadores de ecoeficiencia), muchas organizaciones no desean perder de vista sus cuadros de indicadores simples y desglosados. En el caso de MC3, la propia estructura de la hoja de cálculo y la transparencia de los datos que decíamos antes, permite contar con ambas modalidades. Permite, además, obtener otros indicadores de índice único de gran interés, como la "mochila ecológica" (cantidad de materiales consumidos, en toneladas por ejemplo), o energía total consumida (en Gigajulios, por ejemplo).

12) Permite el **ecoetiquetado** de bienes y servicios. El cálculo del ciclo de vida así descrito permite ecoetiquetar cualquier producto con la huella ecológica y la huella del carbono (nº de hectáreas a las que equivale el producto y nº de toneladas de CO2). La principal ventaja del enfoque a empresa es que la transmisión de la información es directa de una empresa a otra, a través del etiquetado.

13) **Retroalimentación.** La herramienta se retroalimenta de modo continuo ya que cada nuevo cálculo que se efectúe puede permitir mejorar la precisión de cada categoría de consumo. Por ejemplo: si actualmente la huella de los coches se calcula a través de la intensidad energética de los vehículos, el cálculo de la huella de una fábrica de vehículos, utilizando esta metodología, permitirá añadir a la huella energética anterior, la huella de los materiales, la huella de los servicios, la huella hídrica, la huella del suelo, etc. (todas las categorías de consumos contempladas en MC3). Si más adelante se calcula la huella de otra fábrica de coches, permitirá precisar aun más la anterior (modificando o confirmando los valores previos obtenidos), y así sucesivamente.

14) **Estandarización del método de cálculo.** Quizás la ventaja más interesante sea el hecho de que todas las anteriores le convierten en el método más propicio para llegar a ser el estándar que permita armonizar la huella del carbono. Sobre todo la transparencia que es la que permite al usuario conocer en todo momento los factores de conversión que está utilizando.

En los sucesivos capítulos nos referiremos también a la metodología como la "herramienta de cálculo", la cual puede consultarse de forma gratuita en la siguiente página web www.huellaecologica.com.

4.2.1.2. Antecedentes

En este apartado, simplemente se desea resaltar el grave problema que supone la constante diversificación de metodologías, de propuestas y de variantes, una vez que ya se ha reconocido -tanto en la sociedad civil como en la comunidad científica- la necesidad de abordar una nueva *contabilidad del carbono* y de evolucionar hacia una nueva *economía baja en carbono*.

El método *compuesto de las cuentas contables* (MC3) deriva directamente del método original de huella ecológica de Rees y Wackernagel, el cual podemos considerar precursor de la huella

de carbono de poblaciones, concepto implícito en su propuesta inicial. Ya anteriormente consideramos la huella ecológica de estos autores como una de las ideas más brillantes del siglo XX (Doménech, 2007) y consideramos ahora que, con las oportunas adaptaciones, no hubieran hecho falta nuevas metodologías, como las que hoy bullen por todo el mundo, para desarrollar la huella de carbono de poblaciones. La aportación de MC3 ha sido adaptar dicho método original a las características de la empresa y de las organizaciones, e iniciar todo un proceso de desarrollo (ya desde el año 2000) que, por el momento, ha quedado plasmado en la versión que se presenta en esta obra.

Para dar forma a esta nueva herramienta se ha revisado la versión 1 durante los últimos 5 años, se ha contado con varios grupos de trabajo, especialmente con el *"grupo de mejora de la huella ecológica corporativa"*, y se han elaborado numerosas publicaciones, todas ellas aquí tenidas en cuenta. El número de grupos de investigación, así como el interés general, sigue en aumento, por lo que se confía en que el método aquí empleado pueda contribuir a alcanzar el deseado estándar global que sería necesario para aspirar a una nueva cultura del carbono.

Finalmente, mencionar que tal y como se irá describiendo en sucesivos apartados, para el caso concreto de aplicación a la industria del cemento, ha sido necesaria, la adaptación en ciertos aspectos, de la metodología, con el fin de que el resultado fuese más preciso y fiable.

4.2.1.3. Estructura de la herramienta MC3-V.2.0

En la tabla 36 se muestran las secciones en las que se divide la hoja de cálculo MC3-V.2.0. En esta nueva versión se añadieron algunas nuevas, como la huella hídrica, y se reordenaron las secciones, de forma más acorde con el propuesto en algunos estándares de reporte de emisiones. Los residuos se incluyen en último lugar al ser los únicos que no proceden del consumo de recursos o *input* al sistema.

En la nueva versión, se ha introducido una fila por cada tipo de combustible o tecnología de generación eléctrica, para incorporar el ciclo de vida del combustible o tecnología utilizada. En la versión anterior solo se incluía la huella de la combustión, mientras que ahora se incluye también la huella del ciclo de vida del combustible, esto es, de su extracción, refino y resto de procesos y transportes hasta el lugar de uso final.

Por otro lado, y a propósito del ciclo de vida, se mejora la identificación de materiales según su fase en el ciclo de vida. Por ejemplo, en la sección de recursos agropecuarios y pesqueros, se ha incluido una subsección para los productos agropecuarios comprados directamente en supermercados o a proveedores, y otra subsección para los servicios de restaurante.

En la versión anterior no se hacía demasiado hincapié en la fase del ciclo de vida en la que se encuentra el producto o material. Por ejemplo, en la categoría de "Recursos agropecuarios y pesqueros" la fila correspondiente a "Pescados y mariscos" incluía una intensidad energética de 100 GJ/t, lo cual significa que desde que se extrae el pescado hasta que llega al restaurante (es decir, el cuarto o quinto eslabón de la cadena de suministro del pescado) se consume un total de energía de 100 gigajulios por tonelada de pescado. Eso está bien en el caso de las *comidas de empresa*, pero ¿qué intensidad energética tendría que emplear una conservera que compra el pescado directamente al buque, y que, por lo tanto se encuentra en el segundo eslabón de la cadena de suministro?, ¿y un distribuidor que lo compra a la conservera y que se encuentra en el tercer eslabón de la cadena?. Evidentemente, su intensidad energética ya no sería 100 GJ/t, sino que sería inferior. Lo correcto sería entonces incluir al menos 4 filas solo para el pescado: a) "Pescados y mariscos frescos"; b) "Pescados y mariscos en conserva"; c) "Pescados y mariscos en conserva-distribuidor"; y d) "Pescados y mariscos restaurante".

Es más, Carballo (2009) propone incluir tantas filas como eslabones sea posible encontrar en una cadena de suministro, por lo que a las anteriores habría que añadir "Pescados y mariscos cocidos" (en el caso de que existan cocederos que sean empresas independientes), "Pescados y mariscos en conserva-distribuidor 1"; "Pescados y mariscos en conserva-distribuidor 2";

"Pescados y mariscos en conserva-mayorista 1"; "Pescados y mariscos en conserva-mayorista 2"; "Pescados y mariscos en conserva-minorista 1", etc.

Tabla 36. Fuentes de emisiones contempladas en la huella del carbono (MC3 V.2). Fuente (Doménech, 2010)

CATEGORÍAS DE CONSUMO	SUBCATEGORÍAS
1. Emisiones directas	1.1. Combustibles 1.2. Otras emisiones directas
2. Emisiones indirectas	2.1. Electricidad Otras emisiones indirectas
3. Materiales	3.1. Materiales de flujo (mercancías) 3.2. Materiales no amortizables 3.3. Materiales amortizables (genéricos) 3.4. Materiales amortizables (obras) 3.5. Uso infraestructuras públicas
4. Servicios y contratas	4.1. Servicios con baja movilidad 4.2. Servicios con alta movilidad 4.3. Servicios de transporte de personas 4.4. Servicios de transporte de mercancías 4.5. Uso de infraestructuras públicas
5. Recursos agropecuarios y pesqueros	5.1. Vestuario y manufacturas 5.2. Productos agropecuarios 5.3. Servicios de restaurante
6. Recursos forestales	
7. Huella hídrica	7.1. Consumo de agua potable 7.2. Consumo de agua no potable
8. Uso del suelo	8.1. Sobre tierra firme 8.2. Sobre agua
9. Residuos, vertidos y emisiones	9.1. Residuos no peligrosos 9.2. Residuos peligrosos 9.3. Residuos radiactivos 9.4. Vertidos en efluentes 9.5. Emisiones 9.5.1. Gases GEI Protocolo Kioto 9.5.2. Otros GEI o precursores 9.5.3. Otras emisiones atmosféricas

Aunque esto ya estaba indirectamente expresado en la versión anterior, en esta versión se hace hincapié en atender a esta circunstancia. Obviamente, en la nueva hoja no se incluyen todas esas nuevas filas que surgirían del ciclo de vida de todos los materiales, pero cabe destacar la necesidad de poner atención a este aspecto para que se incluyan las filas pertinentes en caso necesario, dependiendo del estudio que se esté realizando. Se verá en capítulos posteriores, cómo para el caso concreto de aplicación a la industria cementera, fue necesario incluir nuevas filas (como para el clinker).

El resto de detalles derivados de la nueva estructura se describen en cada sección de categorías de consumos.

4.2.2. Emisiones directas. Factores de emisión

4.2.2.1. Pasos para el cálculo de la huella del carbono de los combustibles

Para el cálculo de la huella del carbono de los combustibles, se deben seguir los siguientes pasos (según la nueva versión 2 de la metodología MC3):

1) Obtención de las toneladas de combustible utilizado
2) Obtención de los gigajulios totales
3) Obtención de la huella del carbono de la combustión
4) Obtención de la huella del carbono del ciclo de vida
5) Obtención de la huella del carbono de otros GEI
6) Obtención de la huella del carbono de otros gases
7) Obtención de la huella del carbono de las emisiones fugitivas y otros
8) Obtención de la huella del carbono a partir de la huella ecológica
9) Conversión de huella de carbono a huella ecológica
10) Obtención de la contrahuella

Para la aplicación de la metodología, simplemente será necesario introducir los “inputs” en las correspondientes celdas de la hoja de cálculo (primera columna) obteniéndose los “outputs” automáticamente en las dos últimas columnas. En el caso de la huella de las emisiones directas, la hoja se divide tal y como se muestra a continuación (se han obviado las columnas de parámetros y cálculos intermedios):

Tabla 37. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella de las emisiones directas

CATEGORÍAS DE CONSUMOS	Ud	Consumo anual en unidades de consumo [ud./año]	HUELLA TOTAL [tCO2]	CONTRA-HUELLA tCO2]
1.-EMISIONES DIRECTAS				
1.1. Huella de los combustibles				
.Carbón (antracita) (combustión)	[€]			
. " (Ciclo de Vida)				
.Carbón (coque) (combustión) *	[€]			
. " (Ciclo de Vida) *				
.Leña (combustión)	[€]			
" (Ciclo de Vida)				
.Biomasa de madera	[€]			
. " (Ciclo de Vida)				
.Biomasa (no madera)	[€]			
. " (Ciclo de Vida)				
.Gas natural	[m3]			
. " (Ciclo de Vida)				
.Gasolina 95	[l]			
. " (Ciclo de Vida)				

.Gasolina 98	[l]				
. " (Ciclo de Vida)					
.Gasoil A	[l]				
. " (Ciclo de Vida)					
.Gasoil B	[l]				
. " (Ciclo de Vida)					
.Gasoil C	[l]				
. " (Ciclo de Vida)					
.Fuel	[l]				
. " (Ciclo de Vida)					
.Biodiesel 100% (de cultivos)	[l]				
. " (Ciclo de Vida)					
.Biodiesel 100% (de aceites usados)	[l]				
. " (Ciclo de Vida)					
.Bioetanol 100%	[l]				
. " (Ciclo de Vida)					
Subtotal 1.1					
1.2. Otras emisiones directas					
.Emisiones directas 1	[tCO2]				
.Emisiones directas 2	[tCO2]				
.Emisiones directas 3	[tCO2]				
.Emisiones directas 4	[tCO2]				
.Emisiones directas 5	[tCO2]				
Subtotal 1.2					
Total 1					

* En la metodología original, el par de filas referentes al coque no existían. Sin embargo, durante la realización del presente estudio, se encontró que el consumo de dicho combustible alcanzaba magnitudes tales, que el hecho de asimilarlo a otro combustible diferente, podría desvirtuar significativamente el resultado final. Por ello, se han introducido dichas filas, detallando el proceso en el capítulo 5 de aplicación práctica a los casos de estudio.

4.2.2.2. Conversión de huella de carbono a huella ecológica

Este paso, es opcional evidentemente, pues, si hablamos de huella de carbono, ésta habría finalizado en el paso anterior. Sin embargo, como ya hemos dicho, expresar la huella de carbono también en hectáreas de superficie productiva (huella ecológica) es un valor añadido del indicador y ambos (CO_2 y ha) se convierten automáticamente a través del factor de absorción.

Por tanto, finalmente, se convierte toda la huella de carbono obtenida, a huella ecológica (es decir, CO2 a hectáreas), dividiendo la primera entre el factor de absorción del ecosistema considerado ("bosques para CO_2"), el cual asciende 3,67 t CO_2/ha/año (datos del IPCC de 2001).

Este paso se divide, no obstante, en otros tres:

a) Obtención de la huella ecológica, en hectáreas, a partir de la huella del carbono

b) Obtención de las hectáreas globales, en base a los factores de equivalencia

c) Aplicación de los rendimientos locales

La huella ecológica se obtiene a partir de la huella del carbono de todas las categorías de consumo salvo aquellos casos en los cuales se calculó primero la huella ecológica.

Las hectáreas globales se calculan multiplicando las hectáreas de cada ecosistema (cultivos, pastos, bosques, etc.) por el factor de equivalencia. Como se verá en el capítulo dedicado a factores de absorción y de equivalencia, este ajuste debe hacerse para poder sumar hectáreas de bosques con hectáreas de mar, por ejemplo.

4.2.2.3. Obtención de la contrahuella

Aunque pensamos que solo se deberían compensar los biocombustibles certificados, asumimos esta compensación por coherencia con la mayor parte de los cálculos, que consideran a este tipo de combustibles *carbono neutral,* esto es, emiten un CO_2, durante la combustión, que la planta absorbió previamente. Es, además, una forma de primar el uso de los biocombustibles frente a una opción peor, como son los combustibles fósiles. Se deberá tender, no obstante, a exigir la certificación del origen y de la explotación sostenible.

Otra cosa es la compensación de la huella derivada de la ocupación de espacio, la cual podría compensarse, además de la huella de la combustión, ya que pensamos que ello no supone doble contabilidad (aspecto que deberá consensuarse en el futuro). No obstante, por coherencia con la huella forestal, la huella de la ocupación de espacio no se compensa con contrahuella mientras no se conozca su procedencia y tipo de explotación, esto es mientras no esté certificada.

4.2.3. Emisiones indirectas. La huella de la electricidad

4.2.3.1. Pasos para el cálculo de la huella del carbono del consumo eléctrico

A la hora de calcular la huella del carbono de la energía eléctrica consumida por una organización hay que hablar de al menos tres aspectos que, a menudo son fuente de error o confusión:

a) El uso (erróneo) de un único factor de emisión para todo el consumo eléctrico.

b) El empleo (erróneo) de rendimientos del 100% en las centrales, cuando este es muy inferior.

c) El tipo de factor de emisión elegido

Se verán estos aspectos a la vez que se desarrollan los pasos a realizar para el cálculo detallado de la huella del consumo eléctrico, que son los siguientes:

1) Obtención del mix eléctrico consumido
2) Obtención de las toneladas del combustible utilizado
3) Obtención de los gigajulios totales
4) Obtención de la huella del carbono de la combustión
5) Obtención de la huella del carbono del ciclo de vida
6) Obtención de la huella del carbono de otros GEI
7) Obtención de la huella del carbono de otros gases
8) Obtención de la huella del carbono a partir de la huella ecológica
9) Conversión de huella de carbono a huella ecológica
10) Obtención de la contrahuella

A efectos de aplicación, simplemente se introduce el consumo anual de electricidad en la celda coloreada y a continuación, en la primera columna, los porcentajes de participación de las diferentes compañías eléctricas presentes en el territorio español. Cuando no se conoce dicho dato (tal y como se verá que ocurre en el presente estudio), se asumirá un 100% de mix nacional. Tras introducir estos "inputs", la hoja de cálculo se rellena automáticamente, ofreciendo los "outputs" en la última columna.

Tabla 38. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella del consumo de energía eléctrica (hoja "mix")

	Consumo Total y % suministrad.	Pérdidas	Consumo	Térmica Carbón	Ciclo Combin. Gas	Nuclear	Hidraúlica	Mini-Hidraúlica	Cogenera-ción	Eólica	Fotovoltáica	Solar Térmica	Biomasa	Residuos	TOTAL REGIMEN ESPECIAL	TOTAL
Consumo total (KWh)																
Suministradores (%)																
Desconocido (mix nacional)																
Iberdrola Renovab.																
Iberdrola Generac.																
Endesa Energía																
Unión Fenosa																
HC Energía																
Naturgas Energía																
Eón Energía																
Nexus Energía																
Factor Energía																
Gestgernova																
Hidroeléctr. Valira																
Estabanell y Pahisa																
Enerco Cuellar																
Alumbrado de Ceuta																
Eléctrica Sollerense																
Electra Energía																
Comercializ. Lersa																
Comer. Elec. Cádiz																
Céntrica Energía																
Céntrica En. Espec.																
Céntrica En. Generac.																
Bassols Energia																
Aduriz Energía																
Huella hídrica energética (mix nacional)																
TOTAL																

4.2.3.2. Conversión de huella de carbono a huella ecológica

Finalmente, como ya se vio para el caso de los combustibles, se convierte toda la huella de carbono, a huella ecológica (es decir, CO_2 a hectáreas), dividiendo la primera entre el factor de absorción del ecosistema considerado.

Posteriormente, tal como se vio en el capítulo de la huella de los combustibles, se pasan a hectáreas globales, multiplicando por el factor de equivalencia, y luego se aplica la productividad local, multiplicando por el factor de rendimiento.

4.2.3.3. Obtención de la contrahuella

Como en el caso de los combustibles, se asume que las centrales alimentadas con biomasa o biocombustibles son *carbono neutral,* tanto porque así es considerado ya en la mayor parte de los cálculos, como para recompensar a este tipo de combustibles con respecto a los combustibles fósiles.

Se compensa con contrahuella, por lo tanto, la combustión ("bosques para CO_2"), pero no la superficie ocupada por la biomasa mientras no se tenga constancia de que la misma está certificada y se sepa fehacientemente, por tanto, que no procede de deforestación o de explotaciones insostenibles.

4.2.4. Otras emisiones indirectas. La huella de los materiales

4.2.4.1. Pasos para el cálculo de la huella del carbono de los materiales

Con la huella de los materiales se comienza un importante grupo de fuentes de emisión de CO_2 que son aquellos considerados como "otras emisiones indirectas" por los estándares internacionales más conocidos. Gran parte de dichos estándares (normalmente estándares de reporte de inventario, pero no de cálculo) tienden a emitir nuevas guías de este tipo de emisiones, la mayoría de las cuales no suelen ser aun consideradas por las organizaciones. MC3 ya incluye este tipo de emisiones desde la primera versión de 2003 y el método de cálculo se estructura y mejora sustancialmente en esta nueva versión.

Los pasos a seguir para el cálculo de la huella de los materiales son los siguientes:

1) Asignación de los recursos o cuentas contables
2) Obtención de las toneladas de material adquirido
3) Obtención de los gigajulios totales
4) Obtención de la huella del carbono del ciclo de vida del material
5) Obtención de la huella del carbono de otros GEI
6) Obtención de la huella del carbono de otros gases
7) Obtención de la huella del carbono a partir de la huella ecológica
8) Conversión de huella de carbono a huella ecológica
9) Obtención de la contrahuella

Para la aplicación de la metodología, simplemente será necesario introducir los "inputs" en las correspondientes celdas de la hoja de cálculo (primera columna) obteniéndose los "outputs"

automáticamente en las dos últimas columnas. En el caso de la huella de los materiales, la hoja se divide tal y como se muestra a continuación (se han obviado las columnas de parámetros y cálculos intermedios):

Tabla 39. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella de los materiales

CATEGORÍAS DE CONSUMOS	Ud	Consumo anual en unidades de consumo [ud./año]	HUELLA TOTAL [tCO2]	CONTRA-HUELLA tCO2]
3.- HUELLA DE LOS MATERIALES (no orgánicos)				
3.1. Materiales de flujo (mercancías)	**sin IVA**			
. Materias primas (áridos-mineral en general)	[€]			
. Cemento	[€]			
. Ladrillos, cerámica y material refractario	[€]			
. Derivados del vidrio	[€]			
. Material de porcelana y sanitarios cerámicos	[€]			
. Productos derivados del plástico	[€]			
.Material textil sintético semi-elaborado	[€]			
.Vestuario y textil sintético confeccionado	[€]			
. Combustibles y aceites minerales, bituminosos, etc.	[€]			
. Productos químicos, higiénicos y limpieza; pinturas vegetales, etc.	[€]			
. Perfumería, cera, betún, pinturas sintéticas y barnices sintéticos	[€]			
. Abonos	[€]			
. Productos farmaceúticos	[€]			
. Productos básicos del hierro o del acero	[€]			
. Productos básicos del cobre o níquel	[€]			
. Productos básicos del aluminio y derivados	[€]			
. Manufacturas del hierro, acero y otros metales corrientes (no aluminio), utensilios y herramientas	[€]			
. Mobiliario y carruajes de hierro o acero y otros materiales sintéticos	[€]			
. Miscelánea manufacturas, mat. oficina	[€]			
. Maquinaria industrial y grandes equipamientos (y sus partes)	[€]			
. Aparatos eléctricos comunes, iluminación, electrodomésticos	[€]			
. Vehículos transporte (tierra, mar y aire), artefactos flotantes automóviles terrestres y tractores (y sus partes)	[€]			
. Aparatos eléctricos de precisión, ordenadores, móviles, calculadoras, etc.	[€]			
Subtotal 3.1				
3.2. Materiales no amortizables	**sin IVA**			
. Materias primas (áridos-mineral en general)	[€]			
. Clinker *	[€]			

. Cemento	[€]			
. Ladrillos, cerámica y material refractario	[€]			
. Derivados del vidrio	[€]			
. Material de porcelana y sanitarios cerámicos	[€]			
. Productos derivados del plástico	[€]			
.Material textil sintético semi-elaborado	[€]			
.Vestuario y textil sintético confeccionado	[€]			
. Combustibles y aceites minerales, bituminosos, etc.	[€]			
. Productos químicos, higiénicos y limpieza; pinturas vegetales, etc.	[€]			
. Perfumería, cera, betún, pinturas sintéticas y barnices sintéticos	[€]			
. Abonos	[€]			
. Productos farmaceúticos	[€]			
. Productos básicos del hierro o del acero	[€]			
. Productos básicos del cobre o níquel	[€]			
. Productos básicos del aluminio y derivados	[€]			
. Manufacturas del hierro, acero y otros metales corrientes (no aluminio), utensilios y herramientas	[€]			
. Mobiliario y carruajes de hierro o acero y otros materiales sintéticos	[€]			
. Miscelánea manufacturas, mat. oficina	[€]			
. Maquinaria industrial y grandes equipamientos (y sus partes)	[€]			
. Aparatos eléctricos comunes, iluminación, electrodomésticos	[€]			
. Vehículos transporte (tierra, mar y aire), artefactos flotantes automóviles terrestres y tractores (y sus partes)	[€]			
. Aparatos eléctricos de precisión, ordenadores, móviles, calculadoras, etc.	[€]			
Subtotal 3.2				
3.3. Materiales amortizables	**sin IVA**			
. Materias primas (áridos-mineral en general)	[€]			
. Cemento	[€]			
. Ladrillos, cerámica y material refractario	[€]			
. Derivados del vidrio	[€]			
. Material de porcelana y sanitarios cerámicos	[€]			
. Productos derivados del plástico	[€]			
.Material textil sintético semi-elaborado	[€]			
.Vestuario y textil sintético confeccionado	[€]			
. Combustibles y aceites minerales, bituminosos, etc.	[€]			
. Productos químicos, higiénicos y limpieza; pinturas vegetales, etc.	[€]			
. Perfumería, cera, betún, pinturas sintéticas y barnices sintéticos	[€]			
. Abonos	[€]			
. Productos farmaceúticos	[€]			
. Productos básicos del hierro o del acero	[€]			
. Productos básicos del cobre o níquel	[€]			

. Productos básicos del aluminio y derivados	[€]				
. Manufacturas del hierro, acero y otros metales corrientes (no aluminio), utensilios y herramientas	[€]				
. Mobiliario y carruajes de hierro o acero y otros materiales sintéticos	[€]				
. Miscelánea manufacturas, mat. oficina	[€]				
. Maquinaria industrial y grandes equipamientos (y sus partes)	[€]				
. Aparatos eléctricos comunes, iluminación, electrodomésticos	[€]				
. Vehículos transporte (tierra, mar y aire), artefactos flotantes automóviles terrestres y tractores (y sus partes)	[€]				
. Aparatos eléctricos de precisión, ordenadores, móviles, calculadoras, etc.	[€]				
Subtotal 3.3					
3.4. Materiales amortiz. ("matriz de obras")					
. Energía (gasoil)	[€]				
" ciclo de vida					
. Cemento	[€]				
. Productos siderúrgicos	[€]				
. Ligantes bituminosos	[€]				
. Ladrillos y refractarios	[€]				
. Madera	[€]				
. Cobre	[€]				
Subtotal 3.4					
3.5. Uso infraestructuras públicas ("matriz de obras públicas")					
. Energía (gasoil)	[€]				
" ciclo de vida					
. Cemento	[€]				
. Productos siderúrgicos	[€]				
. Ligantes bituminosos	[€]				
. Ladrillos y refractarios	[€]				
. Madera	[€]				
. Cobre	[€]				
Subtotal 3.5					
Total 3					

* El material "clinker" no aparecía en la metodología original. No obstante, durante la realización del presente estudio, se apreció que, sobre todo en el caso B, el consumo de dicho material era tan grande, que el hecho de asimilarlo a cualquier otro, por parecido que fuese, podría desvirtuar el resultado final sensiblemente. Por ello, se introdujo dicha fila en la metodología, siguiendo los pasos que se detallan en el capítulo 5 de aplicación práctica a los casos de estudio.

4.2.4.2. Tipos de huella de materiales

En esta versión se ha dividido la huella de los materiales en cuatro tipos diferentes:

a) Huella de los materiales de flujo o mercancías

b) Materiales genéricos o no amortizables

c) Materiales amortizables

d) Materiales de obras y construcción

e) Materiales derivados del uso de infraestructuras públicas

Materiales de flujo o mercancías

Son las mercancías que compran los comercios para su venta a terceros. Son materiales de flujo porque se compran a un proveedor con una cierta huella, la cual transmitimos a un cliente añadiéndole nuestra propia huella.

Materiales genéricos o no amortizables

Según Carballo (2009) *"en la medida en que esta última categoría incluye los medios de producción de la empresa, las necesidades de capital constituyen, muchas veces, una restricción a la hora de adoptar medidas encaminadas a reducir la huella de una organización o empresa"*.

Las obras, inversiones en edificaciones, maquinaria o grandes equipamientos pueden penalizar mucho la huella en determinadas organizaciones. Por ello resulta conveniente tener estos conceptos separados para que aquellas los reporten como consideren.

Materiales amortizables

Aunque algunos de los 23 grupos de materiales no pueden ser materiales amortizables (combustibles, vestuario, abonos, cosmética, etc.), en la herramienta de cálculo se ha optado por mantener los mismos grupos que en la sección de "materiales de flujo" y "materiales no amortizables" a fin de mantener una cierta homogeneización.

Los materiales amortizables se tratan de modo diferente ya que su huella se reparte entre un número determinado de años, que se corresponde con su vida útil. De este modo se evitan grandes oscilaciones de huella de un año a otro, cuando, por ejemplo, se ejecuta una gran obra o cuando se hace una gran inversión en maquinaria, etc.

Materiales de obras y construcción

Existen dos formas de calcular la huella de las obras, según esta sea calculada por una empresa constructora u otra cuya actividad principal no sea la construcción. Para estas últimas, la metodología incluye una "matriz de obras" en la cual se pueden introducir (como para el resto de materiales) el importe en euros extraído de las cuentas contables. Esto facilita la obtención de los datos, ya que es sumamente difícil e impreciso obtener los porcentajes de materiales que consumen las contratas. Dicha matriz se muestra como tabla 40.

Los pasos para la opción "matriz de obras" son los siguientes:

1) Sumar manualmente las diferentes obras de cada uno de los tipos mostrados en la tabla 41, esto es "carreteras pavimento hormigón", "pistas y caminos de hormigón", "firmes base bituminosa", etc.

2) Introducir el total de cada grupo en la "matriz de obras" de la herramienta de cálculo, la cual calcula automáticamente los diferentes materiales empleados en este tipo de obras, según los porcentajes reflejados en el Decreto 3650/1970.

3) Los totales de cada material se llevan automáticamente a la hoja de cálculo principal, la cual calcula, también automáticamente, la huella de carbono.

Tabla 40. Matriz de obras

Tipos de obras	Importe obra € sin IVA	Importe sin Bº industr. ni gastos	€ mano de obra (H)	€ energía (E)	€ cemento (C)	€ siderurgicos (S)	€ ligantesbituminosos (L)	€ cerámicos (Cr)	€ madera (M)	€ cobre (Cu)
Carreteras con pavimento de hormigón, canales y túneles gran sección										
Pistas y caminos de hormigón										
Firme, pistas y pavimentación base bituminosa										
Zanjas, túneles peq.sección, pozos o gal.; obras fábrica										
Mov. Tierras, rellenos, muelles, dragados (fondo blando y duro), escolleras sin armar										
Grandes canales; presas de tierra y escollera										
Obras gran volumen hormigón; diques, puentes										
Obras metálicas; hormígon muy armado; ferrocarriles; torres metálicas										
Edificios de fábrica u hormigón										
Edificios estructura metálica o mixta con metal										
Líneas eléctricas hasta 45 k; subestaciones o inst. aéreas										
Instalac. eléctricas subterráneas baja tensión										
Instalaciones de iluminación (pistas, balizas, etc.)										
Obras de jardinería y plantaciones										
TOTAL										

La conversión del importe de las obras a huella de carbono se efectúa, como en la versión anterior, por medio de las fórmulas polinómicas empleadas habitualmente en construcción para revisar los precios de los contratos de obras del Estado y Organismos Autónomos (Decreto 3650/1970, de 19 de diciembre, y siguientes modificaciones). De tales fórmulas se deriva el porcentaje que cabe atribuir a cada material y concepto que componen la obra, como son la mano de obra, la energía total, el cemento, material siderúrgico, ligantes bituminosos, materiales cerámicos, madera, cobre y aluminio. Los 48 tipos de obras diferentes contemplados en la normativa, se siguen agrupando en los 14 tipos, con sus correspondientes porcentajes, mostrados en la tabla 41.

De este modo, el importe total de la obra se desglosa en los importes de cada concepto sin IVA, correspondiendo, por ejemplo, a las “carreteras con pavimento de hormigón”, un 34% del importe a la mano de obra (la cual carece de huella), un 26% al consumo energético, un 5% al consumo de cemento, un 18% al material siderúrgico y un 2% los ligantes bituminosos (en este tipo de obras no existe ni material cerámico, ni madera, ni cobre). El aluminio se ha sacado de la lista por su escasa aparición en la mayor parte de los tipos de obras consideradas. En todos los casos se descuenta, previamente a ese desglose de porcentajes, el 6% correspondiente al beneficio industrial y el 13% de los gastos generales. Además, cada uno de esos porcentajes se divide por 0,85 ya que un 15% del importe no está sujeto a revisión de precios (Doménech, 2007).

El porcentaje correspondiente a “energía” se convierte a combustible fósil líquido (asumiendo que la mayor parte es gasoil de transporte y maquinaria de construcción), dividendo el importe de la obra entre el precio del gasoil durante los meses de la construcción. El resto de los cálculos se realizan como en la sección de los combustibles. Para el resto de materiales, los cálculos se efectúan como ya hemos visto en la sección de materiales, imputando el resultado

a "bosques para CO_2" (en el caso de la madera también existe una partida que se imputa a "bosques", al ser un material orgánico).

Tabla 41. Desglose del importe por tipo de obra (%sin IVA)

Tipo de obra	Mano obra	Energía	Cemento	Siderúrgicos	Bituminosos	Cerámicos	Madera	Cobre
Carreteras pavimento hormigón	34	26	5	18	2			
Pistas y caminos de hormigón	36	27	19	3				
Firmes base bituminosa	29	19		11	26			
Zanjas y túneles pequeña sección	34	16	18	14			3	
Movim. tierras, rellenos, dragados	31	54						
Grandes canales y presas	27	21	12	25				
Obras gran volumen hormigón	28	11	32	14				
Obras metálicas, ferrocarriles	29	9	8	39				
Edificios de fábrica u hormigón	35	9	10	13		12	6	
Edificios estruct.ura metálica	34	9	8	20		8	6	
Líneas eléctricas hasta 45 k	28		5	22			2	28
Instalac. eléctricas subterráneas	24		12	9				40
Instalaciones de iluminación	20	12		20				33
Obras de jardinería y plantac.	47	28				5	5	

Fuente: Doménech (2007)

Materiales derivados del uso de infraestructuras públicas

En la nueva versión se incorpora el uso que todos los ciudadanos y empresas hacemos de las infraestructuras públicas, lo cual constituye una clara mejora con respecto a la versión anterior y con respecto a otras metodologías que no incluyen esta fuente de emisión en la elaboración del inventario.

4.2.4.3. Conversión de la huella de carbono a huella ecológica

Como en los casos anteriores (combustibles y electricidad) la huella de carbono se convierte a huella ecológica (principalmente "bosques para CO_2") simplemente por medio del factor de absorción.

4.2.4.4. Obtención de la contrahuella

Este paso tan solo aplica a la madera de construcción, si bien, la huella de la madera por ocupación de espacio no se compensará con contrahuella mientras no se tenga constancia de que la misma está certificada y de que procede de explotaciones sostenibles. Cuando se tenga constancia de que está certificada, se compensará con contrahuella.

Para el resto de materiales, la contrahuella tendrá más aplicación cuando se vayan sustituyendo sus actuales intensidades energéticas por su correspondiente etiqueta o huella del carbono (según se vayan calculando), la cual deberá incluir la huella y la contrahuella. Debemos recordar aquí que la contrahuella, o inversión en capital natural, es una de las formas que tienen las organizaciones de reducir o compensar su huella, junto con el ahorro de recursos y la ecoeficiencia.

4.2.5. La huella de los servicios y de las contratas

4.2.5.1. Pasos para el cálculo de la huella del carbono de los servicios

Como en los casos anteriores los pasos para obtener la huella de los servicios o contratas son los siguientes:

1) Asignación de los recursos o cuentas contables
2) Obtención de las toneladas de material adquirido
3) Obtención de los gigajulios totales
4) Obtención de la huella del carbono
5) Obtención de la huella del carbono de otros GEI
6) Obtención de la huella del carbono de otros gases
7) Obtención de la huella del carbono a partir de la huella ecológica
8) Conversión de huella de carbono a huella ecológica
9) Obtención de la contrahuella

Para la aplicación de la metodología, simplemente será necesario introducir los “inputs” en las correspondientes celdas de la hoja de cálculo (primera columna) obteniéndose los “outputs” automáticamente en las dos últimas columnas. En el caso de la huella de los servicios y contratas, la hoja se divide tal y como se muestra a continuación (se han obviado las columnas de parámetros y cálculos intermedios):

Tabla 42. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella de los servicios y contratas

CATEGORÍAS DE CONSUMOS	Ud.	Consumo anual en unidades de consumo [ud./año]	HUELLA TOTAL [tCO2]	CONTRA-HUELLA tCO2]
4.- HUELLA DE LOS SERVICIOS Y CONTRATAS				
4.1. Servicios con baja movilidad				
. Servicios externos de oficina, asesorías, etc.	[€]			
. Servicios de oficina de alto valor añadido	[€]			
. Servicios de hospedería, hoteles	[€]			
. Telefonía (total fijos y móviles)	[€]			
. Servicios médicos	[€]			
. Servicios culturales, sociales, ocio, cooperación, deportes	[€]			
. Formación externa	[€]			
. Servicios interiores de limpieza, mantenenimiento y similares	[€]			
. Alquileres polígonos industr., dominio público y similares	[€]			
. Alquileres centros comerciales y "comunitarios"	[€]			
Subtotal 4.1				
4.2. Servicios con alta movilidad				
. Servicios exteriores de limpieza, mantenimiento y similares	[€]			

. Correo, paquetería, mensajería	[€]				
Subtotal 4.2					
4.3. Servicios de transporte de personas					
.Taxi	[€]				
.Tren	[€]				
.Avión	[€]				
.Barco nacional	[€]				
.Taxi	[vKm]				
. " (Ciclo de Vida)					
.Tren	[vKm]				
. " (Ciclo de Vida)					
.Avión	[vKm]				
. " (Ciclo de Vida)					
.Barco nacional	[vKm]				
. " (Ciclo de Vida)					
Subtotal 4.3					
4.4. Servicios de transporte de mercancías					
.Furgonetas y similares	[€]				
.Camiones	[€]				
.Ferrocarril	[€]				
.Avión	[€]				
.Buque nacional (portacontenedores)	[€]				
.Buque internacional (portacontenedores)	[€]				
.Furgonetas y similares	[tKm]				
. " (Ciclo de Vida)					
.Camiones	[tKm]				
. " (Ciclo de Vida)					
.Ferrocarril	[tKm]				
. " (Ciclo de Vida)					
.Avión	[tKm]				
. " (Ciclo de Vida)					
.Buque nacional	[tKm]				
. " (Ciclo de Vida)					
.Buque internacional	[tKm]				
. " (Ciclo de Vida)					
Subtotal 4.4					
4.5. Uso de infraestructuras públicas					
.IVA declarado	[€]				
.Impuesto sociedades	[€]				
.Otros impuestos o tributos	[€]				
.Multas y sanciones	[€]				
Subtotal 4.5					
Total 4					

4.2.5.2. Tipos de servicios

Como se acaba de mostrar, en la versión 2.0 se dividen los servicios en varios tipos:

a) Servicios con baja movilidad
b) Servicios con alta movilidad
c) Servicios de transporte de personas
d) Servicios de transporte de mercancías
e) Uso de infraestructuras públicas

La huella de los servicios con baja movilidad

Se denominan servicios con baja movilidad a los servicios de baja intensidad energética, expresada, sobre todo, en el bajo consumo de combustibles, esto es aquellos cuya actividad principal no usa vehículos, transportes o maquinaria. Los servicios con alta movilidad serán aquellos con alta intensidad en el uso de vehículos o maquinaria, tal y como veremos en el siguiente apartado. Algunos de estos servicios con poca o nula movilidad sería los servicios de oficina, hoteles, servicios de limpieza de interiores o de fachadas y ventanales, mantenimiento de interiores o de fachadas (ascensores, extintores, equipamientos, etc.), vigilancia sin movilidad, desinfección de locales, etc. En esta versión se han considerado los siguientes porcentajes energéticos (tabla 43) (Doménech 2007):

Tabla 43. Servicios contemplados en MC3 V.2.0. y porcentajes de energía estimada (% de la factura del servicio)

Servicios de baja movilidad	
Servicios externos de oficina, asesorías	4
Servicios de oficina de alto valor añadido	2
Servicios de hospedería, hoteles	6
Telefonía (total fijos y móviles)	8
Servicios médicos	6
Servicios culturales, sociales, ocio, cooperación, deportes	9
Formación externa	4
Servicios interiores de limpieza, mantenimiento, vigilancia y similares	1
Alquiler polígonos industriales, dominio público y similar	2
Alquiler centros comerciales y comunitarios	1
Servicios de alta movilidad	
Servicios exteriores de limpieza, mantenimiento y similar	15,5
Correo, paquetería, mensajería	30
Servicios de transporte de personas	
Taxi	20
Tren	8
Avión	30,5
Buque	12
Servicios de transporte de mercancías	
Furgonetas y similares	30
Camiones	20
Ferrocarril	8
Avión	60
Buque nacional	8
Buque internacional	5
Uso de infraestructuras públicas	
IVA declarado	-
Impuesto Sociedades	-
Otros impuestos y tributos	-
Multas y sanciones	-
Servicios de restaurante	
Servicio de restaurante	8

La huella de los servicios con alta movilidad

Este apartado incluye los servicios y contratas que exijan alta movilidad, tales como limpieza de exteriores; recogida de basura, vigilancia desde vehículos; mantenimiento eléctrico en grandes instalaciones exteriores; podas y jardinería; gestores de residuos; revisiones mensuales o anuales de maquinaria, mantenimiento de viales, limpieza de arquetas, inspecciones móviles, etc.

El servicio de mantenimiento o limpieza exterior se ha fijado en el 15,5% y los servicios de paquetería o mensajería en el 30%.

La huella del transporte de personas y mercancías

Para la selección de los valores que se utilizan en la versión 2, se emplea la intensidad energética en gigajulios por pasajero o tonelada y kilómetro, en vez de las emisiones de CO_2, a fin de hacer la conversión de energía a carbono utilizando (de forma más coherente) los mismos factores de emisión utilizados para el resto de categorías. En el caso del ferrocarril se emplea el mix energético nacional. Las intensidades que emplea la hoja de cálculo son las mostradas en la tabla 44.

Aunque en la herramienta de cálculo de la nueva versión se incluyen estos nuevos factores de conversión, se mantienen los anteriores basados en el gasto en euros (ya que muchas organizaciones aun no llevan la cuenta de los kilómetros recorridos en los viajes de empresa), aunque reajustados en función de los primeros.

Tabla 44. Intensidad energética del transporte de pasajeros y mercancías seleccionados para la versión MC3 V.2.0

Modos transporte	Pasajeros (MJ/vKm)	Mercancías (MJ/tKm)
Carretera interurbana (coches, motos, bus)	2,18	-
Carretera interurbana (camiones)	-	1,2
Carretera (furgonetas)	-	5,4
Ferrocarril nacional	0,35	0,3
Metro (1996-2007)	0,55	-
Avión nacional	9,80	31,57
Barco nacional-cabotaje	1,35	0,4
Barco internacional	-	0,2

Fuente: Doménech 2007

La huella del uso de los servicios públicos e infraestructuras

En la versión 2, se ha incluido la huella del uso de infraestructuras y otros bienes públicos, según el siguiente método:

a) Se asume que con los impuestos de la organización se paga por la construcción y el uso de infraestructuras y por el uso de servicios públicos. Se asume que cuantos más impuestos paga una organización más uso potencial puede hacer de las infraestructuras y servicios públicos.

b) Se asigna a cada *Capítulo Presupuestario Consolidado del Estado* (año 2006) una categoría de huella, descartando aquellos que no producen huella (como pensiones, desempleo, otras prestaciones económicas, subvenciones, o amortización de la deuda pública, entre otros).

c) Se suma el total de cada categoría, sin incluir el capítulo 94 “Transferencias a otras Administraciones Públicas”, sacando el porcentaje de cada una.
d) Se reparte dicho capítulo 94 entre todas ellas, en función del porcentaje correspondiente, previamente calculado.

e) Se suma de nuevo el total de cada categoría (incluyendo ahora las transferencias a las Comunidades Autónomas y otras), volviendo a sacar el porcentaje atribuido a cada categoría (porcentaje de huella). Se aprecia que una gran parte de los impuestos van destinados a cubrir pensiones y subsidios, los

cuales no producen huella. Al incluir la administración y gestión de los diferentes Ministerios en las categorías de "oficina", "formación", "servicios socio-culturales", "servicios médicos", etc., se descartan también como huella los salarios del personal, ya que en la Hoja de Cálculo estos servicios solo incluyen la huella de la energía.

La forma de proceder es sumando todos los impuestos (IVA, Impuesto Sociedades, etc.) y desglosando dicho importe según los porcentajes mostrados en la tabla 45. Luego, se añade cada partida a la categoría de consumo correspondiente. Se asume que las partidas que van a obras incluyen nuestra parte de huella por la construcción de infraestructuras, y las partidas que van a "servicios exteriores de mantenimiento", "servicios externos de oficina" (servicios de administración y gestión de bienes públicos) y otras, suponen nuestra parte de huella por el uso y disfrute de las mismas

Tabla 45. Huella de las infraestructuras y servicios públicos calculada a partir de los Presupuestos del Estado y computada a través de los impuestos

Categorías	%
Miscelánea	4,95
Maquinaria industrial	0,14
Aparatos eléctricos comunes	0,93
Vehículos de transporte (tierra, mar, aire) o industrial	0,23
Carreteras hormigón, canales...	1,05
Firmes pavimentos base bituminosa	0,82
Zanjas túneles pequeña sección	0,23
Movimiento tierras	0,31
Obras gran volumen hormigón	0,56
Obras metálicas, ferrocarriles	0,97
Edificios de fábrica u hormigón	2,20
Edificios base metálica o mixta	1,24
Jardinería y plantaciones	0,14
Servicios externos de oficina	10,71
Servicios de hospedería, hoteles	0,06
Servicios médicos	1,77
Servicios socio-culturales	4,20
Formación	1,92
Servicios exteriores de mantenimiento, limpieza, etc.	2,93
Correo, paquetería, mensajería	0,39
Avión	0,18
Servicios de restaurante	0,06
Productos editoriales	0,11
No huella (pensiones, desempleo, amortizaciones)	63,90

Fuente: Doménech 2010

Con respecto a la herramienta de cálculo, se han integrado todos estos porcentajes de "servicios públicos" en la misma, según el siguiente procedimiento:

1) Los materiales, como "miscelánea", "maquinaria industrial", "aparatos eléctricos" y "vehículos de transporte", se suman automáticamente en la sección de "materiales no amortizables".

2) Todas las obras, desde "carreteras de hormigón" hasta "jardinería y plantaciones", se llevan automáticamente a una nueva "matriz de obras públicas", donde se calcula el consumo de la energía y de los materiales de construcción empleados (cemento, siderúrgicos, bituminosos, cerámicos, madera y cobre). De aquí pasan automáticamente a una nueva sección de la hoja principal denominada "Uso de infraestructuras públicas".

3) Los ocho *servicios* se llevan automáticamente a la sección de "servicios", al igual que el servicio de restaurante va a la sección de "Huella agrícola y huella pesquera", y los productos editoriales a la de "Huella forestal".

4.2.6. La huella de los recursos agropecuarios y la pesca

4.2.6.1. Pasos para el cálculo de la huella agrícola, ganadera y pesquera

Con la huella de los recursos agropecuarios y la pesca (junto con la huella forestal y la huella de la ocupación de suelo) se entra en un grupo de categorías o cuentas de huella en los cuales la ocupación del suelo cobra una importancia singular. De modo similar a los capítulos anteriores, los pasos a realizar son los siguientes:

1) Asignación de los recursos o cuentas contables
2) Obtención de las toneladas de material adquirido
3) Obtención de los gigajulios totales
4) Obtención de la huella del carbono del ciclo de vida del material
5) Obtención de la huella del carbono de otros GEI
6) Obtención de la huella del carbono a partir de la huella ecológica
7) Conversión de huella de carbono a huella ecológica
8) Obtención de la contrahuella

Para la aplicación de la metodología, simplemente será necesario introducir los "inputs" en las correspondientes celdas de la hoja de cálculo (primera columna) obteniéndose los "outputs" automáticamente en las dos últimas columnas. En el caso de la huella agrícola y pesquera, la hoja se divide tal y como se muestra a continuación (se han obviado las columnas de cálculos intermedios):

Tabla 46. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella agrícola y pesquera

CATEGORÍAS DE CONSUMOS	Ud.	Consumo anual en unidades de consumo [ud./año]	HUELLA TOTAL [tCO2]	CONTRA-HUELLA tCO2]
5. HUELLA AGRÍCOLA Y HUELLA PESQUERA				
5.1. Vestuario y manufacturas				
. Manufacturas del esparto, cestería	[€]			
. Material textil natural (primera elaboración)	[€]			
. Vestuario y textil confeccionado de algodón	[€]			
. Vestuario y textil confeccionado de lana	[€]			
. Manufactura del cuero y pieles; marroquinería, peletería				
.. Bovino (pastos)	[€]			
.. Bovino (cultivos)	[€]			
.. Ovino-caprino (pastos)	[€]			
Subtotal 5.1				
5.2. Productos agropecuarios				
. Animales vivos	[€]			
. Carnes (aves)	[€]			

. Carnes (cerdo, pastos)	[€]			
. Carnes (cerdo, cultivos)	[€]			
. Carnes (bovino, pastos)	[€]			
. Carnes (bovino, cultivos)	[€]			
. Carnes (ovino-caprino, pastos)	[€]			
. Pescados, crustaceos y moluscos (fresco o congelado)	[€]			
. Leche, lácteos	[€]			
. Huevos	[€]			
. Resto de productos de origen animal	[€]			
. Plantas y flores vivas o cortadas, bulbos	[€]			
. Legumbres, hortalizas, raíces y tubérculos (frescas)	[€]			
. Idem (congelados, conserva…), tomates	[€]			
. Frutas y frutos secos	[€]			
. Café, té, especias, cacao y sus preparados	[€]			
. Cereales, harinas, pan, pastas, arroz	[€]			
. Gomas, resinas y extractos vegetales	[€]			
. Aceite vegetal	[€]			
. Azucares, miel y confitería	[€]			
. Preparados de carne	[€]			
. Preparados de pescado, mariscos, invertebrados	[€]			
. Preparados de cereales	[€]			
. Preparados de hortalizas o frutas	[€]			
. Preparados alimenticios diversos	[€]			
. Bebidas con y sin alcohol (zumos, mermeladas)	[€]			
. Tabaco y sucedáneos elaborados	[€]			
. Piensos y alimentos para animales, paja y forraje	[€]			
Subtotal 5.2				
5.3.Servicios de restaurante				
. Comidas de empresa	[€]			
.. Servicio de restaurante	[€]			
.. Alimentos	[€]			
... Carnes	[€]			
.... Pollo, aves	[€]			
.... Cerdo, embutidos (pastos)	[€]			
.... Cerdo, embutidos (cultivos)	[€]			
.... Bovino (pastos)	[€]			
.... Bovino (cultivos)	[€]			
.... Ovino-caprino (pastos)	[€]			
... Pescados y mariscos	[€]			
... Cereales, harinas, pastas, arroz, pan	[€]			
... Bebidas (zumos, vino, alcoholes)	[€]			
... Legumbres, hortalizas, raíces y tuberculos	[€]			
... Azúcares, dulces, turrones	[€]			
... Aceites y grasas	[€]			
... Lácteos (quesos, nata, leche)	[€]			
... Cafés, té, cacao	[€]			
Subtotal 5.3				
Total 5				

Conversión de la huella de carbono a huella ecológica

Un paso ulterior es la conversión de toda la huella de carbono obtenida a huella ecológica, con lo cual se obtiene el indicador expresado en ambas unidades (CO_2 equivalente y hectáreas).

Obtención de la contrahuella

Aunque en la anterior versión se incluía solo la huella de los recursos agropecuarios (sin contrahuella) por fidelidad al método de huella ecológica de los territorios de Wackernagel, en la descripción de la metodología ya se mencionaba por entonces que *"es posible que en sucesivas versiones eliminemos la huella de los alimentos atribuida a tierra cultivable y a pastos, si bien se mantendrá la huella asociada a la energía fósil, que es la correspondiente al consumo de combustible de los tractores, empleo de abonos químicos, pesticidas, etc."* (Doménech, 2007). Para ello, se basaban en que el agricultor o el ganadero casi siempre explota una superficie en régimen de propiedad, de alquiler, de usufructo o de uso comunal. Es decir, es muy difícil que hoy en día existan (como aun sucede con lo forestal) cultivos furtivos o ganaderías clandestinas de las que se desconozca el origen o la propiedad del terreno explotado.

En consecuencia, la hipotética "etiqueta" de carbono de los productos agropecuarios debería incluir (ya desde el primer eslabón de la cadena de valor) tanto la huella correspondiente a cultivos o pastos, como la contrahuella debida a la propiedad u origen del terreno (un terreno que se va a seguir explotando en sucesivas campañas y que, por lo tanto, constituye un capital natural).

La huella de la pesca no se compensa con contrahuella debido a que el origen es menos conocido que en el caso de los cultivos o los pastos. Aunque se puede considerar que todos los caladeros de pesca son de propiedad pública (nacional, comunitaria, etc.), el origen es más difuso y también pueden darse (como para los recursos forestales) casos de furtivismo o de extracción altamente insostenible.

4.2.7. Huella forestal y huella hídrica

4.2.7.1. La huella forestal

Exactamente igual que en el caso de la huella agrícola y pesquera, el cálculo de la huella forestal comprende los siguientes pasos:

1) Asignación de los recursos o cuentas contables
2) Obtención de las toneladas de material adquirido
3) Obtención de los gigajulios totales
4) Obtención de la huella del carbono del ciclo de vida del material
5) Obtención de la huella del carbono de otros GEI
6) Obtención de la huella del carbono a partir de la huella ecológica
7) Conversión de huella de carbono a huella ecológica
8) Obtención de la contrahuella

Para la aplicación de la metodología, simplemente será necesario introducir los "inputs" en las correspondientes celdas de la hoja de cálculo (primera columna) obteniéndose los "outputs" automáticamente en las dos últimas columnas. En el caso de la huella forestal e hídrica, la hoja se divide tal y como se muestra a continuación (se han obviado las columnas de cálculos intermedios):

Tabla 47. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella forestal

CATEGORÍAS DE CONSUMOS	Ud.	Consumo anual en unidades de consumo [ud./año]	HUELLA TOTAL [tCO2]	CONTRA-HUELLA tCO2]
6. HUELLA FORESTAL				
. Trozas de madera, puntales, pilotes, estiba, traviesas, etc.	[€]			
. Madera cortada, aserrada, cepillada	[€]			
. Chapas de madera	[€]			
. Madera contrachapada, paneles	[€]			
. Artic. manufact. de madera (no muebles)	[€]			
. Mobiliario con base principal de madera	[€]			
. Pasta de madera u otras fibras celulósicas	[€]			
. Papel, cartón y sus manufacturas	[€]			
. Papel, cartón y sus manufacturas reciclado	[€]			
. Productos editoriales, prensa e industria gráfica	[€]			
. Productos editoriales en papel reciclado	[€]			
. Manufacturas del corcho	[€]			
. Manufacturas del caucho natural	[€]			
Total 6				
7. HUELLA HÍDRICA				
. Consumo de agua potable				
.. Uso alimentario	[m3]			
.. Uso sanitario y lavado	[m3]			
.. Uso de hidrantes (anti-incendios)	[m3]			
.. Riego de jardines	[m3]			
.. Riegos agrícolas	[m3]			
.. Riego anti-polvo (viales, graneles…)	[m3]			
.. Procesos industriales	[m3]			
. Consumo de agua no potable				
.. Uso sanitario y lavado	[m3]			
.. Uso de hidrantes (anti-incendios)	[m3]			
.. Riego de jardines	[m3]			
.. Riegos agrícolas	[m3]			
.. Riego anti-polvo (viales, graneles…)	[m3]			
.. Procesos industriales	[m3]			
Total 7				

4.2.7.2. Conversión de la huella de carbono a huella ecológica

Al igual que la huella ecológica se convierte a huella de carbono multiplicándola por el factor de absorción del ecosistema considerado, la conversión en sentido contrario se realiza dividiendo por dicho factor. De este modo, se obtiene la huella ecológica y la huella de carbono, pudiendo considerarlo un único indicador que se puede expresar tanto en hectáreas como en emisiones de CO_2.

4.2.7.3. Obtención de la contrahuella

En el caso de los recursos forestales, como en la agricultura, también se debe suponer que se dispone del suelo ocupado (propiedad, arrendamiento, monte comunal, etc.). Sin embargo, como ya se expuso en el capítulo anterior, existe más posibilidad de que la madera provenga del furtivismo, de las talas ilegales, de la deforestación, etc., por lo que no debe considerarse contrahuella a no ser que esté certificada.

4.2.7.4. La huella hídrica

Debido al interés que ha venido suscitando la adecuada gestión del agua, en la nueva versión se ha decidido separarla de la sección de recursos forestales donde antes estaba incluida. Se denomina huella hídrica de un individuo, una empresa o una nación, al volumen total de agua dulce que se utiliza para consumo propio o para la producción de bienes y servicios.

Conviene aclarar que por huella hídrica se entiende el consumo de agua total de la organización. Cuando se calcula la huella de carbono de un producto, su huella hídrica debería incluir el consumo de agua de la empresa que fabrica el producto más el de todos sus suministradores, esto es, el consumo de agua en todo su ciclo de vida. Esto último será posible con la metodología que estamos tratando cuando todos los suministradores calculen su huella de carbono con MC3 V.2.0, pues así todos ellos habrán incorporado sus consumos de agua.

El consumo de agua se ha dividido en dos tipos (potable o no potable) y en varias categorías lo cual permite establecer acciones correctoras independientes: consumo de agua para uso sanitario, consumo de agua contra incendios, consumo de agua para riego de jardines, consumo para riegos agrícolas, riego para evitar resuspensión de polvo (viales, parvas de graneles sólidos, parques de minerales, etc.) y consumo de agua en procesos industriales.

En esta versión se asume que el agua presenta dos tipos de huella: la energética debida a la captación y distribución (bombeos, etc.), y la debida al uso del suelo (bosques, como productores primarios de agua).

Tanto para el agua potable como para el no potable, se ha asumido que proviene de redes públicas canalizadas. Cuando provenga de otras fuentes (sobre todo en el caso del agua no potable), como pueden ser la recogida particular de aguas de lluvia o de escorrentía, para riegos u otros usos, la huella será menor, y se deberán hacer las correcciones correspondientes, o incluso eliminar la huella energética por insignificante.

4.2.7.5. Huella hídrica energética

Los servicios de agua tienen un coste derivado tanto de su captación o extracción, como de su distribución y posterior saneamiento. Todo ello produce consumo energético con su huella correspondiente. Así por ejemplo, el coste de los servicios de agua en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico asciende a unos 300 millones de euros (un 1% del PIB), de los que un 54% corresponde a los servicios de distribución de agua urbanos y el 43% a saneamientos. El suministro de agua “en alta” (extracción de aguas subterráneas, captación de aguas superficiales y transporte) supone un 2% del total. Mientras que en las Demarcaciones del tercio norte de España el coste de distribución de agua para riego es insignificante, en el resto del país supone hasta el 20% del total del coste de los servicios de agua. En el año 2008, el precio medio del agua para uso urbano doméstico fue de unos 0,86 €/m3, de los cuales 0,48 €/m^3 correspondían al abastecimiento y 0,38 €/m^3 al saneamiento. El precio medio del agua para uso urbano industrial fue de 1,93 €/m^3 (1,05 €/m^3 para abastecimiento y 0,88 €/m^3 para saneamiento). El pago medio anual por persona en municipios mayores de 20.000 habitantes fue de 60,44 €/persona o 166,8 €/vivienda, con un consumo de agua de alrededor de unos 160 litros/día (Demarcación Hidrográfica del Cantábrico, 2008). El consumo energético correspondiente a estos servicios asciende a 0,65 KWh/m^3, según datos obtenidos de los Cuadernos de Gestión Energética Municipal (IDAE, 1989).

Tabla 48. Intensidad energética (KWh/m3) del suo del agua

Abastecimiento (bombeo)	0,26
Potabilización	0,03
Depuración	0,36
TOTAL	**0,65**

Fuente: Cuaderno de Gestión Energética Municipal del IDAE

Se prescinde de la huella de la depuración ya que aquí solo interesa el abastecimiento, puesto que la huella del saneamiento se incluye en la sección de desechos, y, además, se ha calculado con mucha mayor precisión para una depuradora tipo. El consumo del abastecimiento es por tanto de 0,29 KWh/m^3, para el agua potable y de 0,26 KWh/m^3 para el agua no potable.

Hay que tener en cuenta que es la huella energética del agua y que, por lo tanto, no incluye la ocupación de espacio de las instalaciones superficiales (bombas o casetas de distribución, canales superficiales, no enterrados, etc.), de los materiales empleados en el mantenimiento de las redes, de los servicios contratados (mantenimiento, vigilancia, averías, etc.), de la amortización de las infraestructuras, etc. Una vez más recordamos que para tener la huella completa del consumo de agua se debería calcular la huella de la empresa municipal de distribución de aguas, con esta misma metodología MC3.

En la herramienta de cálculo se convierte el consumo de agua a KWh y se lleva a la hoja de consumo eléctrico (hoja "mix"), sumándose junto con el resto de consumos eléctricos de la organización. La huella hídrica energética no se puede conocer, por lo tanto, de modo independiente ya que está incluida en la huella energética de toda la organización.

4.2.7.6. Huella hídrica del suelo

En la versión antigua solo se incluía la huella del agua correspondiente a los bosques, heredada del método original de huella ecológica de territorios de Wackernagel. Este argumento se basaba en la capacidad de los bosques para generar vapor de agua a través de la transpiración y en la consideración de que estos contribuyen con un 10% aproximadamente del total de la evaporación (básicamente producida por la evaporación de la superficie oceánica y de la superficie terrestre). Se asigna entonces una capacidad de generación de hasta 1.500 m^3 de agua dulce por hectárea de bosque, suponiendo, tal y como se vino diciendo*: "un nivel de precipitación de 15.000 m^3/ha/año. En los bosques orientales de alta montaña de Asturias (norte de España) la precipitación también es de 15.000 a 17.000 m^3/ha/año. En zona de pastos esa producción de agua es una décima parte de la que produce el bosque. Aunque el uso del bosque como productor de agua puede ser secundario (pudiendo obviar esta huella), en algunas zonas ya se considera un uso primario del bosque, debiendo computarse, en consecuencia, su huella ecológica. Teniendo en cuenta el valor que está adquiriendo el agua y su creciente escasez a escala global, conviene computar la huella de su consumo en todos los casos, aun en zonas excedentarias*" (Doménech, 2007).

En la nueva versión se mantiene ese mismo argumento ya que, a pesar de que algunos opinan que la función del bosque como productor de agua no impide otros servicios como la absorción de CO_2 o la producción de leña, es preferible mantener la filosofía original de "un único servicio por unidad de superficie". Cuando los cálculos de huella dejen de estar subestimados como hoy sabemos que lo están (pues las estimaciones aun distan de ser perfectas), o bien cuando exista el adecuado consenso, se podrá pensar en asignar varios usos a una misma superficie de ecosistema.

4.2.8. La huella de la ocupación de suelo

Este apartado está estructurado en función de los pasos que se deben aplicar para el cálculo de la huella de carbono derivada de la ocupación del suelo, si bien los aspectos tratados (factores de equivalencia, de rendimiento y de absorción) son también de aplicación al resto de consumos orgánicos ya tratados en otros capítulos:

1) Obtención de los datos de ocupación directa de superficie

2) Obtención de la contrahuella o capital natural

3) Conversión a hectáreas equivalentes (factor de equivalencia)

4) Conversión al rendimiento local (factor de rendimiento)

5) Conversión de hectáreas a carbono (factor de absorción)

Para la aplicación de la metodología, simplemente será necesario introducir los "inputs" en las correspondientes celdas de la hoja de cálculo (primera columna) obteniéndose los "outputs" automáticamente en las dos últimas columnas. En el caso de la huella por ocupación de suelo, la hoja se divide tal y como se muestra a continuación (se han obviado las columnas de parámetros y cálculos intermedios):

Tabla 49. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella del uso del suelo

CATEGORÍAS DE CONSUMOS	Ud.	Consumo anual en unidades de consumo [ud./año]	HUELLA TOTAL [tCO2]	CONTRA-HUELLA tCO2]
8. HUELLA DEL USO DEL SUELO				
8.1. Sobre tierra firme				
. Zonas de cultivos	[ha]			
. Zonas de pastos o jardines	[ha]			
. Zonas de arbolado	[ha]			
. Construido, asfaltado, erosionado, etc.	[ha]			
. Acuicultura	[ha]			
.Superficie de nueva cantera *	[ha]			
Subtotal 8.1				
8.2. Sobre agua				
. Rellenos utilizados para cultivos	[ha]			
. Rellenos utilizados para pastos o jardines	[ha]			
. Rellenos utilizados para bosque o arbolado	[ha]			
. Rellenos para muelles, pistas, etc.	[ha]			
. Usos acuáticos, pesca (sin acuicultura)	[ha]			
. Acuicultura en mar	[ha]			
Subtotal 8.2				
Total 8				

* El tipo de suelo "superficie de nueva cantera" no pertenece a la metodología MC3 original, sino que ha sido introducido durante la realización del presente estudio con el fin de obtener un resultado final más preciso y fiable. Los pasos seguidos para crearla, se muestran en el capítulo 5.

En este caso, no es necesario calcular ningún tipo de contrahuella en base a los resultados arrojados por la herramienta de cálculo, puesto que los propios resultados están en términos de huella y contrahuella.

4.2.9. La huella de los residuos, de los vertidos y de las emisiones

4.2.9.1. La huella de los residuos

Esta segunda versión incorpora la huella de todos los residuos peligrosos y no peligrosos más habituales, obtenida a partir de una estación de tratamiento tipo a la que se ha aplicado la metodología tratada en este libro.

Con esta categoría de huella se hace realidad lo que se recomendaba en todos los capítulos anteriores: la necesidad de calcular más y más huellas de los diferentes sectores, organizaciones y productos, con el fin de ir sustituyendo los actuales valores de partida, muchos de ellos basados en la intensidad energética o en el poder calorífico, por la propia huella calculada con MC3 V.1.0.

Todas las filas de la herramienta de cálculo pueden ir siendo sustituidas poco a poco por la huella MC3, desglosada, además, en sus tipos de superficies (bosque para CO_2, cultivos, pastos, bosques, terreno urbanizado y mar), incluida la contrahuella.

Es, por tanto, un ejemplo claro de las ventajas de la retroalimentación y de la mejora metodológica que cabe esperar por medio de la misma.

Los valores contemplados en esta metodología pueden utilizarse sea cual sea el destino del residuo: a) tratamiento final (vertedero para los residuos sólidos urbanos, o el tratamiento específico que se le de a cada tipo de residuo); b) preparación para su revalorización en térmicas o cementeras; c) preparación para su envío a plantas de reciclaje.

Es decir, no importa cuál sea el destino del residuo, pues la huella contemplada es la del tratamiento, clasificación o preparación que se le hace en la planta de tratamiento. Existe una pequeña confusión con los residuos reciclados que lleva a una pregunta frecuente: ¿no tiene un residuo reciclado una huella diferente al no reciclado? Efectivamente, pero un residuo reciclado ya no es un residuo, sino un producto y la forma de actuar es la siguiente:

a) Por el mero hecho de venir separados los plásticos o envases, vidrio, papel-cartón, etc., tal y como vienen en la herramienta de cálculo MC3, ya se asume que serán destinados al reciclaje, y por tanto la herramienta de cálculo incluye solo la huella de su preparación en la planta de tratamiento final (separación, clasificación, limpieza, expedición a la planta de tratamiento, etc.).

b) Una vez el residuo se traslada a la planta de reciclado, comienza otro ciclo productivo y la planta recicladora podrá calcular su huella y la de los productos que fabrica, sea cual sea el origen de sus materias primas (de primera extracción o de productos usados). Obviamente, esta huella ya no tiene nada que ver con el productor del residuo, puesto que realmente ya es una nueva materia prima para un nuevo proceso productivo.

c) Dicho producto tendrá una ecoeficiencia y una huella inferior al producto no reciclado, y, por lo tanto, simplemente se debe añadir una fila más en la herramienta de cálculo (de hecho, la herramienta podrá tener tantas filas para un mismo producto, como huellas de diferentes marcas comerciales conozcamos).

d) Si una organización compra un producto reciclado (por ejemplo, papel de la marca x) del que no se conoce su huella, deberá asumir que no es reciclado e introducirlo en la herramienta de cálculo como si fuera papel normal (pues es responsabilidad del productor de la marca x calcular su huella y darla a conocer, o bien del comprador, exigir que la calcule).

En el caso de los residuos para revalorización es lo mismo: la metodología incorpora la huella de la preparación de estos productos en la planta de tratamiento final (clasificación de neumáticos, secado de lodos de depuradora, etc.). El uso que se les dé a su salida de esta planta ya es otra cuestión (es un combustible para un proceso industrial y debe ser utilizado como tal, con su poder calorífico, etc., en el cálculo de la huella de dicha industria).

4.2.9.2. Pasos para el cálculo de la huella de los vertidos

En los comienzos del desarrollo de la metodología MC3, se pensaba en incorporar los diferentes tipos de posibles vertidos o algunos de sus principales componentes, tales como aguas nitrogenadas, aguas hidrocarburadas, aguas con metales pesados, etc. Sin embargo, pronto se vio que lo que realmente controlan las empresas y organizaciones es un volumen total de aguas sanitarias, industriales o pluviales que se vierten a las redes de saneamiento o al medio natural (río o mar). Los autores consideraron por lo tanto, que este es el único parámetro a considerar para el cálculo de la huella de carbono.

Las aguas sanitarias se pueden verter a la red directamente, siempre y cuando cumplan con los límites de referencia establecidos en la legislación, mientras que las aguas industriales pueden necesitar pasar por tratamientos intermedios en las propias instalaciones (separadores, desengrasadores, decantadores o depuración). Las aguas pluviales conviene que sean dirigidas también a las redes de saneamiento cuando puedan producir arrastre de restos de hidrocarburos u otro tipo de contaminación, siendo cada vez más frecuente establecer redes separativas para su recogida y posterior utilización en riego, limpieza de viales, etc. (lo cual, por otro lado, disminuye la huella hídrica).

Las redes de saneamiento normalmente son distribuidas a través de una red de conducciones y estaciones de bombeo, hacia una estación depuradora de aguas residuales o EDAR, la cual consume energía y materiales, precisa de contratas diversas para su mantenimiento, ocupa una determinada superficie de terreno y produce residuos, como cualquier otra organización. El agua, una vez depurada, es conducida mediante emisarios a ríos o al mar. El estudio que vamos a describir más abajo se ha centrado en una depuradora con emisario al mar, pero por el momento vamos a asumir que ambos tipos de depuradoras (con vertido al mar o a río) presentan una huella similar.

Cuando se vierte al mar (siempre se parte del hecho de que los vertidos están autorizados) la posible depuración se realiza en las propias instalaciones de la organización por lo que la huella queda integrada en el resto de categorías de la organización (consumo energético, consumo de materiales o contratas de mantenimiento, entre otros). En este caso, la huella del vertido propiamente dicho es cero.

En esta metodología se incluyen las emisiones de GEI diferentes al CO_2 correspondientes al consumo de combustibles y de la electricidad; del consumo de gasoil empleado en las obras y en las obras de infraestructuras públicas; y del consumo de combustibles empleados en los servicios de transporte de personas y mercancías. Las correspondientes a la huella de los materiales genéricos, resto de servicios y otras categorías de consumos, no se incluyen ya que se parte del supuesto de que los factores de conversión empleados incluyen, o deberían incluir, la totalidad de emisiones equivalentes de CO_2. Desde luego, estarán incluidos en las futuras huellas que irán sustituyendo, por ejemplo, a las actuales intensidades energéticas de los materiales.

La herramienta de cálculo incluye además otras dos hojas o matrices de gases, la de gases de efecto invernadero (o precursores) no afectados por Kioto ("gas NOK") (CFC11, NOx, CO, O_3 y HCs) y la de otros gases y partículas ("gas") (SO_2, COVs, COPs, metales pesados y PM_{10}). La conversión de cualquiera de estas emisiones a toneladas de CO_2 (las que se encuentran disponibles) se realiza mediante los índices GWP (Global Warming Potential). La metodología original, solamente contemplaba los índices GWP recogidos en la tabla 50:

No obstante, durante la realización del presente estudio, se detectó que algunos otros gases, aparecían, para el caso de la industria cementera, en magnitudes suficientemente importantes como para deber tenerlos en cuenta.

MacCarty *et al.* (2007) han recogido algunos otros potenciales de calentamiento de algunos gases y partículas provocados, entre otros, por la combustión incompleta de la que Smith *et al.* (2000) dicen: *"los simples hornos que usan combustibles sólidos no solo convierten carbón en CO_2 sino que la mala combustión da lugar a otros productos que tienen mayor impacto en la*

atmósfera que el dióxido de carbono. Algunos, son oxidados a CO_2 pero otros tienen mayor potencial de calentamiento".

Tabla 50. Potencial de Claentamiento Global (GWP_{100}) de los principales gases de efecto invernadero

Gas de Efecto Invernadero	GWP_{100}
Dióxido de Carbono CO_2	1
Metano CH_4	21
Óxido nitroso N_2O	310
Hidrofluorocarbonos HFC's	11700
Perfluorocarbonos PFC's	6500
Hexafluoruro de Azufre SF_6	23900

Llama la atención el importante potencial de calentamiento de algunas partículas derivadas de la combustión, derivado de su facultad para absorber o dispersar la luz del sol. Los diferentes tipos de partículas poseen diferentes valores de dispersión de la radicación solar (lo que se conoce como Single Scattering Albedo o SSA) y absorberá más luz cuanto menor sea su SSA, produciendo más calor en la atmósfera. Generalmente, las partículas que tienen un bajo SSA tienen un mayor ratio de carbón elemental a carbón orgánico en su composición.

El carbón elemental o hollín, es aquella fracción derivada de la combustión con llama que no volatiliza a una temperatura de alrededor de 600 grados. Es una de las más importantes especies de aerosoles en la atmósfera y su potencial de calentamiento es de 680. Por el contrario, los derivados de la combustión sin llama, como el carbón orgánico y la materia orgánica contribuyen al enfriamiento global porque son aerosoles que reflejan la luz del sol. Al producir enfriamiento, estas partículas tienen un potencial de calentamiento negativo que varía, según los últimos estudios, entre -50 y -75 (predominando el primero) si bien la investigación aun está en curso (MacCarty *et al.,* 2007).

Tabla 51. Potencial de Calentamiento Global de otros gases y contaminantes atmosféricos

Gas o contaminante	GWP
Dióxido de Carbono CO_2	1
Dióxido de azufre SO_2	-94
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	8,20
Óxidos de nitrógeno NOx	270
Materia particulada PM-EC	680
Materia partículada PM-OC y PM-OM	-50

El dióxido de azufre, también llama la atención por su GWP menor que cero. Según Brakkee et al., 2007, esto es debido a que pese a ser un gas sensiblemente nocivo (causante de lluvia ácida, problemas respiratorios, etc.) en cuanto al efecto invernadero, es uno de los denominados "precursor de ozono", contribuyendo, bajo ciertas condiciones atmosféricas, a la formación de dicho gas protector.

4.2.9.3. Obtención de la huella de los residuos

En lo concerniente a la aplicación práctica de la metodología, señalar que simplemente habrá que meter los inputs en la siguiente hoja de cálculo (primera columna), obteniendo los outputs de forma automática (dos últimas columnas). Las demás columnas de cálculos y parámetros intermedios se han obviado.

Tabla 52. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella de los residuos, emisiones y vertidos

CATEGORÍAS DE CONSUMOS	Ud.	Consumo anual en unidades de consumo [ud./año]	HUELLA TOTAL [tCO2]	CONTRA-HUELLA tCO2]
9. HUELLA DE LOS RESIDUOS, EMISIONES Y VERTIDOS				
9.1. Residuos no peligrosos				
. Residuos urbanos y asimilables (vertedero)	[t]			
. Residuos urbanos y asimilables (inciner.)	[t]			
. Orgánicos (alimentos)	[t]			
. Papel y cartón	[t]			
. Envases ligeros (plástico, latas, brik)	[t]			
. Vidrio	[t]			
. Residuos de construcción y demolición	[t]			
9.2. Residuos peligrosos				
. Aceites usados	[t]			
. Emulsiones agua/aceite	[t]			
. Ácidos alcalinos o salinos	[t]			
. Sanitarios y MER	[t]			
. Filtros de aceite	[t]			
. Absorbentes usados	[t]			
. Pinturas, barnices, alquitranes, químicos	[t]			
. Pilas	[t]			
. Disolventes	[t]			
. Taladrinas	[t]			
. Baterías	[t]			
. RAEE (residuos de apartos eléctricos y electrónicos)	[t]			
. Envases contaminados (incluye metálicos)	[t]			
9.3. Residuos radiactivos				
Subtotal 9.1 / 9.2 / 9.3				
9.4. Vertidos en efluentes				
. Vertidos a red (con EDAR al mar)	[m^3]			
. Vertidos a red (con EDAR a río)	[m^3]			
. Vertidos al mar con autorización	[m^3]			
Subtotal 9.4				
9.5. Emisiones				
9.5.1. Gases GEI Protocolo Kioto				
. CH_4 (metano)	[t]			
. N_2O (óxido nitroso)	[t]			
. HFCs (hidrofluorocarbonos)	[t]			
. PFCs (perfluorocarbonos)	[t]			
. SF_6 (hexafluoruro de azufre)	[t]			
9.5.2. Otros GEI o precursores				
. CFC 11 (clorofluorocarbonos 11)	[t]			
. NOx (óxidos de nitrógeno)	[t]			
. CO (monóxido de carbono)	[t]			
. O_3 (ozono)	[t]			
. HCs (Hidrocarburos totales)	[t]			
9.5.3. Otras emisiones atmosféricas				
. SO_2 (dióxido de azufre)	[t]			
. COV (compuestos orgánicos volátiles)	[t]			
. COP (compuestos orgánicos persistentes)	[t]			

. Metales pesados	[t]				
. PM10 (partículas en suspensión)	[t]				
Subtotal 9.5					
Total 9					

4.2.10. Huella y contrahuella final

Obtenidos los totales de los nueve capítulos especificados, se calcula la huella total, así como la contrahuella total, sumándolos todos.

Finalmente, se obtendrá la huella neta total, restando, a la huella total, la contrahuella total. Todo el proceso explicado se irá detallando pormenorizadamente en el capítulo 5, de aplicación a los casos de estudio.

Capítulo 5 Aplicación de la metodología MC3 a los casos de estudio

5.1. Introducción

Una vez definidos los casos de estudio y la metodología que se empleará para la realización del análisis de la huella corporativa, se procede a continuación a explicar la aplicación práctica y la presentación de los resultados obtenidos.

5.2. Aplicación de la metodología MC3 al caso de una planta integral actual con capacidad de 1.000.000 t/año (Caso A)

5.2.1. Toma de datos

Tal y como se mencionó en el capítulo 3 del presente documento, los datos de partida para el estudio de una planta integral actual "tipo" se han estimado del siguiente modo:

Tabla A1 – Gastos de inversión anuales (considera período de amortización de 20 años) (caso A)

CONCEPTO	KE	%	ACERO	PERSONAL	GASOIL	MAT EL	HORMIG	TOTAL
EQUIPOS	3.250	45	2.763	390	98	0	0	3.250
MONTAJE Y ESTRUCTURAS	700	10	630	56	14	0	0	700
OBRA CIVIL	2.150	29	108	215	108	0	1.720	2.150
ELECTRICIDAD Y CONTROL	920	13	0	138	0	782	0	920
INGENIERIA	276	4	0	276	0	0	0	276
								7.296
TOTAL	7.296	100	3.500	1.075	219	782	1.720	7.296
	%		48	15	3	11	24	100

Tabla A2 – Terrenos ocupados por la planta (caso A)

TOTAL PARCELA		298000	M2
	M	M	M2
	25	45	1.125
	12	6	72
	15	7	105
	25	25	625
	11	11	121
	5	8	50
	25	40	1.000
	62	20	314
	94	20	1.880
	18	6	108
	18	10	180
	93	22	2.046
		25	491
		12	113
		30	707
		30	707
		45	1.590
		45	1.590
		45	1.590
		30	707
		12	113
		12	113
		12	113
	44	21	924
	21	21	441
	6	15	90
	36	20	720
	13	8	104
	13	8	104
TOTAL			**17.845**
%			**6,0**

Tabla A3 – Costes anuales de explotación (caso A)

COSTES		€/t	€/AÑO
Personal (F)		4,20	4.201.341
Mat y servicios total		8,62	8.620.006
Mat y servicios variable		3,84	3.841.308
Personal		1,44	1.442.765
Materiales fabricacion		2,40	2.398.542
	Acero	1,92	1.918.834
	Refractario	0,48	479.708
Materiales y servicios fijos		4,78	4.778.699
Personal		3,82	3.822.959
Materiales manto	**Acero**	0,96	955.740
Combustibles	**Coke**	3,43	3.431.867
En eléctrica		5,66	5.657.400
Mat. Adición		5,47	5.470.072
Clinker ajeno		0,00	0
Otros (F)		1,29	1.287.866
	Personal	0,70	700.000
	Varios	0,59	590.000
Sacos	**Papel**	0,09	87.429
Palets	**Madera**	0,93	933.333
TOTAL		29,69	29.689.315
TOTAL CEMENTO POLVO		27,52	27.519.315

Tabla A4 – Materiales consumidos (caso A)

OPCION	FCA INTEGRAL		MOLIENDA	P ESPEC (t/m3)
	ACTUAL	MTD		
TOTAL (t/a)				
CALIZA	664.600	609.400	105.000	2,3
ARCILLA	141.930	123.120	0	1,7
CORRECTOR Fe	7.470	6.480	0	1,9
YESO	59.000	54.000	57.000	1,8
C VOLANTE	128.000	0	0	0,5
C FONDO	0	207.000	205.000	1,4
COKE	69.191	43.740	0	1,4
TOTAL GRAL	1.070.191	1.043.740	367.000	
TOTAL SIN RESIDUOS	942.191	836.740	162.000	

Tabla A5 – Residuos generados (caso A)

OPCION	TIPO	PLANTA INTEGRAL		MOLIENDA	Uds
		ACTUAL	MTD		
Aceites usado	Peligrosos	4200	4200	1500	kg/año
Filtros de aceites	Peligrosos	150	150	50	kg/año
Pilas y baterías	Peligrosos	80	80	50	kg/año
Trapos contaminados	Peligrosos	1600	1600	900	kg/año
Tubos fluorescentes	Peligrosos	12	12	4	kg/año
Toner	Peligrosos	12	12	10	kg/año
Filtros de mangas	No peligrosos	1000	1400	400	kg/año
Sacos de cemento	No peligrosos	1200	1200	1200	kg/año
Palets usados desechados	No peligrosos	800	800	800	kg/año
Residuos laboratorio	Peligrosos	700	700	700	kg/año
Reactivos laboratorio	Peligrosos	3	3	3	kg/año
Papel, cartón	RSU	700	700	550	kg/año
Orgánicos	RSU	3600	3600	1200	kg/año
Envases ligeros	RSU	520	520	370	kg/año
Vidrio	RSU	780	780	500	kg/año
TOTAL		15357	15757	8237	kg/año
		15,4	15,8	8,2	t/año

Tabla A6 – Emisiones de polvo (caso A)

M3/h	FCA INTEGRAL		MOLIENDA
	ACTUAL	MTD	
MACHAQUEO	80.000	80.000	0
PARQUES	120.000	120.000	65000
HOMO	25.000	25.000	0
HORNO-CRUDO	494.849	395.879	0
ENFRIADOR	446.245	383.489	0
STOCK CK	80.200	80.200	80.200
MOLIENDA CEMENTO	342.857	342.857	342.857
STOCK Y EXPEDICION	76.000	76.000	76.000
TOTAL	1.665.151	1.503.425	564.057
BASE (MG/M3)	20	15	20
EMISION (KG/h)	33,3	22,6	11,3
t/año	251	170	85

Tabla A7 – Emisiones de gases (caso A)

CONTAMINANTE	FCA INTEGRAL		MOL.	Ud	FCA INTEGRAL		MOL.	Ud
	ACT.	MTD			ACT.	MTD		
NOX	400	150	6	mg/Nm3	43.106	12.932	2.943	kg/año
NH3	0	15	0	mg/Nm3	0	1.035	0	kg/año
SO2	350	60	0	mg/Nm3	37.718	5.173	0	kg/año
ClH	0,5	0,5	0	mg/Nm3	54	43	0	kg/año
FH	0,05	0,05	0	mg/Nm3	5	4	0	kg/año
DIOX Y FUR METAL PESADOS	0,8	0,4	0	ng/Nm3	86	34	0	g/año
Hg	0,03	0,03	0	mg/Nm3	3	3	0	kg/año
Cd+Tl	0,03	0,03	0	mg/Nm3	3	3	0	kg/año
As+Sb+Pb+Cr+Co+ Cu+MN+Ni+V	0,3	0,3	0	mg/Nm3	32	26	0	kg/año

Tabla A8 – Consumos de agua (caso A)

	FCA INTEGRAL				MOLIENDA	
	ACTUAL		MTD			
AGUA TORRE REFRIGERACIÓN	610,0916	m^3/día	0	m^3/día	0	m^3/día
	191263,7	m^3/año	0	m^3/año	0	m^3/año
AGUA REFRIG MAQ	40.000	m^3/año	40.000	m^3/año	15.000	m^3/año
AGUA POTABLE	38.462	m^3/año	38.462	m^3/año	10.000	m^3/año
TOTAL	269.725	m^3/año	78.462	m^3/año	25.000	m^3/año

5.2.2. Aplicación

5.2.2.1. Costes de inversión

Los gastos de inversión (teniendo en cuenta que el periodo de amortización ha sido fijado en 20 años) son introducidos en la "matriz de obras", puesto que los materiales aquí recogidos fueron destinados a realizar las obras de construcción de la planta. De este modo, y con carácter general, los gastos de explotación serán introducidos a posteriori en las correspondientes casillas de la hoja de cálculo, tal y como se expone en apartados sucesivos. Así pues, los datos de la Tabla A1 se procesan del siguiente modo:

• En matriz de obras entra: "Montaje y Estructuras" como "Edificios estructura metálica o mixta con metal" (celda C15 de hoja "obras"), "Obra civil" como "Edificios de fábrica u hormigón" (C14 de hoja "obras") y "Electricidad y control" como "Instalaciones de iluminación (pistas, balizas, etc.)" (C18 de hoja "obras"). Debe notarse que aquí se introduce el total de la obra, puesto que la matriz de obras separa ya lo correspondiente a personal (que no computa como huella).

• Los "Equipos", en vez de entrar en la matriz de obras, por su tipología, se han considerado más propios de la siguiente clasificación, teniendo en cuenta que se cuenta con los datos disgregados de "acero", "gasoil", etc.:

- El "acero" entra en el apartado "Materiales amortizables" como "Maquinaria industrial y grandes equipamientos" (E155)

- El "gasoil" entra en "Combustibles-Gasoil A" (D26)

- El personal no se introduce en la hoja de cálculo, pues no computa como huella.

• En "servicios" entra: "Ingeniería" como "Servicios de oficina de alto valor añadido" (E188).

5.2.2.2. Terreno ocupado por la planta

Los terrenos ocupados por la planta propiamente dicha (recogidos en Tabla A2), abarcan una extensión de 1,7845 ha, dentro del total de la parcela de 29,800 ha. Se ha estimado que del total, un 25% suele estar destinado a zonas verdes (arbolado, jardines, césped, etc.), cerca de un 60% son viales, parkings, almacenes de maquinaria al aire libre, etc. y el resto son edificios propios de la planta (en este caso 1,7845 ha) y terreno no urbanizado. Por tanto, en la hoja de cálculo serán introducidos los datos de la siguiente forma:

Zonas de pastos o jardines (D355)……....7,45 ha (25%)

Suelo construido, asfaltado, erosionado, etc. (D357)....17,88 ha (60%) + 1,7845 (planta)

Zonas de cultivos (D354).....…….…….2,6855 ha (terreno sin urbanizar)

TOTAL……..……..29,800 ha

Además de esto, se estima que una factoría de este tipo, implica un consumo de materias primas equivalente a la explotación de 3,8 ha/año de cantera a cielo abierto. Por tanto, en la hoja de cálculo, deben introducirse, aparte de lo anterior, las 3,8 ha modificadas durante la explotación de la cantera.

Debe mencionarse que estas 3,8 ha anuales que se "consumen" de bosque, solamente se contabilizarían un año si la explotación de la cantera consistiese en ir profundizando y excavando cada vez más; todo esto dentro de las mismas 3,8 ha, puesto que de este modo, solamente se eliminaría la correspondiente fracción de bosque una vez (el primer año). Dado que cada cantera trabaja bajo sus propias condiciones de explotación y el objeto del presente documento es modelizar el comportamiento de una planta "tipo", se acepta su introducción en la hoja de cálculo, asumiendo que en el hipotético año de cálculo, la empresa efectivamente destruyó la mencionada cantidad de suelo forestal.

Sería lógico que esta superficie de cantera se introdujese en "bosques", puesto que habitualmente es el tipo de terreno que suele ser destruido para su explotación. No obstante, la metodología entendería en este caso que existe cierta contrahuella cuando en realidad, una vez abierta la cantera, el suelo resultante tiene una capacidad de asimilación de CO_2 nula. Por ello, para este caso en concreto, se ha añadido la fila 359, denominada "Superficie de nueva cantera". El factor de absorción que se toma es el de los "bosques" (bajo la mencionada hipótesis de que el terreno convertido en cantera era un bosque) pero la contrahuella es directamente cero.

Finalmente, aclarar que en este caso, no es necesario aplicar a los terrenos el mismo criterio de amortización en 20 años, que se había aplicado a los gastos de inversión en el apartado anterior, puesto que el terreno principal suele ser más o menos fijo y ya se incluye en la primera huella inicial calculada para la empresa (luego no suele variar o varía poco). Sin embargo, en las inversiones sí se debe dividir entre la vida útil para evitar las oscilaciones bruscas que supondría añadir grandes obras en diferentes años, lo cual distorsionaría la interpretación del indicador a lo largo del tiempo.

5.2.2.3. Costes de explotación

En este apartado, se tomarán los datos de la Tabla A3, los cuales se procesan del siguiente modo:

• En primer lugar, la partida presupuestaria denominada "Personal(F)" se refiere al personal propio de la empresa, destinado a labores de dirección, supervisión, conducción, laboratorio, administración, expedición y gestión del mantenimiento. Por tanto, y como ya se ha repetido en anteriores ocasiones a lo largo del presente documento, no se deberá introducir en la hoja de cálculo puesto que la metodología seguida no computa el personal de la empresa como huella ecológica.

• En segundo lugar, los materiales y servicios entran en la hoja de cálculo como sigue, teniendo en cuenta que son "materiales no amortizables". Aunque algunos de estos materiales podrían ser amortizables, la huella es la misma, por lo que el resultado no varía:

Materiales de fabricación:…….....…2,398,342 €

Refractario → Ladrillo, cerámica y mat. refractario (E112)……..….450,000 €

Acero → Prod. básicos de hierro y acero (E123)……...….1,948,342 €

Materiales de mantenimiento…….....……...955.740 €

Acero → Prod. básicos de hierro y acero (E123)……....…….....956,740 €

El concepto denominado "personal", tanto dentro de "Materiales y servicios fijos" como "Materiales y servicios variables" se refiere a todos los servicios subcontratados que afectan directamente a la operación: perforación y voladura, transporte, ejecución del mantenimiento, limpieza industrial, etc. Es por ello, que se incluye esta partida en la casilla E200 de la hoja de cálculo "Servicios exteriores de limpieza, mantenimiento y similares" con un importe de 1.442.765 € + 3.822.959 € = 5.265.724 €

• En tercer lugar, tenemos la partida de combustibles (coque) de 3.431.867 €/año. No obstante, dadas las grandes oscilaciones del precio de los combustibles, como comprobación, se estima que el consumo de 780 the/t de clinker, al factor ck/cemento de 0,747 da un consumo de coque de 72.832 t/año. Considerando un 84 % de C en el coque, la emisión de CO_2 sería de 224.324 t/año de CO_2. Quitando un 5 % de combustibles secundarios, la emisión sería de 211.108 t/año de CO_2. La hoja emplea, bajo la denominación "carbón" el poder calorífico de la antracita, combustible frecuente en usos de este tipo, con lo que el resultado que arroja es de 231.207 t de CO_2, valor bastante aproximado a la estimación realizada, y que por tanto, puede considerarse válido.

No obstante, el combustible que suele emplearse en los hornos de clinker es el coque. Por ello, con el fin de ser más precisos, se ha añadido un nuevo par de filas (filas 12 y 13):

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	***Huella del carbono corporativa***					**Empresa:**		**Empresa ejemplo**						*Sugerencias:*			MC3 V2.0
2	*Introducir sólo las casillas en rojo*					**Año:**	**2007**	**Introducción de datos :**		abr-08							
3																	
4	**CATEGORÍAS DE CONSUMOS**	**Unidades**	**Consumo anual**					**Factor emisión**		**Huella por tipo de ecosistema, en tCO2**						**HUELLA TOTAL**	**CONTRA-HUELLA**
5			**en unidades de consumo**	**en euros sin IVA**	**en toneladas**	**[GJ/t]**	**en gigajulios**	[t CO2 eq / / t comb.]	[tCO2/Gj]	**bosques para CO2**	**tierra cultivable**	**pastos**	**bosques**	**terreno construido**	**mar**		
6																	
7			[ud./año]	[l/año]	[t/año]		[GJ/año]			[tCO2]	[tCO2]	[tCO2]	[tCO2]	[tCO2]	[tCO2]	[tCO2]	tCO2]
8	**1.-EMISIONES DIRECTAS**																
9	**1.1. Huella de los combustibles**					**Poder calor.**											
10	Carbón (antracita) (combustión)	[€]		0.0	0.0	29.45	0.00		0.0973	0.0						0.0	
11	" (Ciclo de Vida)							0.969		0.0						0.0	
12	Carbón (coque) (combustión)	[€]			72,832.0	30.30	2,206,809.60		0.1071	236,349.3						236,349.3	
13	" (Ciclo de Vida)							0.969		70,574.2						70,574.2	

Figura 12. Vista parcial de la herramienta de cálculo MC3 con las nuevas filas 12 y 13

En la celda F12 se introducen las 72.832 t/año que se acaban de calcular. El poder calorífico es obtenido en el Anexo 8 del Inventario Nacional de Emisiones de GEI 1990-2007 (2009). Dicho valor es de 30,3 GJ/t (valor introducido en G12) y multiplicado por el dato anterior, se obtienen los GJ/año (celda H12).

Las toneladas de CO_2 emitidas por GJ, pueden ser también obtenidas en el mencionado Anexo 8, donde para la categoría "coque de gas/hornos de coque" y con un factor de oxidación de 0,99, resulta un valor de 107,1 tCO_2/TJ (introducido en celda J12).

Excepcionalmente, para el ciclo de vida del carbón, madera y biomasa, se utiliza el factor de emisión en $tCO_2eq/tcombustible$ (celda I13). Para el carbón, este valor es de 0,969 según la Comisión Europea (JRC, 2007). Al ser CO_2 equivalente, incluye el resto de GEI como N_2O y CH_4 (por lo tanto, no genera entradas en la hoja "gas K"). En próximas versiones se sustituirá por CO_2 no equivalente.

Multiplicando los GJ/año or estos últimos valores se obtiene la "huella por tipo de ecositema" (celdas K12 y K13) y sumando las filas se obtienen las huellas totales (celdas Q12 y Q13).

Complementariamente se han introducido también las correspondientes filas en las hojas "gas", "gas K" y "gas NOK".

• La energía eléctrica consumida y valorada en 5.657.400 € no se introduce directamente, puesto que en la hoja de cálculo, deben ser introducidos los kWh consumidos y no el coste económico, debido a las oscilaciones en el precio del kWh. Por ello, se estima que el consumo de energía eléctrica es de 94,3 kWh/t cemento, o sea, de unos 94.300.000 kWh al año, valor que sí entra en la casilla B4 de la hoja "mix". Véase que, dado a la generalidad del caso, se ha asumido el mix nacional, ya que lo habitual es que la energía sea suministrada por una compañía única, pero cuya producción se debe a diferentes tipos de centrales eléctricas.

• El "Material adición" de la Tabla A3, se contabiliza en el apartado "materiales" como "materias primas (áridos-mineral en general)" (E109) debiendo ser sumado al valor ya introducido de materiales empleados para la fabricación del cemento.

• El concepto "Otros (F)" engloba impuestos y tasas locales, auditorias, personal de vigilancia, etc. Ante la ambigüedad del concepto en sí, lo mejor es incluirlo en la casilla E200 "Servicios exteriores de limpieza, mantenimiento y similares" para no distorsionar el resultado con respecto a otros conceptos. A parte de estos 590.000 €, se ha estimado un consumo de agua,

para una planta integral actual, de 269.725 m^3/año (Tabla A8). Aunque en su mayoría suele proceder de fuentes propias, a un precio bajísimo, debemos adaptarnos a la metodología MC3, por lo que se incluirá este consumo en la casilla "Consumo de agua potable – Procesos industriales" (D342).

• Finalmente, "Sacos – papel" entra en "Recursos forestales – papel, cartón y sus manufacturas" (E326) y "Palets – madera" en "Trozas de madera, palets, puntales, pilotes, estiba, traviesas, etc." (E319)

5.2.2.4. Residuos generados

Algunos de los residuos especificados en la tabla A5 no tienen celda equivalente en la hoja de cálculo. Por ello, se han tratado del siguiente modo:

"Aceites usados" entra en "Aceites usados" (F387)

"Filtros de aceite" entra en "Filtros de aceite" (F391)

El concepto "Pilas y baterías" se divide igualmente en "Pilas" (F394) y "Baterías" (F397).

"Trapos contaminados" en "absorbentes usados" (F392)

"Tubos fluorescentes" en "RAEE (residuos de aparatos eléctricos y electrónicos)" (F398)

"Toner" en "Residuos urbanos y asimilables (vertedero)" (F379) ya que hoy en día la tendencia es a considerarlo residuo no peligroso y además incluso se reciclan con lo cual su huella es bastante reducida.

"Filtros de mangas", "Sacos de cemento" y "Palets usados desechados" en "Residuos Sólidos Urbanos (vertedero)" (F379) pues el papel manchado suele ser desechado y la madera también suele ser llevada a vertedero normal.

"Residuos de laboratorio" como "Envases contaminados (incluye metálicos)" (F399)

"Reactivos de laboratorio" como "Ácidos alcalinos o salinos" (F389)

"Papel, cartón" en "Papel y cartón" (F382)

"Orgánicos" en "Residuos urbanos y asimilables (vertedero)" (F379)

"Envases ligeros" en "Envases ligeros (plásticos, latas, brik)" (F383)

"Vidrio" en "Vidrio" (F384)

5.2.2.5. Emisiones de polvo

En la Tabla A6 se obtienen las t/año de polvo que produce la planta y se introducen en la pestaña "gas", celda L41 referida a partículas sólidas en suspensión. Tanto éstas como las demás emisiones de gases diferentes al CO_2, se convierten a toneladas equivalentes de CO_2 emitido mediante el denominado índice GWP (Global Warming Potential). Dicho índice representa, para la tonelada de cada gas, las toneladas de CO_2 que poducirían un efecto invernadero de igual magnitud. En concreto, el GWP de las partículas en suspensión es de 680 (MacCarty el al., 2007), lo cual indica que cada tonelada emitida equivale a la emisión de 680 toneladas de CO_2. Dicho valor puede verse recogido en la hoja de cálculo, en la celda I428.

5.2.2.6. Emisiones de gases

Se introducen en este apartado, los datos de la Tabla A7, tal y como se indica a continuación:

- SO_2 en pestaña "gas", celda D37
- (Hg)+(Cd+Tl)+(As+Sb+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V) en pestaña "gas", celda J40
- DIOX Y FUR METAL PESADOS en pestaña "gas", celda F38
- NOx en pestaña "gas NOK", celda F38
- NH3, ClH y FH no se encuentran de momento, recogidos en la presente versión de la metodología MC3, por lo que dichos valores no podrán ser tenidos en cuenta para el cálculo de la huella de carbono.

Es importante resaltar, que algunas de estas emisiones no producen efecto invernadero, por lo que su GWP es nulo, no contabilizando para la huella de carbono. No obstante, no debe entenderse esto, como que no son nocivos. Dichos gases pueden producir efectos perjudiciales para la salud y medio ambiente, como contribuir a la formación de lluvia ácida, causar problemas respiratorios, etc. pero no contribuyen al efecto invernadero.

En esta línea, merece la pena destacar el caso de las emisiones de SO_2. Dicho gas, pese a ser medioambientalmente nocivo, no contribuye al efecto invernadero. Por ello, lo que denominan "efecto directo" es nulo y su GWP=0. No obstante, el SO_2 es uno de los conocidos como "precursores de ozono", lo que quiere decir, que contribuye a la formación de ozono bajo determinadas condiciones atmosféricas. Así pues, pese a todo lo nocivo que puede llegar a ser dicho gas, en cuanto al efecto invernadero, tiene un "efecto indirecto" beneficioso y por tanto, su GWP es negativo, concretamente establecido en -94 (Brakkee, 2008). Dicho valor puede verse recogido en la celda I424.

5.2.2.7. Emisiones directas

En la Unión Europea se consume un promedio de 1.570 kg de materias primas para obtener una tonelada de clínker. La mayor parte de la materia restante se pierde en el proceso de calcinación en forma de emisiones atmosféricas de dióxido de carbono

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

La liberación de CO_2 resultante de la reacción química que transforma la piedra caliza en CaO y demás componentes del clinker es de:

0,785 tCO_2/tCaO

0,50711 tCO_2/tclinker

0,448769912 tCO_2/tcement

Así pues, en la hoja de cálculo (celda F43), debe introducirse una emisión directa de CO_2 proveniente de la reacción química, de:

$$0{,}448769912\ \frac{t\ de\ CO_2}{t\ de\ cemento} \cdot 1.000.000\ \frac{t\ de\ cemento}{año} = 448.770\ \frac{t\ de\ CO_2}{año}$$

5.2.2.8. PIB corporativo

Teniendo en cuenta que el precio de venta promedio de la tonelada de cemento es de 65 €, el PIB sería de 65,000,000 €. Este valor es el que se introduce en la pestaña "out", celda N14.

5.2.2.9. Cantidad de producto

Es una de las hipótesis de partida, fijada en 1.000.000 toneladas/año. Este valor entra en la celda N16.

5.2.3. Comprobación final

El resultado de huella que arroja la hoja de cálculo, es un valor bastante elevado. Por ello, durante la elaboración del presente documento, se planteó si el modelo MC3 estaría dando resultados realmente creíbles para el caso concreto de la industria cementera. Para ello, se hizo la siguiente comprobación. En términos generales, los factores de emisión de la industria del cemento son:

a.- Liberación de CO_2 resultante de la reacción química que transforma piedra caliza en CaO y demás componentes del clinker:

0,785 tCO_2/tCaO

0,50711 tCO_2/tclinker

0,448769912 tCO_2/tcemento

b.- La intensidad de CO_2 promedio varía desde 0,65 hasta 0,92 tonelada de CO_2 por tonelada de cemento entre los países con una media ponderada de CO_2 0,83 t / t. El promedio de la intensidad global del CO_2 en la producción de cemento disminuyó un 1% por año entre 1994 y 2003.

En este caso, para un millón de toneladas de cemento elaborado, la emisión de CO_2 sería de:

$$0{,}83\ tCO_2/tcemento \cdot 1.000.000\ tcemento = 830.000\ tCO_2$$

La hoja de cálculo, arroja el valor de 366.686,9 tCO_2, sin haber tenido en cuenta el CO_2 liberado por la reacción química, sino solamente por combustibles, materias primas, etc. Por ello, hay que sumarle las emisiones directas introducidas en la celda F43, que fueron calculadas como sigue:

$$0{,}448769912\ tCO_2/tcement \cdot 1.000.000\ tcemento = 448.770\ tCO_2$$

Así pues, el CO_2 total que emite la empresa tipo A es de:

$$366.686{,}9\ tCO_2 + 448.770\ tCO_2 = 815.456{,}9\ tCO_2$$

Puede apreciarse que es un valor realmente aproximado a las 830.000 tCO_2 estimadas anteriormente y comprendido entre las 650.000 y 920.000 tCO_2 citadas en el punto 2. Sirva la ocasión para resaltar la enorme contribución al efecto invernadero que las plantas de elaboración de cemento representan en la actualidad.

5.3. Aplicación de la metodología MC3 al caso de una planta de molienda con capacidad de 1.000.000 t/año (Caso B)

5.3.1. Toma de datos

Una vez realizada la aplicación de la metodología MC3 al caso de estudio A (Planta Integral Actual), se procederá, a continuación, a describir los pasos seguidos, así como los criterios tomados, para la aplicación de MC3 al caso B (Planta de Molienda).

Tal y como se mencionó en el capítulo 3 del presente documento, los datos de partida para el estudio de una planta de molienda "tipo" se han estimado del siguiente modo:

Tabla B1 – Desglose costes de inversión (caso B)

EQUIPOS	€	%
Transporte interno y tolvas alimentación	**2.476.000**	
Filtros	**532.000**	
Silos cemento	**724.000**	
Ensacadora y paletizadora	**837.612**	
Compresores	**300.000**	
Básculas Comerciales	**210.685**	
Laboratorio	**346.423**	
Red protección incendios	**57.000**	
Bolas molino	**410.000**	
Repuestos	**227.000**	
Hogar secadero materias primas	**177.000**	
Equipos informatica + vigilancia + instalaciones	**150.000**	
Mobiliario oficinas y sala control	**150.000**	
Subtotal	6.597.720	16
Sección Molino (llave en mano)	**9.800.000**	24
SUBTOTAL EQUIPOS	14.668.936	37
INSTALACIONES		
Instalación eléctrica	**4.540.000**	11
Control y mando	**250.000**	1
Subtotal	4.790.000	12
Estruct y cerramiento + Montaj mecán	**4.950.000**	12
Subtotal	4.950.000	12
SUBTOTAL INSTALACIONES	9.740.000	24
TOTAL EQUIPOS E INSTALACIONES	24.408.936	61
TOTAL INGENIERIA	900.000	2
OBRA CIVIL E INFRAESTRUCTURAS		
Urbanizacion, carretera y Plan Parcial	**2.500.000**	6

Subtotal accesos	2.500.000	6
Obra Civil (Obra civil+Domo+Urb.interior+Oficinas)	**11.000.000**	27
TOTAL OBRA CIVIL E INFRAESTRUCTURAS	13.500.000	34
TOTAL SIN TERRENOS	38.808.936	97
Terrenos	**735.000**	2
TOTAL INVERSION MATERIAL	39.543.936	99
GASTOS OBRA	600.000	1
TOTAL INVERSION	40.143.936	100
t/año	1.000.000	
€/t/año	40	

Tabla B1b – Costes de inversión anuales (amortización 20 años) (caso B)

EQUIPOS	€	ACERO	PERS	GASOIL	MAT EL	HORMIG	TERR	TOTAL
SUBTOTAL EQUIPOS	733.447	623.430	88.014	22.003	0	0	0	733.447
INSTALACIONES	0	0	0	0	0	0	0	0
Instalación eléctrica+control	239.500	0	35.925	0	203.575	0	0	239.500
Estruct y cerramiento + Montaj mecán	247.500	222.750	19.800	4.950	0	0	0	247.500
SUBTOTAL INSTALACIONES	487.000	222.750	55.725	4.950	203.575	0	0	487.000
TOTAL EQUIPOS E INSTALACIONES	1.220.447	846.180	143.739	26.953	203.575	0	0	1.220.447
TOTAL INGENIERIA	45.000	0	45.000	0	0	0	0	45.000
OBRA CIVIL E INFRAESTRUCTURAS								
Urbanizacion, carretera y Plan Parcial	125.000	0	0	0	0	0	0	0
Obra Civil (Obra civil+Domo+Urb.interior+Oficinas)	550.000	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL OBRA CIVIL E INFRAESTRUCTURAS	675.000	0	101.250	47.250	0	526.500	0	675.000
TOTAL SIN TERRENOS	1.940.447	846.180	289.989	74.203	203.575	526.500	0	1.940.447
Terrenos	36.750	0	0	0	0	0	36.750	36.750
TOTAL INVERSION MATERIAL	1.977.197	846.180	289.989	74.203	203.575	526.500	36.750	1.977.197
GASTOS OBRA	30.000	3.000	18.000	6.000	0	3.000	0	30.000
TOTAL INVERSION	2.007.197	849.180	307.989	80.203	203.575	529.500	36.750	2.007.197

Tabla B2 – Ocupación de terrenos (caso B)

TOTAL PARCELA		50000	M2
	M	M	M2
NAVE MP	63	43	2.709
MOLINO	23	20	460
NAVE ENS	30	49	1.470
	13	8	104
SILO		18	254
		18	254
TOLVAS	18	18	324
DOMO		42	1.385
TOLVAS DOMO	15	15	225

PASARELAS	30	15	450
	15	4	60
OFICINAS	15	30	450
BASCULAS	15	6	90
PARKING	100	20	2.000
			10.236
VARIOS			1.024
TOTAL			11.260
%			23

Tabla B3 – Costes anuales de explotación (caso B)

COSTES		€/t	€/AÑO
Personal		2,59	2.590.000
Materiales y servicios total		5,23	5.230.000
Mat y servicios variables		3,18	3.180.000
Personal		1,59	1.590.000
Materiales fabricacion		1,59	1.590.000
	Acero	1,50	1.500.000
	Refractario	0,09	90.000
Materiales y servicios fijos		2,05	2.050.000
Personal		1,59	1.590.000
Mat mto	**Acero**	0,46	460.000
Combustibles	**Gasoil**	0,13	1.053.000
En eléctrica		3,02	3.020.000
Mat. Adición		3,61	3.610.000
Clinker ajeno		28,87	28.870.000
Otros		3,00	3.000.000
	Personal	2,00	2.000.000
	Varios	1,00	1.000.000
Sacos	**Papel**	0,08	80.000
Palets	**Madera**	0,95	950.000
TOTAL COSTE EXPLOTACIÓN		48,20	48.200.000
TOTAL CEMENTO POLVO		46,10	46.100.000

Tabla B4 – Materiales consumidos (caso B)

OPCION	FCA INTEGRAL		MOLIENDA	P ESPEC (t/m3)
	ACTUAL	MTD		
TOTAL (t/a)				
CALIZA	664.600	609.400	105.000	2,3
ARCILLA	141.930	123.120	0	1,7
CORRECTOR Fe	7.470	6.480	0	1,9
YESO	59.000	54.000	57.000	1,8
C VOLANTE	128.000	0	0	0,5
C FONDO	0	207.000	205.000	1,4
COKE	69.191	43.740	0	1,4
TOTAL GRAL	1.070.191	1.043.740	367.000	
TOTAL SIN RESIDUOS	942.191	836.740	162.000	

Tabla B5 – Residuos generados (caso B)

OPCION	TIPO	PLANTA INTEGRAL		MOLIENDA	Uds
		ACTUAL	MTD		
Aceites usado	Peligrosos	4200	4200	1500	kg/año
Filtros de aceites	Peligrosos	150	150	50	kg/año
Pilas y baterías	Peligrosos	80	80	50	kg/año
Trapos contaminados	Peligrosos	1600	1600	900	kg/año
Tubos fluorescentes	Peligrosos	12	12	4	kg/año
Toner	Peligrosos	12	12	10	kg/año
Filtros de mangas	No peligrosos	1000	1400	400	kg/año
Sacos de cemento	No peligrosos	1200	1200	1200	kg/año
Palets usados desechados	No peligrosos	800	800	800	kg/año
Residuos laboratorio	Peligrosos	700	700	700	kg/año
Reactivos laboratorio	Peligrosos	3	3	3	kg/año
Papel, cartón	RSU	700	700	550	kg/año
Orgánicos	RSU	3600	3600	1200	kg/año
Envases ligeros	RSU	520	520	370	kg/año
Vidrio	RSU	780	780	500	kg/año
TOTAL		15357	15757	8237	kg/año
		15,4	15,8	8,2	t/año

Tabla B6 – Emisiones de polvo (caso B)

M3/h	FCA INTEGRAL		MOLIENDA
	ACTUAL	MTD	
MACHAQUEO	80.000	80.000	0
PARQUES	120.000	120.000	65000
HOMO	25.000	25.000	0
HORNO-CRUDO	494.849	395.879	0
ENFRIADOR	446.245	383.489	0
STOCK CK	80.200	80.200	80.200
MOLIENDA CEMENTO	342.857	342.857	342.857
STOCK Y EXPEDICION	76.000	76.000	76.000
TOTAL	1.665.151	1.503.425	564.057
BASE (MG/M3)	20	15	20
EMISION (KG/h)	33,3	22,6	11,3
t/año	251	170	85

Tabla B7 – Emisiones de gases (caso B)

CONTAMINANTE	FCA INTEGRAL		MOL.	Ud	FCA INTEGRAL		MOL.	Ud
	ACT.	MTD			ACT.	MTD		
NOX	400	150	6	mg/Nm3	43.106	12.932	2.943	kg/año
NH3	0	15	0	mg/Nm3	0	1.035	0	kg/año
SO2	350	60	0	mg/Nm3	37.718	5.173	0	kg/año
ClH	0,5	0,5	0	mg/Nm3	54	43	0	kg/año
FH	0,05	0,05	0	mg/Nm3	5	4	0	kg/año
DIOX Y FUR METAL PESADOS	0,8	0,4	0	ng/Nm3	86	34	0	g/año
Hg	0,03	0,03	0	mg/Nm3	3	3	0	kg/año
Cd+Tl	0,03	0,03	0	mg/Nm3	3	3	0	kg/año
As+Sb+Pb+Cr+Co+ Cu+MN+Ni+V	0,3	0,3	0	mg/Nm3	32	26	0	kg/año

Tabla B8a - Coste del transporte marítimo (caso B)

CIF[1]	40	€/t
BUQUE	60.000	dwt

ORIGEN	SHANGHAI
DESTINO	FERROL

FOB[2]	€/t
ORIGEN	12,38
TPTE A MUELLE	3
CARGA	3
TOTAL	18,38

FLETE	TIEMPO LLEGADA (DÍAS)	45
CONCEPTO	COSTE	OBSERVACIONES
	€/t	
PERSONAL	1,84	21 personas
COMBUSTIBLE	14,54	
SUMINISTROS	1	
MANTENIMIENTO	1,2	
VARIOS	2,16	Benef inc
TOTAL FLETE	20,74	

SEGURO	0,6	€/t

CIF[1]	€/t
FOB[2]	18,38
FLETE	20,74
SEGURO	0,72
TOTAL	39,84

(1) Cost, insurance and freight: Valor de la mercancía en el puerto de llegada, sin descargar, aún a bordo, que incluye el coste en origen, a bordo (FOB), más el flete, más el seguro de flete
(2) Free on board. Franco bordo: Valor de la mercancía puesta a bordo del buque, cargada, tras pasar la borda del mismo

Tabla B8b - Coste de las operaciones del muelle de destino (caso B)

1.-OPERACIONES DESCARGA	€/t
ARANCELES IMPORTACIÓN	
DESCARGA	2,4
OTROS DESCARGA	
MEDIOS ECOLÓGICOS	0,4
COMISIONES DESPACHO	INC
CALADOS	INC
CARGA CAMIONES	INC
BASCULAS PUERTO	INC
PASE 2ª LINEA	INC
TOTAL OPERACIONES	2,8
2.-TASAS	
BUQUE	

MERCANCÍA	0,39
VARIAS	
SUBTOTAL	0,39
SERV GENERALES (%)	20
TOTAL TASAS	0,468
BONIFICACIONES	
%	
€/t	
OCUP SUPERF	0,3
TOTAL TASAS	0,768
3.-TOTAL S CAMIÓN	3,57
4.-TRANSPORTE	1,61
5.-TOTAL FÁBRICA	5,18

Tabla B8c – Coste total del transporte del clinke (caso B)r

BUQUE	60.000	t

CONCEPTO	€/t
ORIGEN	12,38
FOB[1]	18,38
FLETE	20,74
SEGURO	0,6
CIF[2]	39,84
MUELLE	3,57
TPTE	1,61
FÁBRICA	**45,02**

(1) Cost, insurance and freight: Valor de la mercancía en el puerto de llegada, sin descargar, aún a bordo, que incluye el coste en origen, a bordo (FOB), más el flete, más el seguro de flete
(2) Free on board. Franco bordo: Valor de la mercancía puesta a bordo del buque, cargada, tras pasar la borda del mismo

Tabla B9 – Consumos de agua (caso B)

	FCA INTEGRAL				MOLIENDA	
	ACTUAL		MTD			
AGUA TORRE REFRIGERACIÓN	610,0916	m^3/día	0	m^3/día	0	m^3/día
	191263,7	m^3/año	0	m^3/año	0	m^3/año
AGUA REFRIG MAQ	40.000	m^3/año	40.000	m^3/año	15.000	m^3/año
AGUA POTABLE	38.462	m^3/año	38.462	m^3/año	10.000	m^3/año
TOTAL	269.725	m^3/año	78.462	m^3/año	25.000	m^3/año

5.3.2. Aplicación

5.3.2.1. Costes de inversión

Los costes de inversión, teniendo en cuenta un período de amortización de 20 años (Tabla B1) y siguiendo la línea de razonamiento que la seguida para el caso A, se procesan del siguiente modo:

• Dentro del subtotal “Equipos” entra “acero” en “Materiales amortizables – Maquinaria industrial grandes equipamientos” (E155) y “gasoil” en “Gasoil A” (D26).

• El subtotal “Instalaciones” se divide en “Inst. eléctrica + control” y “Est. y cerramiento + montaje mecán.” Estos a su vez se subdividen del siguiente modo:

- Dentro de “Inst. eléctrica + control” hay “personal” (que con esta metodología no debe tenerse en cuenta) y “Mat. el” que entra en la matriz de obras, celda “inst. de ilum. (pistas, balizas, etc.) (C18).

- Dentro de “Est. Y cerramiento + montaje mecán.” Se introduce “acero” en la celda “Edificios estructura metálica o mixta con metal” (C15) de la matriz de obras, con el fin de diferenciar dicho acero del perteneciente a los equipos. El “personal”, nuevamente, no entra en la hoja y el “gasoil” entra en “Gasoil A” (D26).

• El total "Ingeniería" es introducido en la celda "Servicios de oficina de alto valor añadido" (E188).

• El total "Obra civil e infraestructuras" se divide en "Urbanización, carretera y plan parcial" y "Obra civil (Obra civil + Domo + Urb. Interior + Oficinas)". El desglose se procesa del siguiente modo:

Personal (no computa)……..101.250€
Gasoil (D26)……47.250€
"Edificios de fábrica u hormigón" (mat. ob.- C14)……526.500€

• El capítulo "Terrenos", está referido a la compra o adquisición de dichos terrenos. Por tanto, es una operación que conlleva un gasto pero que en sí, no supone ningún tipo de huella.

• El capítulo "Gastos obra" conlleva cierta ambigüedad pero en este caso se cuenta con el desglose por lo que se introduce "acero" en la celda de la matriz de obras "Edificios estructura metálica o mixta con metal" (C8), "Gasoil" en "Gasoil A" (D26) tras pasarlo a litros y "Hormigón" en la matriz de obras, celda "Edificios de fábrica u hormigón" (C14). Es decir:

"Edificios estructura metálica o mixta con metal" (mat. ob.- C8)……..3.000€
Personal (no computa)……..18.000€
Gasoil (D26)……6.000€
"Edificios de fábrica u hormigón" (mat. ob.- C14)……..3.000€

5.3.2.2. Terreno construido

Terreno construido. El total de la parcela es de 50.000 m^2 (5 ha). Igual que para el caso A, se hará la siguiente estimación: del total, un 25% suele estar destinado a zonas verdes (arbolado, jardines, césped, etc.), cerca de un 60% son viales, parkings, almacenes de maquinaria al aire libre, etc. y el resto son edificios propios de la planta (en este caso 1,1260 ha) y terreno no urbanizado. Por tanto, asumiendo que la estimación sigue siendo válida para el caso B, se introduce:

Zonas de pastos o jardines (D355)……...1,25 ha (25%)

Suelo construido, asfaltado, erosionado, etc. (D357)... 3 ha (60%) incluye planta

Zonas de cultivos (D354)…… 0,75 ha (terreno sin urbanizar)

TOTAL……..5 ha

Además de esto, en el caso A se había estimado una explotación de 3,8 ha de terreno destinadas a cantera. No obstante, en el presente caso, por tratarse de una planta que recibe el clínker ya elaborado, dicha ocupación es mucho menor, concretamente, de 0,6 ha/año, valor que entra en la celda D359.

5.3.2.3. Costes de explotación

• En primer lugar, la partida presupuestaria denominada "Personal(F)" se refiere al personal propio de la empresa, destinado a labores de dirección, supervisión, conducción, laboratorio, administración, expedición y gestión del mantenimiento. Por tanto, y como ya se ha repetido en anteriores ocasiones a lo largo del presente documento, no se deberá introducir en la hoja de cálculo puesto que la metodología seguida no computa el personal de la empresa como huella ecológica.

• En segundo lugar, los materiales y servicios entran en la hoja de cálculo como sigue, teniendo en cuenta que son "materiales no amortizables". Aunque algunos de estos materiales podrían ser amortizables, la huella es la misma, por lo que el resultado no varía:

Materiales de fabricación……1.590.000 €

Acero → Prod. básicos de hierro y acero (E123)……1.500.000 €
Refractario → Ladrillo, cerámica y mat. refractario (E112)……90.000 €

Materiales de mantenimiento……460.000 €

Acero → Prod. Básicos de hierro y acero (E123)……460.000 €

El concepto denominado "personal", tanto dentro de "Materiales y servicios fijos" como "Materiales y servicios variables" se refiere a todos los servicios subcontratados que afectan directamente a la operación: perforación y voladura, transporte, ejecución del mantenimiento, limpieza industrial, etc. Es por ello, que se incluye esta partida en la casilla E200 de la hoja de cálculo "Servicios exteriores de limpieza, mantenimiento y similares" con un importe de 1.590.000 € + 1.590.000 € = 3.180.000 €.

• El combustible empleado es el gasoil y el consumo es de 1.300 m^3/año, valor que se introduce en la celda D26.

• La energía eléctrica consumida y valorada en 3.020.000 € no se introduce directamente, puesto que en la hoja de cálculo, deben ser introducidos los kWh consumidos y no el coste económico, debido a las oscilaciones en el precio del kWh. Por ello, se estima que el consumo de energía eléctrica es de 44,40 kWh/t cemento, o sea, de unos 44.400.000 kWh al año, valor que sí entra en la casilla B4 de la hoja "mix". Véase que, dado a la generalidad del caso, se ha asumido el mix nacional, ya que lo habitual es que la energía sea suministrada por una compañía única, pero cuya producción se debe a diferentes tipos de centrales eléctricas.

• El material de adición, al igual que en el caso A, se introduce en "materias primas (áridos en general)" (E109) puesto que en plantas de molienda, lo que se gasta son adiciones, que al fin y al cabo, son productos de cantera similares a los áridos.

• El clinker ajeno podría ser considerado, según la metodología original, como cemento (B111) o como árido (B109), puesto que no recoge el clinker como material de posible adquisición por la planta. No obstante, debido a la gran importancia que este componente tiene en el presente caso de estudio, y debido a la gran diferencia de energía embebida de ambos materiales (5,39 GJ/t y 0,74 GJ/t respectivamente), se ha incorporado una nueva fila (fila 110) con los datos específicos del clinker, como su propia energía embebida de 3,25 GJ/t. Dicho valor es proporcionado por OFICEMEN, tal y como puede apreciarse en la figura 13:

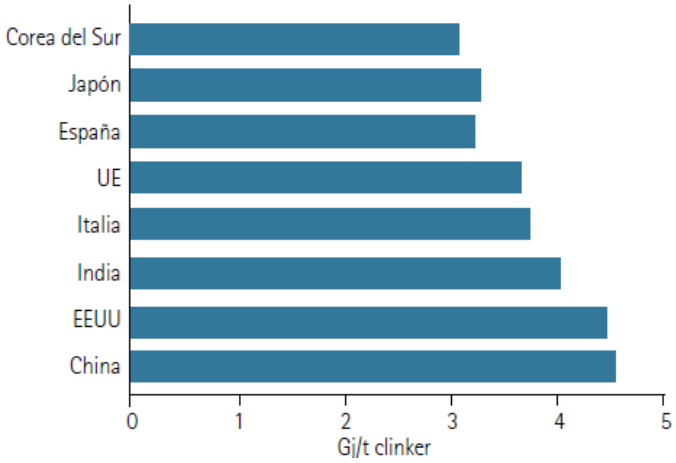

Figura 13. Energía embebida del clinker

Con respecto a la metodología original, el factor de emisión (toneladas de CO_2 liberadas por tonelada de clinker producido) también ha debido ser cambiado dado que para la elaboración del clinker, como ya se ha explicado, se emplea coque y no gasoil. Es por ello, que en la celda J110 aparecen las 0,1071 tCO_2/tclinker (Inventario Nacional de Emisiones GEI, 2009).

En el capítulo 3 de la presente publicación, se indican los cementos que fabrica la planta tipo B. Dichos cementos tienen diferentes porcentajes de clinker (desde los tipo CEM I con un 90-95% de clinker hasta los CEM IV con un 50% de clinker pasando por los CEM II con porcentajes de 68% y 82%). Tomando la media de dichos valores, se estima que la fracción media de contenido de clinker en el cemento producido en la planta es de 63,7%. Dado que la producción total de cemento es de 1.000.000 de toneladas, el consumo de clinker será de 637.000 t/año.

Por último, debe mencionarse que las emisiones resultantes de este cálculo, solo se corresponden con el consumo energético de la producción del clinker (combustibles, energía eléctrica, etc.) no teniendo en cuanta las emisiones directas producidas durante la descarbonatación de la piedra caliza. Según la filosofía de la metodología MC3, una empresa contrae la huella de los productos que consume como materias primas. Es por ello, que las emisiones directas (calculadas en el caso A en 448.770 tCO_2/tclinker) deben ser sumadas a las calculadas. Véase que si esto no se hiciese así, podría parecer que el cemento resultante de una planta de molienda tiene mucha menos huella que el de una planta integral, lo cual no es cierto.

• El concepto “Otros” engloba impuestos y tasas locales, auditorias, personal de vigilancia, etc. Ante la ambigüedad del concepto en sí, lo mejor es incluirlo en la casilla E200” Servicios exteriores de limpieza, mantenimiento y similares” para no distorsionar el resultado con respecto a otros conceptos.

• El consumo de agua, para el caso de una planta de molienda se ha estimado en 25.000 m3/año. Aunque en su mayoría suele proceder de fuentes propias, a un precio bajísimo, debemos adaptarnos a la metodología MC3, por lo que se incluirá este consumo en la casilla “Consumo de agua potable-procesos industriales” (D342).

La partida “sacos-papel” entrará en “Huella forestal – Papel, cartón y sus manufacturas” (E326) y “Palets-madera” en “Huella forestal – Trozas de madera, palets, puntales, pilotes, estriba, traviesas, etc.” (E319).

5.3.2.4. Residuos generados

Algunos de los residuos especificados en la tabla B5 no tienen celda equivalente en la hoja de cálculo. Por ello, se han tratado del siguiente modo:

• “Aceites usados” entra en “Aceites usados” (F387)

• “Filtros de aceite” entra en “Filtros de aceite” (F391)

• “Pilas y baterías” puede entrar en “Pilas” (F394) o “Baterías” (F397). Meto la mitad en cada una de las casillas (0,05t / 2 = 0,025t)

• “Trapos contaminados” en “Absorbentes usados” (sepiolita, materiales impregnados, trapos y cotones, absorbentes textiles de gasóleos, etc.) (F392)

• “Tubos fluorescentes” en “RAEE (residuos de aparatos eléctricos y electrónicos)” (F398)

• “Toner” en “Residuos urbanos y asimilables (RSU)” (F379) puesto que la tendencia de hoy en día es el considerarlos residuos no peligrosos. Además se reciclan por lo que la huella que producen es escasa.

• Dado que el papel manchado se desecha siempre y la madera también suele ser llevada a vertedero normal, "Filtros de mangas", "Sacos de cemento" y "Palets usados desechados" se introducen en "Residuos urbanos y asimilables (RSU)" (F379).
• "Residuos de laboratorio" como "Envases contaminados (incluye metálicos)" (F399)

• "Reactivos de laboratorio" como "Ácidos alcalinos o salinos" (F389)

• "Papel, cartón" en "Papel y cartón" (F382)

• "Orgánicos" en "Residuos urbanos y asimilables (RSU)" (F379)

• "Envases ligeros" en "Envases ligeros (plásticos, latas, brik" (F383)

• "Vidrio" en "Vidrio" (F384)

5.3.2.5. Emisiones de polvo

De la Tabla B6 se sacan las t/año de polvo que produce la planta. Dicho valor se introduce en la pestaña "gas", celda L41 con las consideraciones ya descritas en el caso A acerca de los GWP.

5.3.2.6. Emisiones de gases

De los gases de la Tabla B7, puede apreciarse que solamente son distintos de cero los NOx. Dicho valor, entra en la pestala "gas NOK" en la celda F38.

5.3.2.7. Emisiones directas

Emisiones directas. En el caso A, dichas emisiones, provenientes de la reacción química necesaria para convertir la piedra caliza en CaO, suponían un enorme componente más de la huella de carbono. No obstante, en este caso, el clinker no se elabora en la propia planta, por lo que no existen dichas emisiones. No obstante, se puede comprobar que durante el secado y molienda, sí se emiten unas 3.100 t/año. Así pues, el valor a introducir en la celda F43 es directamente éste.

Al margen de esto, dado que las emisiones producidas durante la fabricación del clinker, suponen una huella intrínseca que el clinker trae de por sí al ser consumido en la planta como materia prima, dichas emisiones se suman a la producida por el clinker.

5.3.2.8. Transporte marítimo

Según las Tablas B8a, B8b y B8c, el importe del transporte marítimo asciende a 45,02 €/t. Se ha estimado anteriormente que la adquisición anual de clinker asciende a las 637.000 t/año, lo que se traduce en 28.677.740 €/año.

Para el presente caso de estudio, se ha establecido que el buque proviene del puerto de Shanghai (China) y llega a El Ferrol, recorriendo así, unas 13.000 millas náuticas a una velocidad media de 12 nudos. También en términos generales, se puede asumir que el consumo del buque asciende a unas 70.000 toneladas de combustible.

Así pues, dado que el buque proviene de Shanghai y llega al puerto de Ferrol, se estima el factor en unas 8.281.000.000 tkm (637.000 t a lo largo de unos 13.000 km de ruta marítima). Dicho valor es introducido en la celda D238.

5.3.2.9. PIB corporativo

Teniendo en cuenta que el precio de venta promedio de la tonelada de cemento es de 65 €, el PIB sería de 65,000,000 €. Se introduce en pestaña “out” en casilla N14.

5.3.2.10. Cantidad de producto

La cantidad de producto final es, bajo las hipótesis tomadas, de 1.000.000 t/año. Se introduce en pestaña “out”, casilla N16.

5.4. Aplicación de la metodología MC3 al caso de una planta integral MTD con capacidad de 1.000.000 t/año (Caso C)

5.4.1. Toma de datos

Una vez realizada la aplicación de la metodología MC3 al caso de estudio A (Planta Integral Actual) y B (Planta de molienda), se procederá, a continuación, a describir los pasos seguidos, así como los criterios tomados, para la aplicación de MC3 al caso C (Planta Integral con uso de las Mejores Técnicas Disponibles).

Tal y como se mencionó en el capítulo 3 del presente documento, los datos de partida para el estudio de una planta integral actual "tipo" se han estimado del siguiente modo:

Tabla C1 – Gastos de inversión anuales (considera período de amortización de 20 años) (caso C)

CONCEPTO	KE	%	ACERO	PERSONAL	GASOIL	MAT EL	HORMIG	TOTAL
EQUIPOS	3.680	46	3.128	442	110	0	0	3.680
MONTAJE Y ESTRUCTURAS	751	9	676	60	15	0	0	751
OBRA CIVIL	2.312	29	116	231	116	0	1.849	2.312
ELECTRICIDAD Y CONTROL	920	12	0	138	0	782	0	920
INGENIERIA	276	3	0	276	0	0	0	276
								7.938
TOTAL	7.938	100	3.919	1.147	241	782	1.849	7.938
	%		49	14	3	10	23	100

Tabla C2 – Terrenos ocupados por la planta (caso C)

TOTAL PARCELA		298000	M2
	M	M	M2
	25	45	1.125
	12	6	72
	15	7	105
	25	25	625
	11	11	121
	5	8	50
	25	40	1.000
	62	20	314
	94	20	1.880
	18	6	108
	18	10	180
	93	22	2.046
		25	491
		12	113
		30	707

		30	707
		45	1.590
		45	1.590
		45	1.590
		30	707
		12	113
		12	113
		12	113
	44	21	924
	21	21	441
	6	15	90
	36	20	720
	13	8	104
	13	8	104
TOTAL			17.845
%			6,0

Tabla C3 – Costes anuales de explotación (caso C)

COSTES		€/t	€/AÑO
Personal (F)		4,40	4.400.000
Mat y servicios total		7,66	7.660.000
Mat y servicios variable		3,36	3.360.000
Personal		1,25	1.250.000
Materiales fabricacion		2,11	2.110.000
	Acero	1,69	1.688.000
	Refractario	0,42	422.000
Materiales y servicios fijos		4,29	4.290.000
Personal		3,44	3.440.000
Materiales manto	Acero	0,86	860.000
Combustibles	Coke	2,17	2.170.000
En eléctrica		4,91	4.910.000
Mat. Adición		5,35	5.350.000
Clinker ajeno		0,00	0
Otros (F)		1,18	1.180.000
	Personal	0,59	590.000
	Varios	0,59	590.000
Sacos	Papel	0,09	90.000
Palets	Madera	0,93	930.000
TOTAL		26,15	26.150.000
TOTAL CEMENTO POLVO		23,96	23.960.000

Tabla C4 – Materiales consumidos (caso C)

OPCION	FCA INTEGRAL		MOLIENDA	P ESPEC (t/m3)
	ACTUAL	MTD		
TOTAL (t/a)				
CALIZA	664.600	609.400	105.000	2,3
ARCILLA	141.930	123.120	0	1,7
CORRECTOR Fe	7.470	6.480	0	1,9
YESO	59.000	54.000	57.000	1,8
C VOLANTE	128.000	0	0	0,5
C FONDO	0	207.000	205.000	1,4
COKE	69.191	43.740	0	1,4
TOTAL GRAL	1.070.191	1.043.740	367.000	
TOTAL SIN RESIDUOS	942.191	836.740	162.000	

Tabla C5 – Residuos generados (caso C)

OPCION	TIPO	PLANTA INTEGRAL		MOLIENDA	Uds
		ACTUAL	MTD		
Aceites usado	Peligrosos	4200	4200	1500	kg/año
Filtros de aceites	Peligrosos	150	150	50	kg/año
Pilas y baterías	Peligrosos	80	80	50	kg/año
Trapos contaminados	Peligrosos	1600	1600	900	kg/año
Tubos fluorescentes	Peligrosos	12	12	4	kg/año
Toner	Peligrosos	12	12	10	kg/año
Filtros de mangas	No peligrosos	1000	1400	400	kg/año
Sacos de cemento	No peligrosos	1200	1200	1200	kg/año
Palets usados desechados	No peligrosos	800	800	800	kg/año
Residuos laboratorio	Peligrosos	700	700	700	kg/año
Reactivos laboratorio	Peligrosos	3	3	3	kg/año
Papel, cartón	RSU	700	700	550	kg/año
Orgánicos	RSU	3600	3600	1200	kg/año
Envases ligeros	RSU	520	520	370	kg/año
Vidrio	RSU	780	780	500	kg/año
TOTAL		15357	15757	8237	kg/año
		15,4	15,8	8,2	t/año

Tabla C6 – Emisiones de polvo (caso C)

M3/h	FCA INTEGRAL		MOLIENDA
	ACTUAL	MTD	
MACHAQUEO	80.000	80.000	0
PARQUES	120.000	120.000	65000
HOMO	25.000	25.000	0
HORNO-CRUDO	494.849	395.879	0
ENFRIADOR	446.245	383.489	0
STOCK CK	80.200	80.200	80.200
MOLIENDA CEMENTO	342.857	342.857	342.857
STOCK Y EXPEDICION	76.000	76.000	76.000
TOTAL	1.665.151	1.503.425	564.057
BASE (MG/M3)	20	15	20
EMISION (KG/h)	33,3	22,6	11,3
t/año	251	170	85

Tabla C7 – Emisiones de gases (caso C)

CONTAMINANTE	FCA INTEGRAL		MOL.	Ud	FCA INTEGRAL		MOL.	Ud
	ACT.	MTD			ACT.	MTD		
NOX	400	150	6	mg/Nm3	43.106	12.932	2.943	kg/año
NH3	0	15	0	mg/Nm3	0	1.035	0	kg/año
SO2	350	60	0	mg/Nm3	37.718	5.173	0	kg/año
ClH	0,5	0,5	0	mg/Nm3	54	43	0	kg/año
FH	0,05	0,05	0	mg/Nm3	5	4	0	kg/año
DIOX Y FUR METAL PESADOS	0,8	0,4	0	ng/Nm3	86	34	0	g/año
Hg	0,03	0,03	0	mg/Nm3	3	3	0	kg/año
Cd+Tl	0,03	0,03	0	mg/Nm3	3	3	0	kg/año
As+Sb+Pb+Cr+Co+ Cu+MN+Ni+V	0,3	0,3	0	mg/Nm3	32	26	0	kg/año

Tabla C8 – Consumos de agua (caso C)

	FCA INTEGRAL				MOLIENDA	
	ACTUAL		MTD			
AGUA TORRE REFRIGERACIÓN	610,0916	m^3/día	0	m^3/día	0	m^3/día
	191263,7	m^3/año	0	m^3/año	0	m^3/año
AGUA REFRIG MAQ	40.000	m^3/año	40.000	m^3/año	15.000	m^3/año
AGUA POTABLE	38.462	m^3/año	38.462	m^3/año	10.000	m^3/año
TOTAL	269.725	m^3/año	78.462	m^3/año	25.000	m^3/año

5.4.2. Aplicación

5.4.2.1. Costes de inversión

Los gastos de inversión (teniendo en cuenta que el periodo de amortización ha sido fijado en 20 años) son introducidos en la “matriz de obras”, puesto que los materiales aquí recogidos, fueron destinados a realizar las obras de construcción de la planta. De este modo, y con carácter general, los gastos de explotación serán introducidos a posteriori en las correspondientes celdas de la hoja de cálculo, tal y como se expone en apartados sucesivos. Así pues, los datos de la Tabla C1 se procesan del siguiente modo:

- En matriz de obras entra: “Montaje y Estructuras” como “Edificios estructura metálica o mixta con metal” (celda C15 de la matriz de obras), “Obra civil” como “Edificios de fábrica u hormigón” (C14 de hoja “obras”) y “Electricidad y control” como “Instalaciones de iluminación (pistas, balizas, etc.)” (C18 de hoja “obras”). Debe notarse que aquí se introduce el total de la obra, puesto que la matriz de obras separa ya lo correspondiente a personal (que no computa como huella).

• Los "Equipos", en vez de entrar en la matriz de obras, por su tipología, se han considerado más propios de la siguiente clasificación, teniendo en cuenta que se cuenta con los datos disgregados de "acero", "gasoil", etc.:

- El "acero" entra en el apartado "Materiales amortizables" como "Maquinaria industrial" (E155)

- El "gasoil" entra en "Combustibles-Gasoil A" (D26)

- El personal no se introduce en la hoja de cálculo, pues no computa como huella.

• En "servicios" entra: "Ingeniería" como "Servicios de oficina de alto valor añadido" (E188).

5.4.2.2. Terreno ocupado por la planta

Los terrenos ocupados por la planta propiamente dicha (recogidos en Tabla C2), abarcan una extensión de 1,7845 ha, dentro del total de la parcela de 29,800 ha. Se ha estimado que del total, un 25% suele estar destinado a zonas verdes (arbolado, jardines, césped, etc.), cerca de un 60% son viales, parkings, almacenes de maquinaria al aire libre, etc. y el resto son edificios propios de la planta (en este caso 1,7845 ha) y terreno no urbanizado. Por tanto, en la hoja de cálculo serán introducidos los datos de la siguiente forma:

Zonas de pastos o jardines (D355)……..……...7,45 ha (25%)

Suelo construido, asfaltado, erosionado, etc. (D357)....17,88 ha (60%) + 1,7845 (planta)

Zonas de cultivos (D354)……..…….….2,6855 ha (terreno sin urbanizar)

TOTAL……..……..29,800 ha

Además, se estima que una factoría de este tipo, implica un consumo de materias primas equivalente a la explotación de 3,4 ha/año de cantera a cielo abierto. Por tanto, en la hoja de cálculo, deben introducirse, aparte de lo anterior, las 3,4 ha arrasadas durante la explotación de la cantera. (Véase que en el caso A, sin aplicación de las mejores técnicas disponibles, esta cifra era de 3,8 ha/año)

Tomando las mismas hipótesis y consideraciones detalladas en el caso A, dicho valor se añade en la celda B359 "Superficie de nueva cantera", apartado no recogido en la metodología original de Wackernagel pero de necesaria incorporación para el presente caso de estudio.

5.4.2.3. Costes de explotación

En este apartado, se tomarán los datos de la Tabla C3, los cuales se procesan del siguiente modo:

• En primer lugar, la partida presupuestaria denominada "Personal(F)" se refiere al personal propio de la empresa, destinado a labores de dirección, supervisión, conducción, laboratorio, administración, expedición y gestión del mantenimiento. Por tanto, y como ya se ha repetido en anteriores ocasiones a lo largo del presente documento, no se deberá introducir en la hoja de cálculo puesto que la metodología seguida no computa el personal de la empresa como huella ecológica.

• En segundo lugar, los materiales y servicios entran en la hoja de cálculo como sigue, teniendo en cuenta que son "materiales no amortizables". Aunque algunos de estos materiales podrían ser amortizables, la huella es la misma, por lo que el resultado no varía:

Materiales de fabricación:…….....…2.110.000 €

Refractario → Ladrillo, cerámica y mat. refractario (E112)……..…..422.000 €

Acero → Prod. básicos de hierro y acero (E123)……...….1.688.000 €

Materiales de mantenimiento….……....……....860.000 €

Acero → Prod. básicos de hierro y acero (E123)……....…….....860.000 €

El concepto denominado "personal", tanto dentro de "Materiales y servicios fijos" como "Materiales y servicios variables" se refiere a todos los servicios subcontratados que afectan directamente a la operación: perforación y voladura, transporte, ejecución del mantenimiento, limpieza industrial, etc. Es por ello, que se incluye esta partida en la casilla E200 de la hoja de cálculo "Servicios de mantenimiento, vigilancia, limpieza, etc." con un importe de 1.250.000 € + 3.440.000 € = 4.690.000 €

• La partida de combustibles (coque) se introduce en la celda F12. Se recuerda que las filas 12 y 13, referentes a este tipo de combustibles, tampoco formaban parte de la metodología original, debiendo ser introducidas especialmente para el presente caso de estudio. Se ha estimado que el consumo es de 720 the/t de clinker, con un pci de 8000 the/t y al factor ck/cemento de 0,648 da un consumo de coque de 58.320 t/año.

• La energía eléctrica consumida y valorada en 4.910.000 € no se introduce directamente, puesto que en la hoja de cálculo, deben ser introducidos los kWh consumidos y no el coste económico, debido a las oscilaciones en el precio del kWh. Por ello, se ha estimado el consumo de energía eléctrica, para una planta con las mejores técnicas disponibles, en 81,76 kWh/t cemento, es decir, en unos 81.760.000 kWh al año, valor que sí entra en la celda B4 de la hoja "mix". Véase que, dado a la generalidad del caso, se ha asumido el mix nacional, ya que lo habitual es que la energía sea suministrada por una compañía única, pero cuya producción se debe a diferentes tipos de centrales eléctricas.

• El "Material adición" de la Tabla C3, se contabiliza en el apartado "materiales no amortizables" como "materias primas (mineral en general)" (E109) debiendo ser sumado al valor ya introducido de materiales empleados para la fabricación del cemento.

• El concepto "Otros (F)" engloba impuestos y tasas locales, auditorias, personal de vigilancia, etc. Ante la ambigüedad del concepto en sí, lo mejor es incluirlo en la casilla E200 "Servicios de mantenimiento, vigilancia, limpieza, etc." para no distorsionar el resultado con respecto a otros conceptos. A parte de estos 1.180.000 €, se ha estimado un consumo de agua, para una planta integral actual, de 78.462 m^3/año (Tabla C8). Aunque en su mayoría suele proceder de fuentes propias, a un precio bajísimo, debemos adaptarnos a la metodología MC3, por lo que se incluirá este consumo en la casilla "Consumo de agua potable – Procesos industriales" (D342).

• Finalmente, "Sacos – papel" entra en "Recursos forestales – papel, cartón y sus manufacturas" (E326) y "Palets – madera" en "Trozas de madera, palets, puntales, pilotes, estiba, traviesas, etc." (E319)

5.4.2.4. Residuos generados

Algunos de los residuos especificados en la tabla C5 no tienen celda equivalente en la hoja de cálculo. Por ello, se han tratado del siguiente modo:

"Aceites usados" entra en "Aceites usados" (F387)

"Filtros de aceite" entra en "Filtros de aceite" (F391)

El concepto "Pilas y baterías" se divide igualmente en "Pilas" (F394) y "Baterías" (F397).

"Trapos contaminados" en "absorbentes usados" (F392)

"Tubos fluorescentes" en "RAEE (residuos de aparatos eléctricos y electrónicos)" (F398)

"Toner" en "Residuos urbanos y asimilables (vertedero)" (F379) ya que hoy en día la tendencia es a considerarlo residuo no peligroso y además incluso se reciclan con lo cual su huella es bastante reducida.

"Filtros de mangas", "Sacos de cemento" y "Palets usados desechados" en "Residuos Sólidos Urbanos (vertedero)" (F379) pues el papel manchado suele ser desechado y la madera también suele ser llevada a vertedero normal.

"Residuos de laboratorio" como "Envases contaminados (incluye metálicos)" (F399)

"Reactivos de laboratorio" como "Ácidos alcalinos o salinos" (F389)

"Papel, cartón" en "Papel y cartón" (F382)

"Orgánicos" en "Residuos urbanos y asimilables (vertedero)" (F379)

"Envases ligeros" en "Envases ligeros (plásticos, latas, brik" (F383)

"Vidrio" en "Vidrio" (F384)

5.4.2.5. Emisiones de polvo

En la Tabla C6 se obtienen las t/año de polvo que produce la planta y se introducen en la pestaña "gas", celda L39 referida a partículas sólidas en suspensión.

Como ya se había indicado, tanto éstas como las demás emisiones de gases diferentes al CO_2, se convierten a toneladas equivalentes de CO_2 emitido mediante el denominado índice GWP (Global Warming Potential). Dicho índice representa, para la tonelada de cada gas, las toneladas de CO_2 que producirían un efecto invernadero de igual magnitud. En concreto, el GWP de las partículas en suspensión es de 680 (MacCarty el al., 2007), lo cual indica que cada tonelada emitida equivale a la emisión de 680 toneladas de CO_2. Dicho valor puede verse recogido en la hoja de cálculo, en la celda I428.

5.4.2.6. Emisiones de gases

Se introducen en este apartado, los datos de la Tabla C7, tal y como se indica a continuación:

- SO_2 en pestaña "gas", celda D37
- (Hg)+(Cd+Tl)+(As+Sb+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V) en pestaña "gas", celda J40
- DIOX Y FUR METAL PESADOS en pestaña "gas", celda F38

• NOx en pestaña "gas NOK", celda F38

• NH_3, ClH y FH no se encuentran de momento, recogidos en la presente versión de la metodología MC3, por lo que dichos valores no podrán ser tenidos en cuenta para el cálculo de la huella de carbono.

5.4.2.7. Emisiones directas

Aunque en este caso se esté empleando las mejores técnicas disponibles, las emisiones de CO_2 resultantes de la descarbonatación de la piedra caliza siguen existiendo, puesto que provienen de la siguiente relación estequiométrica:

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

No obstante, dado que la eficiencia y captura de CO2 es mayor en este caso, las emisiones se reducen a 0,56 tCO_2/tclinker. En el capítulo 3, donde se describe el funcionamiento de la planta, se establecen los diferentes tipos de cementos fabricados, con sus respectivos porcentajes de clinker. Tomando el valor medio, es decir el 64,8%, se concluye que dicha planta procesa en el horno:

$$0{,}648 \frac{t\ clin\ \mathrm{ker}}{t\ cemento} \cdot 1.000.000\ t\ cemento = 648.000\ t\ clin\ \mathrm{ker}\cdot$$

Y por tanto las emisiones directas son de:

$$0{,}56 \frac{t\ CO_2}{t\ clin\ \mathrm{ker}} \cdot 648.000\ t\ clin\ \mathrm{ker} = 362.880\ t\ CO_2$$

Por tanto, dicho valor, debe ser introducido en la celda F43.

5.4.2.8. PIB corporativo

Teniendo en cuenta que el precio de venta promedio de la tonelada de cemento es de 65 €, el PIB sería de 65,000,000 €. Este valor es el que se introduce en la pestaña "out", celda N14.

5.4.2.9. Cantidad de producto

Es una de las hipótesis de partida, fijada en 1.000.000 toneladas/año. Este valor entra en la celda N16 de la hoja "out".

5.5. Tablas de resultados

A continuación, se muestran las tablas que, a modo de resumen, muestran todos los "inputs" (partidas introducidas en la hoja de cálculo) así como los "outputs" o resultados:

Tabla 53. Resumen de inputs en unidades de consumo

CATEGORÍAS DE CONSUMOS	Ud./año	A- Planta integral actual	B- Planta molienda	C- Planta integral MTD
1.-EMISIONES DIRECTAS				
1.1. Huella de los combustibles				
.Carbón (coque) (combustión)	[t]	72.832,0	0,0	58.320,0
.Gasoil A	[€]	120.988,0	1.378.955,2	135.803,0
1.2. Otras emisiones directas				
.Emisiones directas 1	[tCO2]	448.770,0	3.100,0	362.880,0
2.-EMISIONES INDIRECTAS				
2.1. Huella eléctrica				
Consumo eléctrico (mix nacional)	[kWh]	94.300.000,0	44.400.000,0	81.760.000,0
3.- HUELLA DE LOS MATERIALES (no orgánicos)				
3.1. Materiales de flujo (mercancías)				
Total	**[€]**	0,0	0,0	0,0
3.2. Materiales no amortizables				
. Materias primas (áridos-mineral en general)	[€]	5.470.072,0	3.610.000,0	5.350.000,0
. Clinker	[€]	0,0	28.850.000,0	0,0
. Ladrillos, cerámica y material refractario	[€]	450.000,0	90.000,0	422.000,0
. Productos básicos del hierro o del acero	[€]	2.905.082,0	1.960.000,0	2.548.000,0
3.3. Materiales amortizables				
. Maquinaria industrial y grandes equipamientos (y sus partes)	[€]	2.763.000,0	623.430,0	3.128.000,0
3.4. Materiales amortiz. ("matriz de obras")				
. Energía (gasoil)	[€]	349.634,1	88.053,2	364.814,5
. Cemento	[€]	258.247,1	67.668,4	274.828,2
. Productos siderúrgicos	[€]	575.100,0	147.420,0	598.027,8
. Ligantes bituminosos	[€]	0,0	0,0	0,0
. Ladrillos y refractarios	[€]	299.223,5	77.760,0	318,892,2
. Madera	[€]	162.952,9	43.182,5	173.073,2
. Cobre	[€]	289.312,9	64.018,4	289.312,9
3.5. Uso infraestructuras públicas ("matriz de obras públicas")				
. Energía (gasoil)	[€]	1,1	1,1	1,1
. Cemento	[€]	0,6	0,6	0,6
. Productos siderúrgicos	[€]	1,2	1,2	1,2
. Ligantes bituminosos	[€]	0,2	0,2	0,2
. Ladrillos y refractarios	[€]	0,4	0,4	0,4
. Madera	[€]	0,2	0,2	0,2
. Cobre	[€]	0,0	0,0	0,0
4.- HUELLA DE LOS SERVICIOS Y CONTRATAS				
4.1. Servicios con baja movilidad				
. Servicios de oficina de alto valor añadido	[€]	276.000,0	45.000,0	276.000,0
4.2. Servicios con alta movilidad				
. Servicios exteriores de limpieza, mantenimiento y similares	[€]	5.855.724,0	6.180.000,0	5.870.000,0
4.4. Servicios de transporte de mercancías				
.Buque internacional	[tKm]	0,0	8.281.000.000,0	0,0
4.5. Uso de infraestructuras públicas				
.IVA declarado	[€]	25,0	25,0	25,0

.Impuesto sociedades	[€]	25,0	25,0	25,0
.Otros impuestos o tributos	[€]	25,0	25,0	25,0
.Multas y sanciones	[€]	25,0	25,0	25,0

5. HUELLA AGRÍCOLA Y HUELLA PESQUERA				
Total	[€]	0,0	0,0	0,0

6. HUELLA FORESTAL				
. Trozas de madera, puntales, pilotes, estiba, traviesas, etc.	[€]	933.333,0	950.000,0	930.000,0
. Papel, cartón y sus manufacturas	[€]	87.429,0	80.000,0	90.000,0

7. HUELLA HÍDRICA				
.. Procesos industriales	[m3]	269.725,0	25.000,0	78.462,0

8. HUELLA DEL USO DEL SUELO				
8.1. Sobre tierra firme				
. Zonas de cultivos	[ha]	2,7	0,75	2,7
. Zonas de pastos o jardines	[ha]	7,5	1,25	7,5
. Zonas de arbolado	[ha]	0,0	0,0	0,0
. Construido, asfaltado, erosionado, etc.	[ha]	19,7	3,0	19,7
. Acuicultura	[ha]	0,0	0,0	0,0
.Superficie de nueva cantera	[ha]	3,8	0,6	3,4

9. HUELLA DE LOS DESHECHOS, EMISIONES Y VERTIDOS				
9.1. Residuos no peligrosos				
. Residuos urbanos y asimilables (vertedero)	[t]	6,612	3.610,0	7.012,0
. Papel y cartón	[t]	0,7	0,6	0,7
. Envases ligeros (plástico, latas, brik)	[t]	0,52	0,37	0,52
. Vidrio	[t]	0,78	0,50	0,78
9.2. Residuos peligrosos				
. Aceites usados	[t]	4,2	1,5	4,2
. Ácidos alcalinos o salinos	[t]	0,003	0,003	0,003
. Filtros de aceite	[t]	0,15	0,05	0,15
. Absorbentes usados	[t]	1,6	0,9	1,6
. Pilas	[t]	0,4	0,025	0,04
. Baterías	[t]	0,4	0,025	0,04
. RAEE (residuos de apartos eléctricos y electrónicos)	[t]	0,012	0,004	0,012
. Envases contaminados (incluye metálicos)	[t]	0,7	0,7	0,7
9.3. Residuos radiactivos				
.Total	[t]	0,0	0,0	0,0
9.4. Vertidos en efluentes				
.Total	[t]	0,0	0,0	0,0
9.5. Emisiones				
9.5.1. Gases GEI Protocolo Kioto				
. CH_4 (metano)	[t]	25,27291	18,48636	20,48447
. N_2O (óxido nitroso)	[t]	3,61590	1,16254	2,91772
9.5.2. Otros GEI o precursores				
. NOx (óxidos de nitrógeno)	[t]	43,106	2,943	12,932
9.5.3. Otras emisiones atmosféricas				
. SO_2 (dióxido de azufre)	[t]	37,718	0,0	5,173
. COV (compuestos orgánicos volátiles)	[t]	0,086	0,0	0,034
. Metales pesados	[t]	0,038	0,0	0,032
. PM10 (partículas en suspensión)	[t]	251,0	85,0	170,0

Tabla 54. Emisiones de CO_2 debidas a los diferentes "inputs"

CATEGORÍAS DE CONSUMOS	Ud./año	A- Planta integral actual	B- Planta molienda	C- Planta integral MTD
1.-EMISIONES DIRECTAS				
1.1. Huella de los combustibles				
.Carbón (coque) (combustión)	[tCO2]	236.349,3	0,0	189.256,0
.Carbón (coque) (Ciclo de vida)	[tCO2]	70.574,2	0,0	56.512,1
.Gasoil A	[tCO2]	302,5	3.447,3	339,5
.Gasoil A (Ciclo de vida)	[tCO2]	9,3	106,3	10,5
1.2. Otras emisiones directas				
.Emisiones directas	[tCO2]	448.770,0	3.100,0	362.880,0
Huella emisiones directas	**[tCO2]**	**756.005,3**	**6.653,6**	**608.998,1**
2.-EMISIONES INDIRECTAS				
2.1. Huella eléctrica				
Consumo eléctrico (mix nacional)	[tCO2]	39.040,0	18.369,3	33.829,8
Huella emisiones indirectas	[tCO2]	**39.040,0**	**18.369,3**	**33.829,8**
3.- HUELLA DE LOS MATERIALES (no orgánicos)				
3.1. Materiales de flujo (mercancías)				
Total	[tCO2]	0,0	0,0	0,0
3.2. Materiales no amortizables				
. Materias primas (áridos-mineral en general)	[tCO2]	1.218,4	804,1	1.191,6
. Clinker	[tCO2]	0,0	670.493,8	0,0
. Ladrillos, cerámica y material refractario	[tCO2]	224,9	45,0	210,9
. Productos básicos del hierro o del acero	[tCO2]	5.977,8	4.033,1	5.243,0
3.3. Materiales amortizables				
. Maquinaria industrial y grandes equipamientos (y sus partes)	[tCO2]	3.091,7	697,6	3.500,1
3.4. Materiales amortiz. ("matriz de obras")				
. Energía (gasoil)	[tCO2]	1.079,1	271,8	1.125,9
. Energía (gasoil) (Ciclo de vida)	[tCO2]	33,3	8,4	34,7
. Cemento	[tCO2]	1.139,9	298,7	1.213,0
. Productos siderúrgicos	[tCO2]	1.183,4	303,3	1.230,6
. Ligantes bituminosos	[tCO2]	0,0	0,0	0,0
. Ladrillos y refractarios	[tCO2]	149,5	38,9	159,4
. Madera	[tCO2]	1.422,2	376,9	1.510,5
. Cobre	[tCO2]	290,6	64,3	290,6
3.5. Uso infraestructuras públicas ("matriz de obras públicas")				
. Energía (gasoil)	[tCO2]	0,0033	0,0033	0,0033
. Energía (gasoil) (Ciclo de vida)	[tCO2]	0,0001	0,0001	0,0001
. Cemento	[tCO2]	0,0028	0,0028	0,0028
. Productos siderúrgicos	[tCO2]	0,0000	0,0026	0,0026
. Ligantes bituminosos	[tCO2]	0,0001	0,0001	0,0001
. Ladrillos y refractarios	[tCO2]	0,0002	0,0002	0,0002
. Madera	[tCO2]	0,0018	0,0018	0,0018
. Cobre	[tCO2]	0,0000	0,0000	0,0000
Huella materiales	[tCO2]	15.810,8	677.435,9	15.710,3
4.- HUELLA DE LOS SERVICIOS Y CONTRATAS				
4.1. Servicios con baja movilidad				
. Servicios de oficina de alto valor añadido	[tCO2]	17,0	2,8	17,0
4.2. Servicios con alta movilidad				
. Servicios exteriores de limpieza, mantenimiento y similares	[tCO2]	2.801,2	2.956,4	2.808,1
4.4. Servicios de transporte de mercancías				

.Buque internacional	[tCO2]	0,0	125.871,2	0,0
.Buque internacional (Ciclod e vida)	[tCO2]	0,0	2.898,4	0,0
4.5. Uso de infraestructuras públicas				
.IVA declarado	[tCO2]	0,0	0,0	0,0
.Impuesto sociedades	[tCO2]	0,0	0,0	0,0
.Otros impuestos o tributos	[tCO2]	0,0	0,0	0,0
.Multas y sanciones	[tCO2]	0,0	0,0	0,0
Huella servicios y contratas	[tCO2]	2.818,2	131.728,8	2.825,1

5. HUELLA AGRÍCOLA Y HUELLA PESQUERA				
Total	[tCO2]	0,0	0,0	0,0
Huella agrícola y pesquera	[tCO2]	0,0	0,0	0,0

6. HUELLA FORESTAL				
. Trozas de madera, puntales, pilotes, estiba, traviesas, etc.	[tCO2]	8.145,9	8.291,4	8.116,8
. Papel, cartón y sus manufacturas	[tCO2]	600,3	549,27	617,9
Huella forestal	[tCO2]	8.746,2	8.840,7	8.734,7

7. HUELLA HÍDRICA				
.. Procesos industriales	[tCO2]	659,9	61,2	192,0
Huella hídrica	[tCO2]	659,9	61,2	192,0

8. HUELLA DEL USO DEL SUELO				
8.1. Sobre tierra firme				
. Zonas de cultivos	[tCO2]	5,3	1,5	5,3
. Zonas de pastos o jardines	[tCO2]	0,0	0,0	0,0
. Zonas de arbolado	[tCO2]	0,0	0,0	0,0
. Construido, asfaltado, erosionado, etc.	[tCO2]	39,0	5,9	39,0
. Acuicultura	[tCO2]	0,0	0,0	0,0
.Superficie de nueva cantera	[tCO2]	13,9	2,2	12,5
Huella usos del suelo	[tCO2]	58,2	9,6	56,8
Contrahuella usos del suelo	[tCO2]	11,6	2,5	11,6

9. HUELLA DE LOS DESECHOS, EMISIONES Y VERTIDOS				
9.1. Residuos no peligrosos				
. Residuos urbanos y asimilables (vertedero)	[tCO2]	0,0383	0,0209	0,0406
. Papel y cartón	[tCO2]	0,0117	0,0092	0,0117
. Envases ligeros (plástico, latas, brik)	[tCO2]	0,0722	0,0514	0,0722
. Vidrio	[tCO2]	0,0001	0,0000	0,0001
9.2. Residuos peligrosos				
. Aceites usados	[tCO2]	0,6988	0,2496	0,6988
. Ácidos alcalinos o salinos	[tCO2]	0,0004	0,0004	0,0004
. Filtros de aceite	[tCO2]	0,4150	0,1383	0,4150
. Absorbentes usados	[tCO2]	1,4500	0,8156	1,4500
. Pilas	[tCO2]	0,0011	0,0007	0,0011
. Baterías	[tCO2]	0,0073	0,0046	0,0073
. RAEE (residuos de apartos eléctricos y electrónicos)	[tCO2]	0,0006	0,0002	0,0006
. Envases contaminados (incluye metálicos)	[tCO2]	0,0698	0,0698	0,0698
9.3. Residuos radiactivos				
.Total	[tCO2]	0,0000	0,0000	0,0000
9.4. Vertidos en efluentes				
.Total	[tCO2]	0,0000	0,0000	0,0000
9.5. Emisiones				
9.5.1. Gases GEI Protocolo Kioto				
. CH_4 (metano)	[tCO2]	530,7	388,2	430,2

. N_2O (óxido nitroso)	[tCO2]	1.120,9	360,4	904,5
9.5.2. Otros GEI o precursores				
. NOx (óxidos de nitrógeno)	[tCO2]	11.638,6	794,6	3491,6
9.5.3. Otras emisiones atmosféricas				
. SO_2 (dióxido de azufre)	[tCO2]	-3.545,5	0,0	-486,3
. COV (compuestos orgánicos volátiles)	[tCO2]	0,7	0,0	0,3
. Metales pesados	[tCO2]	0,0	0,0	0,0
. PM10 (partículas en suspensión)	[tCO2]	170.680,0	57.800,0	115600,0
Huella residuos	[tCO2]	180.428,2	59.344,6	119.943,1

HUELLA TOTAL	**[tCO2]**	**1.003.566,8**	**902.443,3**	**790.289,9**
CONTRAHUELLA TOTAL	**[tCO2]**	**11,6**	**2,5**	**11,6**
HUELLA NETA	**[tCO2]**	**1.003.555,2**	**902.440,8**	**790.278,3**

Tabla 55. Resumen de emisiones por categorías de consumos

CATEGORÍAS DE CONSUMOS	Ud.	A- Planta integral actual	B- Planta molienda	C- Planta integral MTD
Huella emisiones directas	[tCO2]	756.005,3	6.653,5	608.998,0
Huella emisiones indirectas	[tCO2]	39.040,0	18.369,3	33.829,8
Huella materiales	[tCO2]	15.810,6	677.435,7	15.710,4
Huella servicios y contratas	[tCO2]	2.818,3	131.728,7	2.825,1
Huella agrícola y pesquera	[tCO2]	0,0	0,0	0,0
Huella forestal	[tCO2]	8.746,2	8.840,7	8.734,7
Huella hídrica	[tCO2]	659,9	61,2	192,0
Huella usos del suelo	[tCO2]	58,2	9,6	56,8
Huella residuos	[tCO2]	180.428,3	59.344,6	119.943,1
Contrahuella usos del suelo	[tCO2]	11,6	2,5	11,6

HUELLA TOTAL	**[tCO2]**	**1.003.566,8**	**902.443,3**	**790.289,9**
CONTRAHUELLA TOTAL	**[tCO2]**	**11,6**	**2,5**	**11,6**
HUELLA NETA	**[tCO2]**	**1.003.555,2**	**902.440,8**	**790.278,3**

5.6. Gráficas de resultados

5.6.1. Emisiones de CO_2 según categorías de consumos

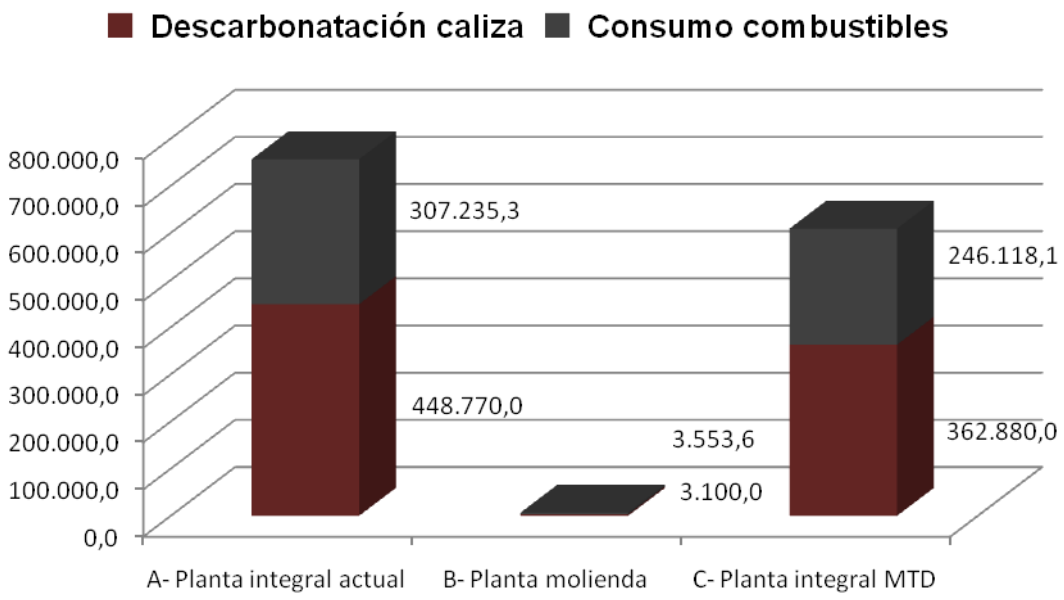

Figura 14. Huella emisiones directas [tCO_2/año] (resultados finales)

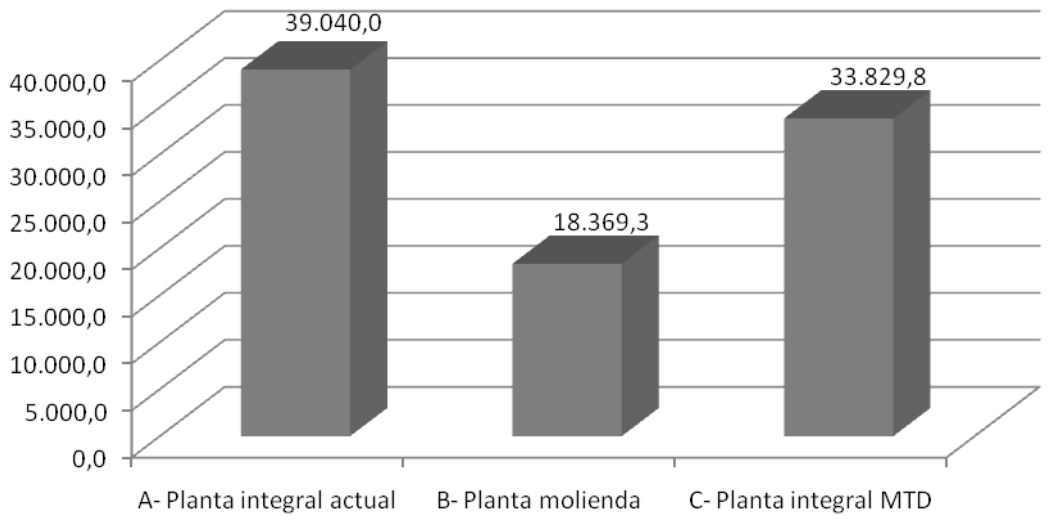

Figura 15. Huella emisiones indirectas [tCO_2/año] (resultados finales)

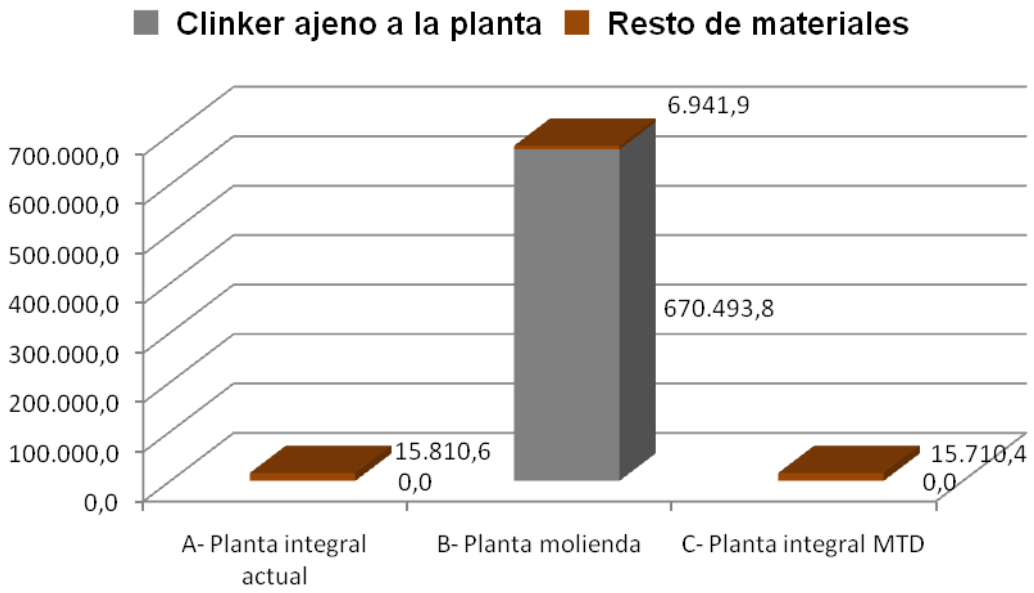

Figura 16. Huella materiales [tCO_2/año] (resultados finales)

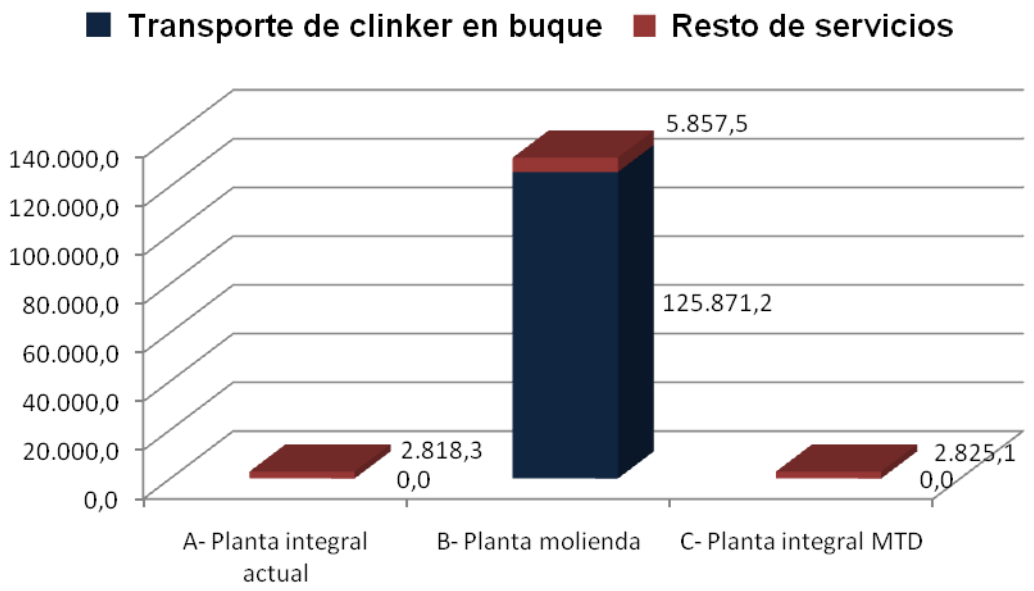

Figura 17. Huella servicios y contratas [tCO_2/año] (resultados finales)

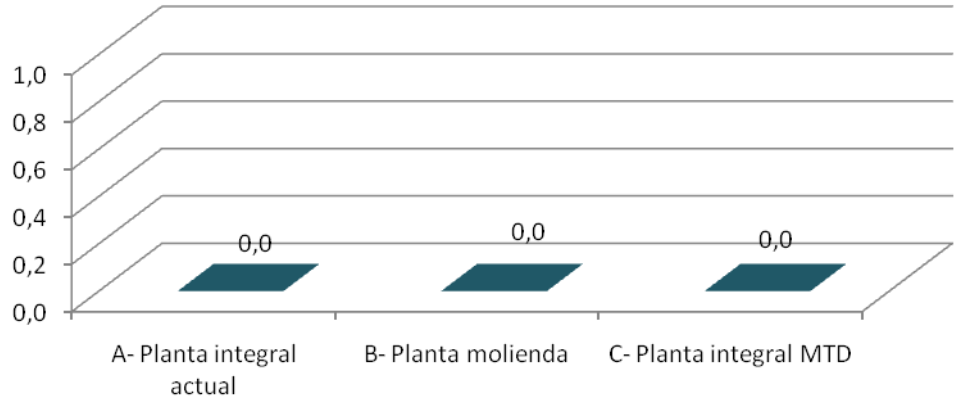

Figura 18. Huella agrícola y pesquera [tCO_2/año] (resultados finales)

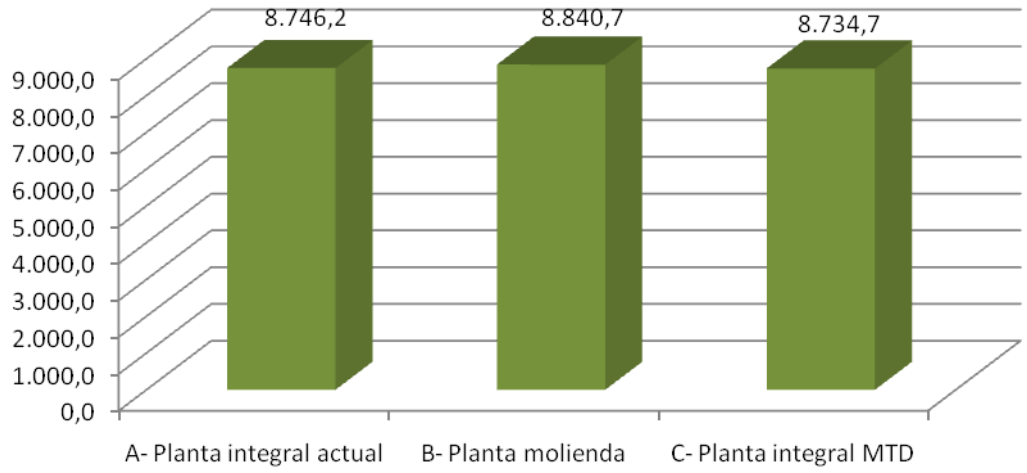

Figura 19. Huella forestal [tCO_2/año] (resultados finales)

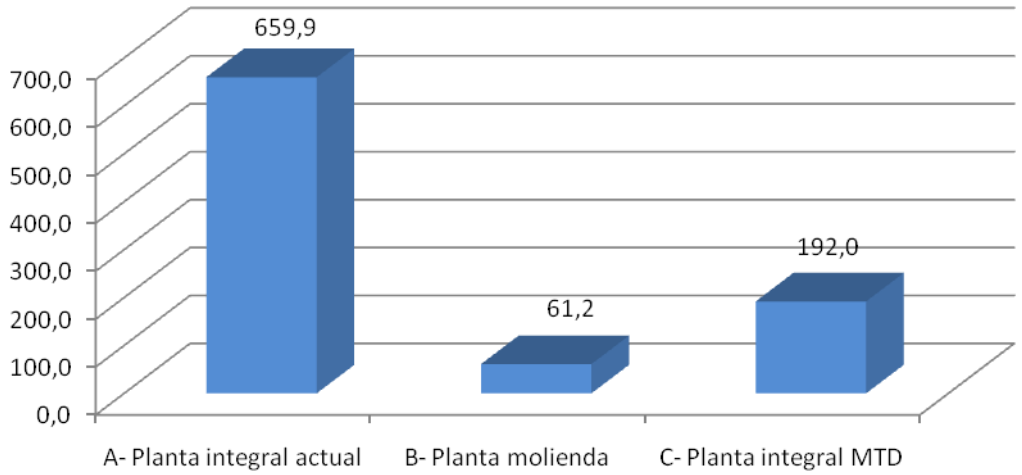

Figura 20. Huella hídrica [tCO_2/año] (resultados finales)

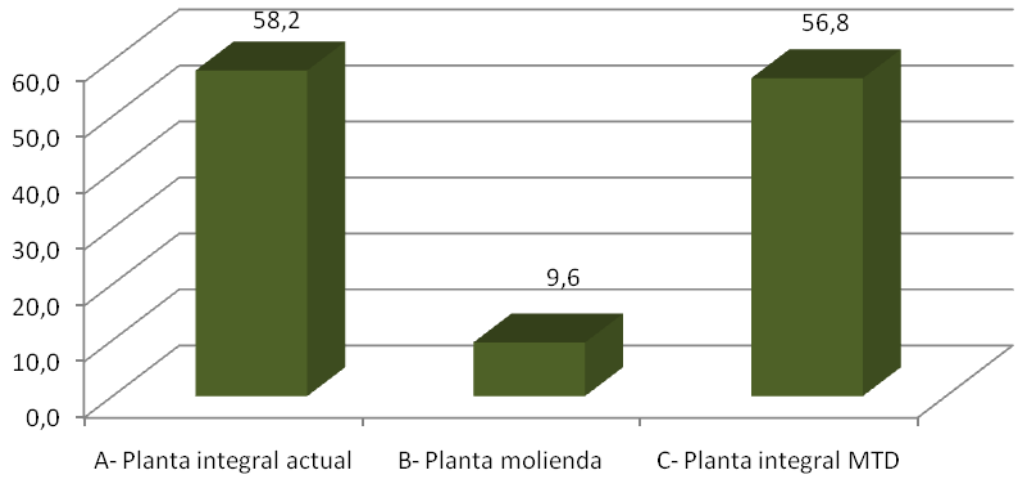

Figura 21. Huella usos del suelo [tCO_2/año] (resultados finales)

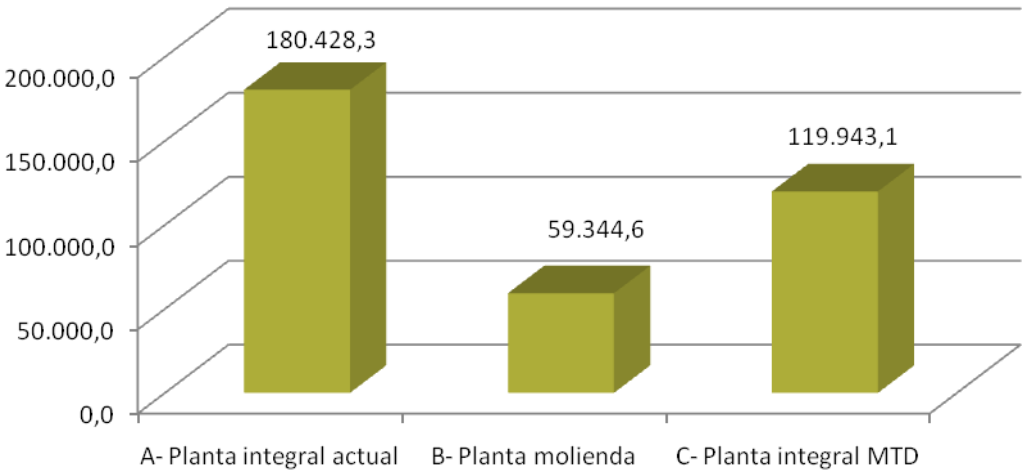

Figura 22. Huella de los residuos [tCO_2/año] (resultados finales)

5.6.2. Huellas y contrahuellas totales

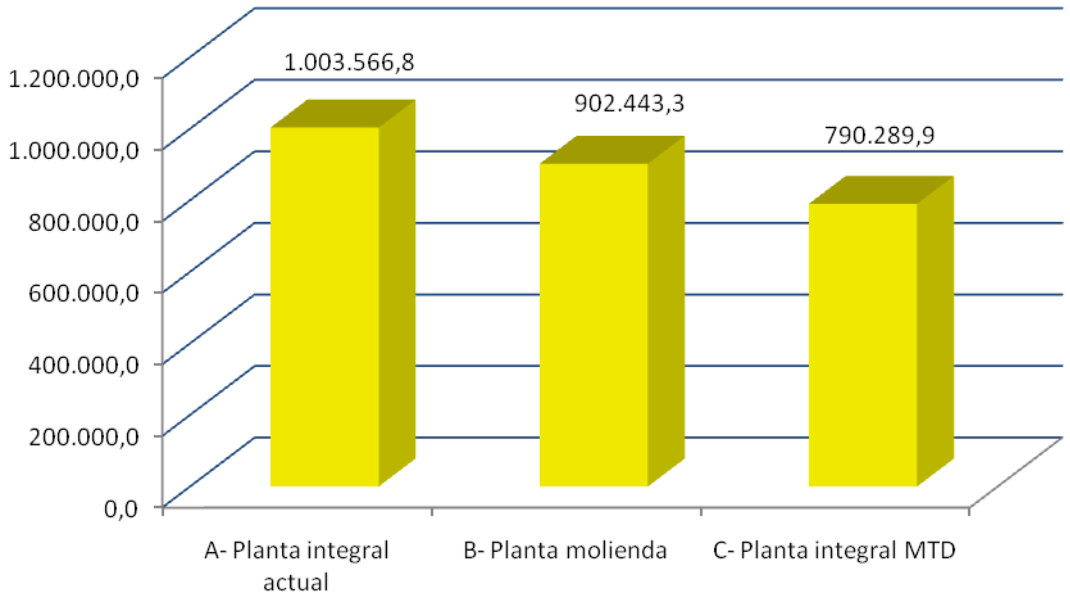

Figura 23. Huella total [tCO_2/año] (resultados finales)

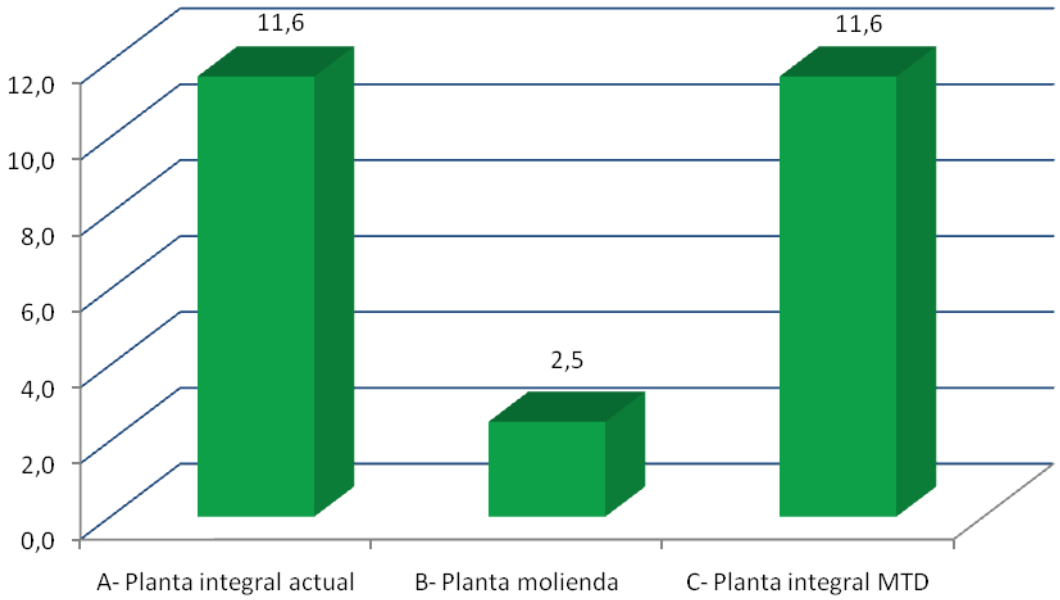

Figura 24. Contrahuella total [tCO_2/año] (resultados finales)

5.6.3. Huella neta total

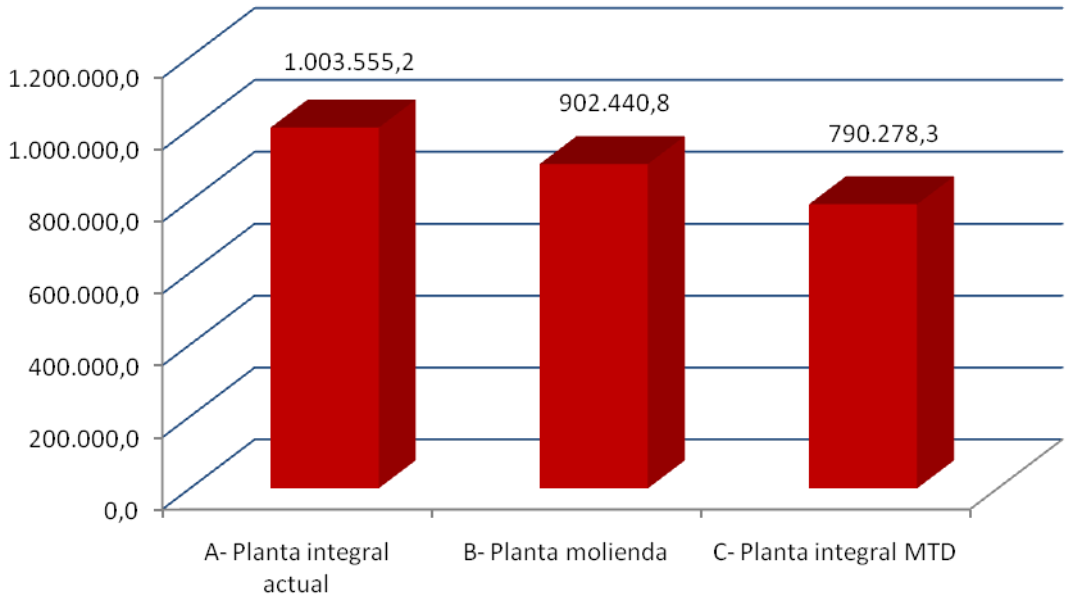

Figura 25. Huella neta total [tCO_2/año] (resultados finales)

5.6.4. Incidencia de cada categoría de consumo en la huella total de cada planta

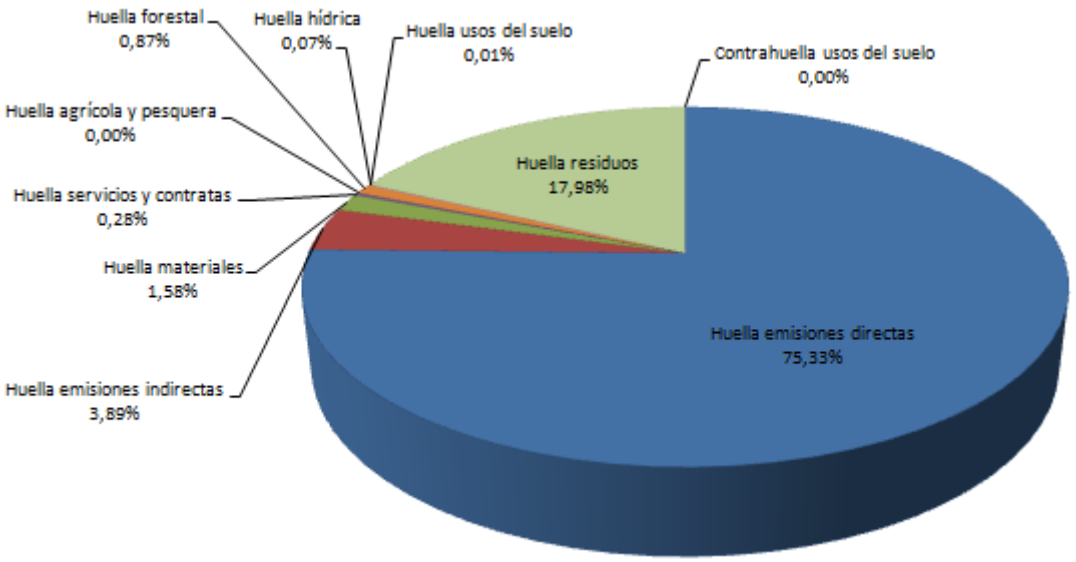

Figura 26. Incidencia de cada categoría en la huella total (resultados finales) Caso A – Planta Integral Actual

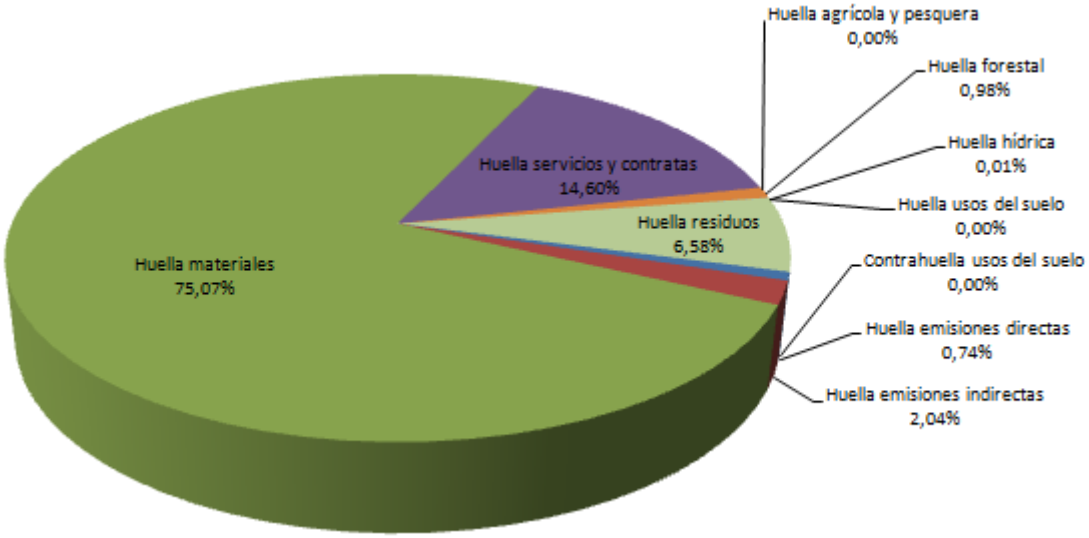

Figura 27. Incidencia de cada categoría en la huella total (resultados finales) Caso B – Planta Molienda

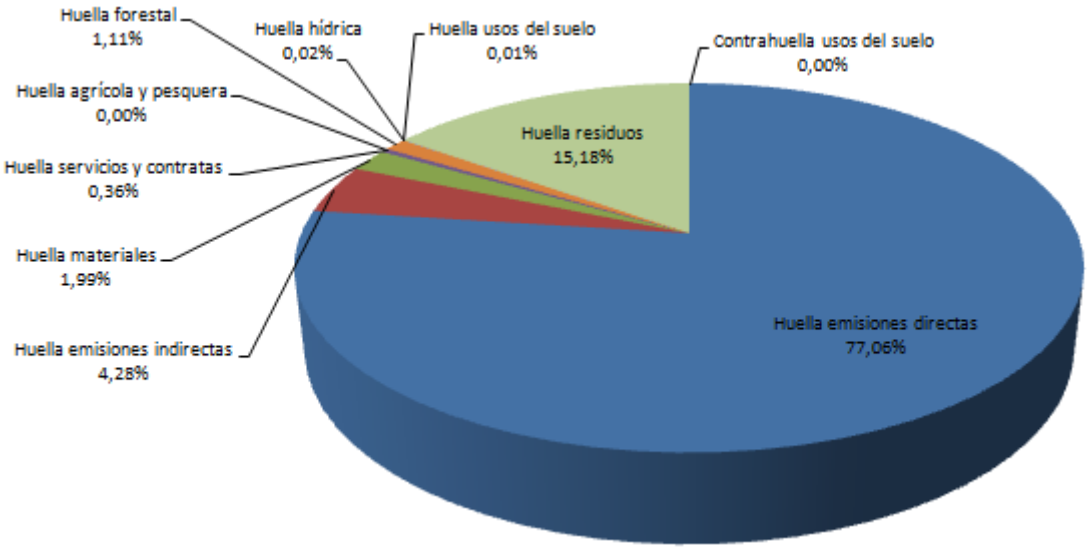

Figura 28. Incidencia de cada categoría en la huella total (resultados finales) Caso C – Planta Integral MTD

Capítulo 6 Conclusiones

6.1. Conclusiones y recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos y especificados en el capítulo anterior, las principales conclusiones que se pueden extraer son las siguientes:

1) La huella de carbono del cemento puede considerarse elevada, en abstracto (1.003.555,2 tCO_2/año para el caso A, 902.440,8 tCO_2/año para el caso B y 790.278,3 tCO_2/año para el caso C). El análisis efectuado muestra cómo deberán enfocarse las estrategias de reducción de CO_2 en las empresas cementeras y muestra claramente cuáles deberían ser las prioridades. Somos conscientes de que durante años, el sector ha hecho un enorme esfuerzo en mejorar sus emisiones de CO_2, aplicando diversas técnicas, que podemos resumir en la lista siguiente, no exhaustiva, por supuesto:

   - Concentración de la producción y cierre de líneas poco eficientes
   - Empleo de enfriadores de alto rendimiento de recuperación térmica
   - Empleo de mecheros de bajo aire primerio
   - Uso de precalcinación para aumento de la producción por horno instalada
   - Inicio del empleo de combustibles secundarios
   - Empleo de molinos de rodillos verticales y prensas
   - Uso de separadores de alta eficiencia
   - Mejora del uso de añadidos al cemento
   - Ciclones de alta eficacia de captación y baja pérdida de carga
   - Empleo creciente de sistemas expertos de control

   Ahora bien, quedan aún caminos por emprender y completar. Nos referiremos a ellos en lo que sigue.

1.1. ***Combustibles:*** su incidencia en la huella total se manifiesta a través de las partidas de emisiones directas (debidas al consumo de combustibles) e indirectas (debidas al consumo de energía eléctrica). También se han tenido en cuenta, dentro de las emisiones directas, las emisiones de CO_2 procedentes de la descarbonatación de la piedra caliza durante la fase de cocción en el horno de clinker, la cual es intrínseca del material y no puede ser reducida. Estas últimas, alcanzan valores realmente significantes (448.770 tCO_2/año en el caso A y 362.800 tCO_2/año en el caso C). En el caso B, no existe la fase de cocción del clinker, pero dado que dicho material entra en la cadena de proceso como materia prima, su huella debe ser igualmente incorporada al total. Al margen, se han añadido las 3.100 tCO_2/año que se producen igualmente en operaciones de molienda.

En general, las emisiones, tanto directas como indirectas, suponen, con diferencia, la mayor parte de la huella total (75,33%+3,89% para el caso A y 77,06%+4,28% para el caso C). Por lo explicado, es comprensible que estas emisiones parezcan escasas en el caso B (solamente un 0,73%+2,02%) debido a que dicha planta no elabora el clinker; no obstante, es precisamente esta huella la que se incorpora intrínsecamente en el capítulo de materiales, por lo que igualmente se ha tenido en cuenta para el cómputo global.
Como medida correctora, se debe continuar el camino ya emprendidocon las acciones anteriormente listadas. Merece la pena destacar, que en efecto, el estudio demuestra cómo el empleo de las mejores técnicas disponibles permite reducir la suma de emisiones directas e indirectas, de 795.045,3 tCO_2/año (caso A) a 642.827,8 tCO_2/año (caso C); es decir, una reducción de 152.217,5 tCO_2/año (casi un 20%). Así, apuntamos como posibles medidas:

- Empleo de combustibles secundarios. En el momento actual, el sector en España usa sólo un 5-7% de dichos combustibles, cuando en toda Europa es mucho mayor (del orden del 20-25%).Es pues necesario incrementar su empleo. Para ello, la Administración debe prestar todo su apoyo y emprender campañas de información a la opinión pública que reviertan la posición contraria que parecen tener grupos ecologistas mal informados.

- Reducción del porcentaje de clínker en los cementos. El clínker es quien consume la energía térmica, por lo que su reducción redundaría en un descenso directo de las emisiones de CO_2.Si bien, el empleo de añadidos en España está bastante extendido, no se ha llegado al nivel que convendría. Por un lado, porque no hay suficientes (mínima expresión de la siderurgia en nuestro país, que produce cantidades escasas de escorias de alto horno, descenso paulatino de la producción de cenizas volantes por paro de las centrales de carbón a favor de la generación eólica y termosolar, de dudosa rentabilidad real y entrada subvencionada en el mix energético nacional, pocos yacimientos de puzolanas en España, y a distancias excesivas de las plantas de cemento, etc).Por otro lado, no se da curso al empleo de añadidos de muy diversa procedencia, pero de probada actividad puzolánica, como las escorias de Si-Mn, cenizas de fondo de central térmica, puzolanas naturales calcinadas, etc. Las dificultades administrativas impiden hasta el momento su empleo, cuando en el resto de Europa se está cada vez imponiendo más el criterio de empleo de residuos siempre que se demuestre su eficacia y la no generación de problemas derivados de su empleo. De hecho, hoy, en España, esos residuos van a vertederos controlados, una vez demostrados que son inertes o no peligrosos, lo que contradice cualquier impedimento al empleo.

1.2. ***Energía eléctrica***: debe continuar la optimización de su empleo, por las vías ya emprendidas.Es necesario resaltar que, también en este campo, el descenso del porcentaje de clinker es fundamental.En cuanto al empleo de otras energías, un camino nuevo es la generación propia por medio de combustibles secundarios y se hace necesario un análisis honesto del empleo de otras energías, como la eólica.

1.3. ***Materiales:*** la huella que producen no es demasiado grande en los casos A (15.810,6 tCO_2/año) y C (15.710,4 tCO_2/año) representando el 1,58% y 1,99% respectivamente de sus huellas totales. No obstante, la enorme aunque ineludible cantidad de clinker ajeno adquirido por la planta B (637.000 t/año), junto con el hecho de que dicho material tiene una gran huella intrínseca con una energía embebida de 3,25 GJ/t, provocan que para el caso de la planta de molienda, sea precisamente la partida de materiales, la que supone, sin lugar a dudas, la parte más influyente de la huella total (el 74,66%) alcanzando un valor absoluto de 677.435,7 tCO_2/año (de las cuales 670.493,8 tCO_2/año son debidas al clinker ajeno, es decir, el 98,98%). No obstante, igualmente pueden aplicarse las recomendaciones anteriores.

Dentro de estas partidas, los materiales que en general producen más huella son los empleados durante la construcción de la propia planta (productos siderúrgicos de equipos y estructuras, hormigón, materiales refractarios, etc.) además de las materias primas provenientes de cantera. Es por ello que las líneas de actuación, para reducir la huella, deberían basarse en construcciones más sostenibles y optimización del uso de áridos y mineral en general.
Por último, mencionar que por todo lo explicado, el hecho de comprar el clinker ya elaborado frente a producirlo en la propia planta, no permite reducir en términos generales, la huella final del producto.

1.4. ***Servicios y contratas:*** dicha partida, no tiene un valor demasiado significativo dentro de los casos A (2.818,3 tCO_2/año) y C (2.825,1 tCO_2/año), lo que equivale al 0,28% y 0,36% de sus respectivas huellas totales. Sin embargo, nuevamente en el caso B, el hecho de tener que importar el clinker, implica un transporte en buque que eleva las emisiones de CO_2 hasta las 131.728,7 tCO_2/año (el 14,52% de su huella tota), valor evidentemente significativo.

En general, sin contar el ineludible transporte en buque del caso B, los servicios que más huella aportan son las contratas de limpieza, vigilancia, etc. Esta huella podrá reducirse demandando y contratando a las empresas más eficientes en términos ambientales. Se podrá establecer una política de suministros donde se premie a los que apliquen políticas de cambio climático (medición de la huella de carbono, planificación y proyectos de reducción de emisiones de CO_2). También tiene importancia la contratación de servicios “de oficina” de alto valor añadido, cuya reducción de huella se centra principalmente en el ahorro energético.

Para el caso B, la línea de actuación más efectiva, sin duda, será la de contratar empresas más sostenibles para el transporte del clinker, con medios de transporte más respetuosos. A la par, cuanto más cercano se encuentre el lugar de procedencia del mencionado material, mayor ahorro de combustible supondrá (pese a que actualmente el mercado chino es el que más exporta debido a sus bajos precios).

1.5. ***Huella agrícola y pesquera:*** el estudio da un valor nulo, pero no porque no exista sino porque no ha sido introducida en el análisis. Es de resaltar que aunque es una huella que suele infravalorarse, puede llegar a ser muy importante en empresas concretas y en multinacionales, debido al elevado gasto en viajes y consiguiente gasto en manutención (además de las comidas de

empresa, comidas sociales, ágapes y otros). No obstante éste suele ser el primer capítulo a recortar por cuestiones de disciplina.

1.6. ***Huella forestal:*** aunque tampoco supone valores demasiado elevados dentro de la huella total (8.746,2 tCO_2/año para el caso A, 8.840,7 tCO_2/año para el caso B y 8.734,7 tCO_2/año para el caso C) con unos porcentajes de influencia del 0,87%, 0,98% y 1,11% respectivamente. Cabe señalar que el empleo de sacos ha ido disminuyendo paulatinamente con los años, de manera que ahora sólo supone del 15% al 25% de la venta total, siendo mayoritario el granel. Por lo que sabemos esta tendencia sigue yendo a más, por lo que la influencia del empleo de sacos de papel en la huella forestal disminuirá aún más.

Esta huella deberá controlarse asegurando que la madera está certificada y provenga de bosques explotados sosteniblemente, demandando productos celulósicos y maderas procedentes de suministradores con baja huella o con planes de reducción de la misma. La huella forestal que no se pueda reducir deberá compensarse con contrahuella. En la actualidad ya existen casos de empresas que invierten en la creación de bosques, parques, pastos, etc. con el fin de conseguir aumentar su contrahuella, reduciendo así su huella neta total. Por tanto, no se debe descartar la inversión de capital natural en terrenos no propios e incluso lejanos.

1.7. ***Huella hídrica:*** llama la atención en este caso, la gran reducción obtenida mediante el empleo de las mejores técnicas disponibles, bajando el consumo de los 269.725,0 m^3/año del caso A a los 78.462,0 m^3/año del caso C (lo que supone bajar de las 659,9 tCO_2/año del caso A a las 192,0 tCO_2/año del caso C, es decir, una reducción del 71%). En cuanto al caso B, se debe tener en cuenta que la huella de 25.000 tCO_2/año se corresponde con el consumo propio de la planta. En este caso se desconoce el consumo realizado en la planta donde se elaboró el clinker importado, por lo que el dato real debería ser mayor (ver bondades y debilidades del método).

Sea como sea, el empleo de cambiadores de calor para enfriar los gases, en lugar de pulverizar agua, supone una gran reducción del consumo de ésta, como muestran los resultados comparados de las opciones A y C. Además, ya se emplean técnicas de recogida discriminada de agua en las que el consumo se reduce empleando técnicas de reciclaje, de captura de agua de lluvia, aguas grises y otros. Además, se ha supuesto que el agua empleada es potable, ya que el suministro a industrias suele hacerse así. No obstante, nunca debería emplearse agua potable para procesos industriales, sobre todo cuando esta proviene del suministro público (el cual precisa de una red de distribución, bombeos, procesos de potabilización, etc) incorporando una enorme huella al producto de forma innecesaria.

1.8. ***Uso del suelo:*** bajo las hipótesis realizadas, puede observarse que las plantas tipo A y C, necesitan mucho más suelo que la tipo B. Este efecto se incrementa al tener en cuenta que gran parte de dichas necesidades se corresponde con suelo construido, asfaltado, erosionado, etc. que es el que cuenta con el mayor factor de equivalencia (2,64). Así, mientras la huella de los casos A y C (que son totalmente idénticas) es de 58,2 tCO_2/año, la del caso B no supera las 9,6 tCO_2/año.

Frente a la huella, también se cuenta con la contrahuella procedente de nuevas zonas verdes con las que cuentan las plantas dentro de sus propiedades, como zonas ajardinadas. No obstante, se debe mencionar que dichas zonas verdes apenas contrarrestan 11,6 tCO_2/año en los casos A y C y 2,5 tCO_2/año en el caso B. De hecho, estas escasas contrahuellas, son las únicas que se producen

en todo el proceso, de modo que las contrahuellas totales serán directamente éstas.

En términos generales, la huella por este concepto es reducida, lo cual no es óbice para optimizar el espacio ocupado al máximo posible. Va ligado a la escasa contrahuella o zonas verdes, las cuales deberán incrementarse, sobre todo en zonas inútiles y en la periferia de la planta, haciendo además las veces de apantallamiento vegetal contra la contaminación. Cabe destacar que progresivamente se aprecia ya una tendencia a incrementar las zonas verdes ajardinadas o boscosas dentro de las plantas, o bordeando sus límites.

1.9. ***Residuos:*** constituyen una importante fuente de emisiones de CO_2, sobre todo en el caso de las plantas A (180.428,3 tCO_2/año) y C (119.943,1 tCO_2/año). Al igual que ocurría con la huella hídrica, no se conocen exactamente los residuos producidos en la planta que fabricó el clinker importado en el caso B. Dichos residuos, por tanto, no es posible tenerlos en cuenta y es por ello que la huella del caso B aparenta ser menor (59.344,6 tCO_2/año) ya que estos son los residuos producidos únicamente por la planta de molienda.

En términos porcentuales, la huella de los desechos con respecto a la huella total, asciende a un 17,98% en el caso A, un 6,54% en el caso B y un 15,18% en el caso C. Todos ellos son valores considerablemente elevados, lo cual indica que cualquier incidencia sobre ellos producirá un ahorro de huella total considerable.

Dentro de todos los contaminantes estudiados, llama especialmente la atención el caso de las partículas en suspensión, que contribuyen al efecto invernadero mediante un índice GWP (Global Warming Potential) de 680, lo que implica que cada tonelada de partículas sólidas equivale a 680 toneladas de CO_2. Tal es así, que de la huella producida por todo el conjunto de desechos, las partículas solidas constituyen el 94,60%, el 97,40% y el 96,38% respectivamente para los casos A, B y C. En definitiva, cualquier actuación destinada a reducir las emisiones de partículas sólidas a la atmósfera será de gran importancia a la hora de reducir la huella total de la planta. Dado que estas partículas se liberan en su mayoría durante la combustión de carbón, así como en fases de molienda y procesado de áridos y materias primas, es aconsejable optar por procesos estancos y con intensivas fases de filtrado y captura de sólidos antes de la liberación de gases a la atmósfera.

En la línea de todo lo explicado, merece la pena destacar que las mejores técnicas disponibles hoy en día, inciden bastante en este aspecto, lo cual se manifiesta en una reducción de huella de residuosde un 33,52%, es decir, de aproximadamente un tercio. Esto hace esperar que en el curso de los próximos años, este aspecto mejore notablemente.

2) Aunque no suponen una solución definitiva al problema de la elevadísima huella del cemento, el uso de las mejores técnicas disponibles, basadas en la ecoeficiencia, permitebajar la huella de carbono desde las 1.003.555,2 tCO_2/año del caso A a las 790.278,3 tCO_2/año del caso C. Esto es, una reducción de 213.276,9 tCO_2/año, o lo equivalente a una reducción del 21,25% de las emisiones totales (aproximadamente una quinta parte).

Dependiendo de la categoría de consumos, el porcentaje de reducción de huella obtenido mediante el empleo de dichas técnicas se muestra en la tabla 56:

Tabla 56. Porcentajes de reducción de huella mediante el empleo de MTD

CATEGORÍAS DE CONSUMOS	Reducción (%)
Huella emisiones directas	19,45
Huella emisiones indirectas	13,35
Huella materiales	0,63
Huella servicios y contratas	-0,24
Huella agrícola y pesquera	0,00
Huella forestal	0,13
Huella hídrica	70,90
Huella usos del suelo	2,41
Huella residuos	33,52
Contrahuella usos del suelo	0,00

Así pues, se pone de manifiesto que la principal incidencia de dichas técnicas se realiza sobre el consumo de combustibles y energía, agua y emisión de residuos (principalmente partículas sólidas). No obstante, no son capaces de incidir en la huella de los materiales (que como se ha expuesto, tiene una considerable importancia) ni en la de los servicios y contratas. De hecho, debido a que las mejores técnicas disponibles suelen implicar procesos más complejos, el factor humano de control, vigilancia, proyecto, planificación, etc. se hace más necesario, con un consiguiente aumento de huella.

3) La planta de molienda (caso B) presenta una huella menor que la planta integral actual, ya que no incluye la totalidad de procesos (especialmente importante el proceso de precalentamiento, cocción en horno y enfriado del clinker). Las diferencias por categorías de consumos provienen de:

- Menor consumo de combustibles y electricidad al ahorrase estas operaciones de alto consumo energético.

- Mayor consumo de materias primas al ser necesario adquirir el clinker ajeno

- Necesidad de transporte del clinker ajeno desde puntos de fabricación lejanos (por lo general desde China)

- Menor demanda de suelo por tratarse de plantas más pequeñas

- Menor cantidad de residuos (sobre todo, es notorio el ahorro de las partículas sólidas presentes en los gases de escape de la combustión de carbón en el horno de clinker).

La menor huella de esta opción se debe a que la huella incorporada al clinker adquirido proviene solo de la huella energética y no de la huella total. Como se ha venido explicando a lo largo de la presente publicación, la metodología MC3 permite incorporar la huella intrínseca que traen de por sí los materiales consumidos mediante su intensidad energética o energía embebida, pero existen otros factores como el consumo de agua necesario para fabricarlos, servicios y contratas que intervinieron en su elaboración, demanda de suelo, recursos forestales, etc. que la metodología es incapaz de procesar (por eso sale un valor ligeramente inferior).

De hecho, si la planta que elabora el clinker en China fuese similar a la planta, de por ejemplo, el caso A, la huella final que debería salir en el caso B, sería la correspondiente al caso A junto con la huella añadida del transporte de clinker desde China (ya que en A no se realiza este proceso).

Con esto, lo que también se trata de aclarar, es que el hecho de construir plantas de molienda en vez de plantas integrales, no suponen, ni mucho menos, una solución al problema de las emisiones de CO_2, sino que simplemente lo traslada de unos países a otros (normalmente menos desarrollados) por cuestiones de precio de energía, mano de obra, etc. Por tanto, si analizamos la situación en términos globales, el problema incluso se agrava, puesto que las tecnologías de dichos países suelen ser menos eficientes y las largas cadenas de suministro y transporte de mercancías se hacen imprescindibles.

4) Dividiendo la huella total entre el millón de toneladas producidas al año, puede obtenerse la cantidad de CO_2 que es necesario emitir para elaborar una tonelada de cemento. Dichos valores son de 1,00 tCO_2/tcemento para el caso A, 0,91 tCO_2/tcemento para el caso B y 0,79 tCO_2/tcemento para el caso C.

5) Para la realización del presente estudio, ha sido necesario modificar la metodología en determinados aspectos con el fin de mejorar su precisión. Dichos cambios han sido concernientes a:

- La metodología original no contemplaba el carbón de coque como uno de los posibles combustibles. Debido a que en la industria cementera el consumo de este producto tiene una enorme magnitud, se han añadido las correspondientes filas, con su correspondiente poder calorífico, factor de emisión de CO_2, etc. La solución alternativa hubiese sido asimilar el consumo como si fuese de antracita, pero el resultado final habría variado considerablemente. Sirva como ejemplo, la considerable huella del metano y óxido nitroso que sale. Normalmente, estos parámetros son insignificantes pero el uso del coque como combustible y en las cantidades que se utiliza, hacen que dicha huella deba ser tenida en cuenta.

  Ahora bien, quedaría por considerar el coque como un residuo de la industria del refino. Realmente, es así, de manera que la situación cambiaría, y mucho, en cuanto a la huella total de la industria cementera. Quede para una ulterior revisión del tema.

- Ha sido necesario también incluir el clinker como un material de adquisición por la empresa, como materia prima, puesto que en la metodología original no se contemplaba dicho producto. Lo más similar era el cemento, con una energía embebida de 5,39 GJ/t o los áridos y mineral en general, de 0,74 GJ/t. No obstante, tras el estudio, se vio que lo más preciso era incluir el material "clinker ajeno" con una energía embebida de 3,25 GJ/t (según datos de OFICEMEN).

- En cuanto a los usos del suelo, la metodología original se remitía a la de Rees y Wackernagel, por lo que no se tenía en cuanta el uso de "cantera". Dado que este es un tipo de suelo muy especial, entre bosques y cultivos, o incluso, rocoso desértico, se llegó a la necesidad de incluir en el estudio como una tipología diferente. Sin embargo, aún hay un paso más que dar, dado que todas las empresas cementeras proceden continuamente a la restauración de los suelos de canteras ya explotadas, lo que habría que incluir como contrahuella, pero no ha sido posible al no disponer por el momento de datos sobre este tema en particular.

- En cuanto a los residuos, la metodología original no contemplaba los índices GWP de emisiones atmosféricas tan relevantes para el presente caso de estudio, como las partículas en suspensión (que luego resultó ser el residuo más nocivo), SO_2, NO_x o los compuestos orgánicos volátiles (COV).

- Finalmente se han realizado algunas actualizaciones de datos presentes en publicaciones más recientes que las empleadas en la metodología original. Por ejemplo, los factores de emisión, poderes caloríficos, y demás índices de los combustibles, han sido sustituidos por los indicados en el Anexo 8 del Inventario Nacional de Emisiones de GEI (1990 – 2007) publicado en el año 2009.

Adaptaciones de este tipo, deberán ser hechas de forma continua y para cada estudio de cálculo de huella realizado, incorporando los valores sectoriales que requiera cada actividad

6.2. Futuros desarrollos

Debido a lo explicado anteriormente, las líneas de desarrollo del presente estudio deberían basarse en las siguientes ideas:

1) Deberán calcularse huellas completas de la mayor cantidad de materiales posibles a fin de poder ir sustituyendo las actuales intensidades energéticas por huellas de carbono completas. Actualmente ni la PAS 2050 (una de las metodologías que se está extendiendo más rápidamente) posee un significativo número de productos certificados para poder iniciar dicha sustitución. Para que la huella de carbono tenga una contribución significativa a la lucha contra el cambio climático, deberá extenderse su difusión por todo el mercado y sus resultados deberán ser cada vez más precisos.

2) La actual metodología utiliza una intensidad energética para el cemento de 5,39 GJ/t (Simmons *et al.*, (2006) lo cual, para un millón de toneladas de cemento producidas, arroja unas emisiones de 397.243 tCO_2/año (0,4 tCO_2/tcemento), cantidad muy similar a la obtenida en este estudio para la huella energética (combustibles + electricidad): 346.275 tCO_2/año. Sin embargo, como se ha visto en este trabajo, la huella total es de 1.003.567 tCO_2/año (1,004 tCO_2/tcemento), es decir 2,5 veces la obtenida con la intensidad energética, lo cual demuestra la necesidad de profundizar en la huella total de todos los materiales.

3) En este caso, se han hallado las toneladas de CO_2 que es necesario emitir para elaborar una tonelada de cemento. En otro caso de estudio cualquiera, en el que el cemento en sí fuese una materia prima dentro de la cadena productiva de la correspondiente industria, podría tomarse directamente este datode huella e incorporarlo al resultado final.

4) Deberá profundizarse en este tipo de análisis, sobre todo incorporando más eslabones a la cadena de valor (el transporte marítimo o terrestre, por ejemplo), utilizando datos de empresas reales y detallando más algunos de los procesos que participan en la producción del cemento. Los análisis de ciclo de vida enfocados a la organización deberán contrastarse con los clásicos ACV con enfoque a procesos (como PAS 2050 o ISO 14044).

6.3. Consideraciones finales

Finalmente, queda constatado el valor de este tipo de análisis en la fase de diseño (ecodiseño) de plantas de producción, pudiendo variar el valor de los datos de entrada (categorías de consumo) hasta lograr la huella de carbono que se desea para las fases de construcción y de explotación o funcionamiento de la planta.

Este caso de estudio muestra que es posible conocer la opción más sostenible ya en la fase de diseño de proyecto: una vez conocidos los datos de inversión y los costes de explotación, se pueden diseñar diferentes opciones calculando cual será la más sostenible. Se pueden ensayar diferentes materiales y diferentes tipos de recursos de entrada con el fin de averiguar cuáles darán lugar a la mayor ecoeficiencia.

En la actualidad, el factor primordial a la hora de elegir una alternativa de ingeniería, sigue siendo el económico. No obstante, la creciente concienciación social de lucha contra el cambio climático y la necesidad de alcanzar un comercio bastante más sostenible que con el que hoy por hoy contamos, produce que el etiquetado de empresas, productos, entidades públicas y privadas, consumos domésticos, etc. sea una pieza fundamental en un futuro no muy lejano.
Metodologías como la aquí empleada, la MC3, facilitan enormemente esta labor y es por ello, que se eligió a conciencia para realizar el análisis de la industria cementera.

Estudios similares a llevar a cabo sobre otros sectores darán una indicación más clara de la situación comparativa del mundo industrial actual.

A lo largo de la presente publicación, se ha profundizado en la comprensión del problema de la huella del cemento, localizando cuáles son sus puntos débiles y enfocando estrategias más efectivas a la hora de atajarlo.

Es el turno ahora de las diferentes industrias, comerciantes y consumidores para dar los sucesivos pasos hacia un mundo más sostenible. Hacia el ya denominado mundo “Carbono Neutral”.

Capítulo 7 Referencias

ADEME. FRANCIA (2004). *Base de données marchés publics déchets*

ADEME. FRANCIA (2005). *Evaluation de la production nationale des déchets des enterprises en 2004.*

AÏTCIN, PIERRE-CLAUDE (2000). *Cements of yesterday and today, concrete of tomorrow. Cement and Concrete Research 30(2000): 1349-59*

ALBA J., DÍAZ E. Y DOMÉNECH J.L. (2003) *Estudio de indicadores ambientales portuarios: la huella ecológica del puerto de Gijón.* Autoridad Portuaria de Gijón: 143 p.

ALEMANIA. VDZ (2006). *Environmental Data of Cement Industry 2005*

ANÓNIMO (2002). La huella ecológica de Navarra. Gobierno de Navarra. Páginas: 34.

ANÓNIMO (2007). The World Capital of CO2-free energy. Project Group Rotterdam Climate Initiative. Rotterdam. Páginas: 20 (www.rotterdamclimateinitiative.nl).

ANÓNIMO (2008a). Port Authority of New York and New Jersey Aims to be Carbon Neutral by 2010. Green Port (2). Reino Unido. Páginas: 19-19.

ANÓNIMO (2008b). Developing a carbon footprint. Port of Oslo & Port of Rotterdam. C40 World Ports Climate Conference. Rotterdam, Netherlands. July, 2008.

AUSTRIAN CONTRIBUTION to the Review of the Reference Document on Best Available Techniques in Cement and Lime Manufacturing Industries.

BARTLETT, ALBERT ALLEN (1999). *Reflexiones sobre sostenibilidad, crecimiento de la población y medio ambiente en Focus*, Vol. 9, nº 1, 1999. Págs. 49-68. Traducido por Gabriel Tobar el 26/3/2007

BLASCO, E. (2008). Huella del carbono (http://especiales.eldiariomontanes.es/medio-ambiente/huella-carbono.html (último acceso: julio de 2008).

BP (2007). What is a Carbon Footprint? (http://www.bp.com/liveassets/bpinternet/globalbp/STAGING/globalassets/dowloads/A/ABPADV what on earth is a carbon footprint.pdf)

CALVO, M., (2007). La huella ecológica de Andalucía. Seminario La Huella Ecológica en España. Madrid. Páginas: 24.

CARBALLO, A. Y VILLASANTE, C. S., (2008). Applying physical input-output tables of energy to estimate the energy ecological footprint (EEF) of Galicia (NW Spain). Energy Policy. (36). Páginas: 1148-1163.

CARBALLO, A., GARCÍA NEGRO, M. C., DOMÉNECH, J. L., VILLASANTE, C. S., RODRÍGUEZ, G. Y GONZÁLEZ ARENALES, M. (en prensa) (2008). La huella ecológica corporativa: concepto y aplicación a dos empresas pesqueras de Galicia. Revista Galega de Economía, Vol. 17, núm. Extraord.

CARBON TRUST (2006). Carbon footprints in the supply chaín: the next step for business. Report Number CTC616, November 2006, The Carbon Trust, London, UK (http://www.carbontrust.co.uk).

CARBON TRUST (2007). Carbon Footprints Measurement Methodology, Version 1.1. 27 February 2007, The Carbon Trust, London, UK (http://www.carbontrust.co.uk).

CARDIM, A., 2001. Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento- Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. Barcelona: 297 pp

CARRERA, G., CASTANEDO, J., COTO, P., DOMÉNECH, J. L., INGLADA, V. AND PESQUERA, M. A., (2006). The Ecological Footprint of Ports. A sustainability Indicator. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Washington, D.C.. Nº 1963. Páginas: 71-75.

CASELLES, A., CARRASCO, M., MARTÍNEZ, A., COLL, S., DOMÉNECH, J. L., GONZÁLEZ-ARENALES, M. (en prensa) (2008). La huella ecológica corporativa de los materiales: aplicación al sector comercial. Revista OIDLES.

CAZORLA, X. (2007). La huella ecológica de Catalunya. Seminario La Huella Ecológica en España. Madrid. Páginas: 40.

CEBELCEM (2005). Points de Vue sur l´Industrie Cimentière Belge

CEBELCEM (2006). *Rapport environnemental de l´industrie cimentière belge.*

CEMBUREAU. *Alternative Fuels in Cement Manufacture*.

CEMBUREAU. *Environmental Benefi ts of Using Alternative Fuels in Cement Production*

CEMSUISSE (2005). *Chiffres-Clés*

CEMSUISSE (2005). *Rapport Anuel*

CLUB ESPAÑOL DE LOS RESIDUOS (2001). *Contribución de la Industria del Cemento a la Gestión de residuos en Europa.*

COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (2006). Estrategia temática para el medio ambiente urbano. Web: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/es/com/2005/com2005_0718es01.pdf

COMISIÓN EUROPEA (2001). Sexto programa de acción en materia de medio ambiente. Web: http://europa.eu/legislation_summaries/agriculture/environment/l28027_es.htm

COMISIÓN EUROPEA (2001). *Waste Management Options and Climate Change*.

COMISIÓN EUROPEA (2005). *Informe de la Comisión Europea al Consejo y al Parlamento Europeo sobre las estrategias nacionales para reducir los residuos biodegradables destinados a vertederos. (Com (2005) 105 final).*

COMISIÓN EUROPEA (2005). *Informe enviado a la Comisión Europea sobre la aplicación de la Directiva sobre vertidos en los 15 Estados miembros de la Unión Europea (Golder Europe, Octubre 2005).*

COMISIÓN EUROPEA (2006). *Informe de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo sobre la aplicación de la legislación comunitaria en materia de residuos correspondiente al periodo 2001-2003 (COM (2006) 406 final, de 19.7.2006).*

COMISIÓN EUROPEA (2006). *Informe de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo sobre la aplicación de la Directiva 94/62/CE sobre envases y residuos de envases y su impacto en el medio ambiente, así como sobre el funcionamiento del mercado interior (COM (2006) 767 final, de 6.12.2006).*

COMISIÓN EUROPEA (2007). *The economics of ecosystems and biodiversity*.Web:http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/economics/index_en.htm

COMISIÓN EUROPEA (2010). *Sustainable Development in a Diverse World*.Web: http://www.susdiv.org/

COMISIÓN EUROPEA. DIRECCIÓN GENERAL DE MEDIO AMBIENTE (2000). *A Study on the Economic Valuation of Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste.*

COMISIÓN SOBRE EL DESARROLLO SOSTENIBLE (2009). *Punto de encuentro mundial de ideas y políticas***.** Web: http://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd14/bgrounder_csd_sp.pdf

COTO, P., MATEO, I., DOMÉNECH, J. L. Y GONZÁLEZ-ARENALES, M. (en prensa) (2008). La huella ecológica de las Autoridades Portuarias y los servicios. Revista OIDLES.

DOMÉNECH, J. L., (2004a). Huella ecológica portuaria y desarrollo sostenible. Puertos. Nº 114. Madrid. Páginas: 26-31.

DOMÉNECH, J. L. (2004b). La huella ecológica empresarial: el caso del puerto de Gijón. En Actas del VII Congreso Nacional de Medio Ambiente. Madrid, 22-26 de noviembre de 2004 (CD-ROM). Páginas: 8.

DOMÉNECH, J. L. (2006a). Huella social y desarrollo sostenible: un nuevo indicador de sostenibilidad. Segundo Encuentro Internacional sobre Pobreza, desigualdad y convergencia; eumed.net. Universidad de Málaga.

DOMÉNECH, J. L. (2006b). Guía metodológica para el cálculo de la huella ecológica corporativa. Terceros Encuentros sobre Desarrollo sostenible y población; eumed.net. Universidad de Málaga, 6-24 de julio de 2006. Páginas: 46.

DOMÉNECH, J. L. (2006c). Ahorro energético. En Ecoeficiencia en los Recintos Portuarios. IV Foro Ambiental Portuario. Editado por el Organismo Público Puertos del Estado. Madrid, 30 de noviembre de 2006. Páginas: 6-11.

DOMÉNECH, J. L. (2007) Huella ecológica y desarrollo sostenible (LIBRO). AENOR: 400 pp

DOMÉNECH, J. L. (2007a). Huella cultural y evolución sostenible. Terceros Encuentros de Economía, Educación y Cultura; eumed.net. Universidad de Málaga. 6 a 23 de febrero de 2007. Páginas: 31.

DOMÉNECH, J. L. (2007b). Huella ecológica y desarrollo sostenible. AENOR. Madrid. Páginas: 400.

DOMÉNECH, J. L., MATÍAS, A. Y MUÑOZ-CALERO, R., (2006). Ecoeficiencia y sostenibilidad en puertos: aplicaciones en el puerto de Gijón. Comunicaciones Técnicas del VIII Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA 8). Madrid, 27 de noviembre a 1 de diciembre de 2006. Páginas: 39.

ENERGETICS, (2007). The Reality of Carbon Neutrality. London (www.energetics.com.au/file?nodeid=21228).

ENVIRONMENTAL BUILDING NEWS (EBN) (2004). *A green release agent for concrete forms. In Environmental Building News Brattleboro, Vermont: Building Green. Vol. 6:1*

ETAP, (2007). The Carbon Trust Help UK Businesses Reduce their Environmental Impact. Press Release (http://ec.europa.eu/environment/etap/pdfs/jan07 carbon trust initiative.pdf)

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2002). *Case Studies on Waste Minimisation Practices in Europe.*

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2007). *Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2005 and Inventory report 2007*

EUROSTAT YEARBOOK (2006-2007). *Europe in Figures*

FEBELCEM (2006). Préserver les ressources naturelles: la valorisation des déchets en cimenterie

FISCHER-KOWALSKI, M. Y HÜTTLER, W., (1999). Society's metabolism: the intellectual history of materials flow analysis, part II, 1970-1998. Journal of Industrial Ecology. Nº 2. Páginas 107-129.

FISCHER-KOWALSKI, M., (1998). Society's metabolism: the intellectual history of materials flow analysis, part I, 1860-1970. Journal of Industrial Ecology. Nº 2. Páginas 61-77.

FUNDACIÓN DE LA INGENIERÍA CIVIL DE GALICIA (2009). *Ingeniería civil para un mundo sostenible.* Ed.: Juan Cagiao Villar (LIS, Llaboratorio de Iingeniería Ssostenible). ISBN: 978-84-613-3962-4

FUNDACIÓN LABORAL DEL CEMENTO Y EL MEDIO AMBIENTE (CEMA) (2008). *Valorización de residuos en la industria cementera europea: estudio comparado (Alonso&Asociados)*

FUNDACIÓN LABORAL DEL CEMENTO Y EL MEDIO AMBIENTE (CEMA) (2008). *Reciclado y valorización de residuos en la industria cementera en España (Instituto Cerdá).*

FUNDACIÓN LABORAL DEL CEMENTO Y EL MEDIO AMBIENTE (CEMA) (2008). *La sustitución de combustibles fósiles en el sector cementero. Oportunidad para reducir el vertido de residuos (Instituto para la Sostenibilidad de los Recursos – ISR)*

GAP, SEI AND ECO-LOGICA, (2006). UK Schools Carbon Footprint Scoping Study. Report by Global Action Plan. Stockholm Environment Institute and Ecologica Ltd for the Sustainable

Development Commission, London, March 2006 (http://www.sd-commission.org.uk/publications.php?id=389)

GARCÍA-NEGRO, M.C., (2003). Táboas input output pesca-conserva galegas 1999. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia, Consellería de Pesca e Asuntos Marítimos.

GENERALITAT DE CATALUNYA (2006). *Proposta d'informe de valoració del resultats de les proves mediambientals d'utilització de combustibles alternatius derivats de llots secs de depuradores d'aigües urbanes a forns de fabricació de clinquer*

GERMAN CONTRIBUTION to the Review of the Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industies. Junio 2006.

GISBERT AGUILAR, PEPA (2007) *Decrecimiento: camino hacia la sostenibilidad en* "*El ecologista*, nº 55, invierno 2007/2008".

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK (2006). *Datos, figuras y tablas*.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK (2006). *Datos, figuras y tablas*.Web: www.footprintnetwork.org(también publicado en http://assets.panda.org/downloads/living_planet_report.pdf; versión española: verhttp://www.footprintnetwork.org/newsletters/gfn_blast_0610.html)

GREENPEACE (2006). *La Situación de las Basuras en España*.

GRUBB AND ELLIS, (2007). Meeting the Carbon Challenge: The Role of Comercial Real Estate Owners, Users and Managers. Chicago.

GRUPO INTERMINISTERIAL PARA LA REVISIÓN DE LA ESTRATEGIA DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA UNIÓN EUROPEA (2007). *Estrategia Española de Desarrollo Sostenible*. Web: http://www.la-moncloa.es/NR/rdonlyres/A5A6231E-D8F8-4BAE-8BFB-A97BD4A8AA01/85482/EstrategiaEspa%C3%B1oladeDesarrollososteniblefinal.pdf

HUMPHREYS, K. Y M. MAHASENAN (2002). *Substudy 8: Climate Change – Toward a Sustainable Cement Industry. An Independent Study Commissioned by the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*

IECA (2005). *Informe agregado para la industria catalana del cemento en relación con el acuerdo voluntario para la prevención y el control de la contaminación de la industria del cemento firmado entre el departamento de medio ambiente y la agrupación de fabricantes de cemento de Cataluña*

IGNASI PUIG VENTOSA (2006). *Ponencia en la I Conferencia Nacional sobre prevención de Residuos. Madrid, 5-6 de abril 2006.*

INSTITUTO CERDÁ (2004). *Uso de Combustibles Alternativos en las Fábricas de Cemento*

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO EN ALEMANIA (2001). *Evaluación del empleo de harinas y grasas animales en los hornos rotatorios de la industria del cemento*.

INSTITUTO DE RECURSOS MUNDIALES (2000). *Declaración de Hannover de los líderes municipales en el umbral del siglo XXI. Agenda 21*.Web: http://www.agenda21.solhost.net/documentos/Declaracion_de_Hannover.pdf

INSTITUTO PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSO Y CLUB ESPAÑOL DE LOS RESIDUOS (2004). *Informe Estratégico sobre el Vertido de Residuos en España y Portugal*.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories reporting Instructions, 1997. (http://www.ipcc.ch/)

KING, BRUCE P.E. (2005) *Making Better Concrete. San Rafael, CA: Green Building Press*

KITZES, J., PELLER, A., GOLDFINGER, S. AND WACKERNAGEL, M., (2007). Current Methods for Calculating National Ecological Footprint Accounts. Science for Environment & Sustainable Society. Vol. 4 Nº 1. Páginas: 1-9.

L´AGENCE DE DIFFUSION DE L´INFORMATION TECHNOLOGIQUE (2003). *Bilan de la gestion des déchets industriels en Belgique et influence des instrumentes économiques*

L´AGENCE DE DIFFUSION DE L´INFORMATION TECHNOLOGIQUE (2003). *Bilan de la gestion des déchets industriels en Allemagne et infl uence des instrumentes économiques.*

L´AGENCE DE DIFFUSION DE L´INFORMATION TECHNOLOGIQUE (2003). *Bilan de la gestion des déchets industriels aux Pays-Bas et infl uence des instrumentes économiques.*

L´AGENCE DE DIFFUSION DE L´INFORMATION TECHNOLOGIQUE (2003). *Bilan de la gestion des déchets industriels en Suisse et infl uence des instrumentes économiques.*

L´AGENCE DE DIFFUSION DE L´INFORMATION TECHNOLOGIQUE (2003). *Bilan de la gestion des déchets industriels en France et infl uence des instrumentes économiques.*

LEHNI M., (1999). El medio ambiente como factor clave de competitividad. En Eco-eficiencia, los negocios en el próximo milenio. Fundación Entorno. Madrid. Páginas: 23-28.

MARAÑÓN, E., IREGUI, G., DOMÉNECH, J. L., FERNÁNDEZ NAVA, I. Y GONZÁLEZ-ARENALES, M. (en prensa) (2008).. Propuesta de índices de conversión para la obtención de la huella de los residuos y los vertidos. Revista OIDLES.

MEG CALKINS (2009). *Materials for sustainable sites*.

MINISTÈRE DE L´ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE. FRANCIA (2004). *Prévention de la production de déchets.*

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2005). *Perfil Ambiental de España 2005*.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2006). *I Conferencia Nacional de Prevención de Residuos*

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2007). *Propuesta de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia. Horizonte 2012.*

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. *Borrador del Plan Nacional Integrado de Residuos (2007-2012).*

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. *Plan Nacional de Gestión de Residuos Urbanos (2000-2006).*

MONCLOA, LA (1990). *Referencia del Consejo de Ministros: Quinto programa comunitario de actuación en materia de medio ambiente: hacia un desarrollo sostenible.*Web: http://europa.eu/legislation_summaries/other/l28062_ es.htm

MONFREDA, C., WACKERNAGEL, M. Y DEUMLING, D., (2004). Establishing national natural capital accounts based on detailed Ecological Footprint and biological capacity assessments. Land Use Policy. Nº 21. Páginas: 231-246.

OFEV. Office fédéral de L´environnement. (2006). *Statistique des déchets 2005*

OFICEMEN (2005). *Informe de Sostenibilidad 2005 en la Industria del Cemento en España*

OFICEMEN (2006). *El Mercado Cementero Español*

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS – COMISIÓN BRUNDTLAND (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro Futuro Común*

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development.*

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (1992). *Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo*. Web: http://www.un.org/esa/dsd/agenda21_spanish/res_riodecl.shtml

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (1997). *Cumbre para la Tierra + 5 (New York) conferences*. Web: http://www.un.org/spanish/conferences/cumbre&5.htm

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (2001). *Informe de la Comisión de Desarrollo Sostenible*Web:http://daccessdds.un.org/doc/UNDOC/GEN/N01/292/61/PDF/N0129261.pdf?OpenElement

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (2002). *Declaración de Johannesburgo sobre el Desarrollo Sostenible*. Web:http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/Spanish/WSSDsp_PD.htm

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (2002). *United Nations: Johannesburg Summit 2002*.Web: http://www.johannesburgsummit.org/

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (2004). *Aalborg+10 conferences*. Web:http://www.aalborgplus10.dk/

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (2005). *Documento Final de la Cumbre Mundial 2005*.

PATEL, J., (2006). Green sky thinking. Environment Business, nº 122. Página 32.

PON, D., CALVO, M., ARTO, I., FERNÁNDEZ, M., MARTÍNEZ, S. Y PLANAS, V., (2007). Análisis preliminar de la huella ecológica en España. Informe de Síntesis. Seminario La Huella Ecológica en España. Madrid. Páginas: 33.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (2006). *Concrete Thinking for a Sustainable World. Web: http://www.cement.org/concretethinking/*

POST, (2006). Carbon footprint of electricity generation. POSTnote 268, October, 2006, Parlamentary Office of Science and Technology, London, UK (http: //www.parliament.uk/documents/upload/postpn268.pdf).

REES W Y WACKERNAGEL M., (1996). Our ecological footprint. Reducing human impact on Earth. New Society Publishers. Canadá.

SCHNEIDER, H. Y SAMANIEGO, J., (2009). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Naciones Unidas, CEPAL, Santiago de Chile: 46 pp.

SEI AND WWF, (2007). The Carbon Footprints of Local Authorities in England, forthcoming.

SILVA-COLMENARES, JULIO (2007), *Crecimiento económico y desarrollo humano. Una distinción necesaria en la búsqueda de un nuevo modo de desarrollo*, Universidad Autónoma de Colombia.

SIMMONS, C., GONZÁLEZ, I. AND LEWIS, K., (2006). Methodology for determining global sectoral material consumption, carbon dioxide emissions and Ecological Footprints. WWF, One Planet Business; Review Version 12. 9th June 2006 (http://www.bestfootforward.com/OPB/Methodology%20Report%20-%20Review%20v12.PDF)

SUBIRANA, PERE (1995) *Consumir menys per ciure millor Ecoconcern. Papers d'innovació social.*

SUBIRANA, PERE (1995) *Consumir menys per ciure millorEcoconcern. Papers d'innovació social.*

TERRA (2006). *Artículo "Cuba, único país del mundo con desarrollo sostenible, según WWF*.Web:http://terranoticias.terra.es/ciencia/articulo/cuba_wwf_unico_pais_mundo_1161750.htm

THOMSON, J. W. AND K. SORVIG. (2000). *Sustainable Landscape Construction: A guide to green buiñding outdoors. Washington, DC: Island Press*

TORTAJADA, R., (2007). Cálculo de la huella ecológica en la Comunidad Foral de Navarra, 1999-2003-2007. Seminario La Huella Ecológica en España. Madrid. Páginas: 30.

TRUCOST, (2006). Carbon Counts: The Trucost Carbon Footprint Ranking of UK Investment Funds. London.

UNESCO (2001). Declaración Universal de la UNESCO sobre la Diversidad Cultural.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2007). Draft inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2005

UNITED STATES FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA) (2006). *Integrates Materials and Construction Practices for Concrete Pavement. A State-of-the-Practice Manual, FHWA HIF-07-004. Authors: Peter C. Taylor et al. Ames, IA: National Concrete Pavement Technology Center/Center for Transportation Research and Education, Iowa State University*

UNITED STATES NATIONAL SLAG ASSOCIATION (NSA). Web:http://www.nationalslag.org/

VARIOS incluidos los precursores del Club de Roma, Rene Dumont, el sociólogo Jacques Ellul, Iván Illich Nicholas Georgescu-Roegen, así como el economista Serge Latouche y la física y filósofa Vandana Shiva (1999). *Informe de la Comisión de Desarrollo Sostenible de la ONU 1999.*Web:http://daccessdds.un.org/doc/UNDOC/GEN/N99/023/11/PDF/N9902311.pdf?OpenElement versión española: verhttp://www.footprintnetwork.org/newsletters/gfn_blast_0610.html)

WACKERNAGEL, M., (1998). The "Ecological Footprint of Santiago de Chile. Local Environment. Vol. 3 (1). Páginas: 7-25; (hoja de cálculo: http://www.iclei.org/ICLEI/SANTIAGO.XLS, último acceso, marzo/2005).

WACKERNAGEL, M., DHOLAKIA, R., DEUMLING, D. Y RICHARDSON, D., (2000). Redefining Progress, Assess your Household's Ecological Footprint V 2.0. March, 2000; (http://greatchange.org/ng-footprint-ef_household_evaluation.xls; último acceso, noviembre/2005).

WACKERNAGEL, M., MONFREDA, CH., SCHULZ, B., ERB, K., HABERL, H. Y KRAUSMANN, F., (2004). Calculating national and global ecological footprint time series: resolving conceptual challenges. Land Use Policy. Nº 21. Páginas: 271-278.

WACKERNAGEL, M. (y otros 10 autores), (2005a). Europe 2005: The Ecological Footprint. WWF European Policy Office, Brussels, Belgium, Jun. 2005. Páginas: 26.

WACKERNAGEL, M., MONFREDA, CH., MORAN, D., WERMER, P., GOLDFINGER, S., DEUMLING, D. AND MURRAY, M., (2005b). National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method. Global Footprint Network. Páginas: 10. (www.footprintnetwork.org; último acceso, diciembre/2005).

WALL, DEREK. (2005) *Babylon and Beyond: The Economics of Anti-Capitalist, Anti-Globalist and Radical Green Movements*. Pluto Press. ISBN 978-0-7453-2390-9.

WIEDMANN, T. AND LENZEN, M., (2006). On the conversión between local and global hectáreas in Ecological Footprint analisis. Ecological Economics. Nº 20.

WIEDMANN, T. AND MINX, J., (2007). A Definition of 'Carbon Footprint'. ISA Research Report nº 07-01: 1-9 (www.isa-research.co.uk).

WIEDMANN, T., BARRET, J. Y LENZEN, M., (2007). Companies on the Scale: Comparing and Benchmarking the Footprints of Businesses. International Ecological Footprint Conference. Cardiff, 8-10 May, 2007. Páginas: 1-20.

WIEDMANN, T., MINX, J., BARRET, J. AND WACKERNAGEL, M., (2006). Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output analysis. En Ecological Economics. Nº 56. Páginas: 28-48.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (2005). Guidelines for the Selection and Use of Fuels and Raw Materials in the Cenit Manufacturing Process.

WWF/ADENA (2004). Informe *Planeta Vivo 2004*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los países con mayor huella ecológica por persona en ha globales 21
Tabla 2. Valores más representativos de límites de emisión en hornos de clínker 39
Tabla 3. Generación y gestión de los neumáticos fuera de uso en el periodo 200-2005 (toneladas) 43
Tabla 4. Generación de residuos peligrosos en el año 2005 y estimación de la valorización energética (toneladas) 52
Tabla 5. Variables más importantes de las harinas según valorización energética 57
Tabla 6. Estimación de la generación de residuos de vehículos fuera de uso en el año 2006 (toneladas) 61
Tabla 7. Destino de los lodos de depuradora en la Unión Europea y España 64
Tabla 8. Objetivos ecológicos del I Plan Nacional de Residuos Plásticos de uso agrario 67
Tabla 9. Características funcionales de la "instalación actual" 78
Tabla 10. Reparto porcentual de los costes de inversión 80
Tabla 11. Reparto absoluto de los costes de inversión 80
Tabla 12. Superficie construida 80
Tabla 13. Gastos inversión 81
Tabla 14. Gastos anuales (considerada amortización de 20 años) 82
Tabla 15. Costes de explotación 82
Tabla 16. Características de funcionamiento del caso de estudio "planta tipo B" 85
Tabla 17. Desglose de costes de inversión 91
Tabla 18. Reparto porcentual de costes de inversión 92
Tabla 19. Reparto absoluto de costes de inversión 93
Tabla 20. Desglose anual de costes de inversión (considerada amortización en 20 años) 94
Tabla 21. Desglose de superficie construida 95
Tabla 22. Desglose de costes de explotación 96
Tabla 23. Características de funcionamiento de caso de estudio "planta tipo C" 100
Tabla 24a y 24b. Desglose porcentual y absoluto de los costes de inversión 103
Tabla 25. Desglose de superficie construida 103
Tabla 26. Desglose anual de costes de inversión (considerada amortización en 20 años) 104
Tabla 27. Desglose de costes de explotación 104
Tabla 28. Empleo de materias primas en los tres casos de estudio 105
Tabla 29a y 29b. Materias primas empleadas medidas en toneladas y m^3 106
Tabla 30. Huella materias primas empleadas 106
Tabla 31. Desglose de personal contratado 107
Tabla 32. Consumos de agua 108
Tabla 33. Residuos generados en los tres casos de estudio 108
Tabla 34. Emisión de paetículas 109
Tabla 35. Emisión de gases en mg/Nm^3 y kg/año 109
Tabla 36. Fuentes de emisiones contempladas en la huella del carbono (MC3 V.2). 114
Tabla 37. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella de las emisiones directas 115
Tabla 38. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella del consumo de energía eléctrica (hoja "mix") 118
Tabla 39. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella de los materiales 120
Tabla 40. Matriz de obras 124
Tabla 41. Desglose del importe por tipo de obra (%sin IVA) 125
Tabla 42. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella de los servicios y contratas 126
Tabla 43. Servicios contemplados en MC3 V.2.0. y porcentajes de energía estimada (% de la factura del servicio) 128
Tabla 44. Intensidad energética del transporte de pasajeros y mercancías seleccionados para la versión MC3 V.2.0 129
Tabla 45. Huella de las infraestructuras y servicios públicos calculada a partir de los Presupuestos del Estado y computada a través de los impuestos 130
Tabla 46. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella agrícola y pesquera 131

Tabla 47. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella forestal 134
Tabla 48. Intensidad energética (KWh/m3) del suo del agua 135
Tabla 49. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella del uso del suelo 137
Tabla 50. Potencial de Claentamiento Global (GWP_{100}) de los principales gases de efecto invernadero 140
Tabla 51. Potencial de Calentamiento Global 140
Tabla 52. Fragmento de la herramienta de cálculo MC3 referente al cálculo de la huella de los residuos, emisiones y vertidos 141
Tabla 53. Resumen de inputs en unidades de consumo 173
Tabla 54. Emisiones de CO_2 debidas a los diferentes "inputs" 175
Tabla 55. Resumen de emisiones por categorías de consumos 177
Tabla 56. Porcentajes de reducción de huella mediante el empleo de MTD 190
Tabla A1 – Gastos de inversión anuales (considera período de amortización de 20 años) (caso A) 143
Tabla A2 – Terrenos ocupados por la planta (caso A) 144
Tabla A3 – Costes anuales de explotación (caso A) 144
Tabla A4 – Materiales consumidos (caso A) 145
Tabla A5 – Residuos generados (caso A) 145
Tabla A6 – Emisiones de polvo (caso A) 146
Tabla A7 – Emisiones de gases (caso A) 146
Tabla A8 – Consumos de agua (caso A) 146
Tabla B1 – Desglose costes de inversión (caso B) 153
Tabla B1b – Costes de inversión anuales (amortización 20 años) (caso B) 154
Tabla B2 – Ocupación de terrenos (caso B) 155
Tabla B3 – Costes anuales de explotación (caso B) 155
Tabla B4 – Materiales consumidos (caso B) 156
Tabla B5 – Residuos generados (caso B) 156
Tabla B6 – Emisiones de polvo (caso B) 157
Tabla B7 – Emisiones de gases (caso B) 157
Tabla B8a - Coste del transporte marítimo (caso B) 157
Tabla B8b - Coste de las operaciones del muelle de destino (caso B) 158
Tabla B8c – Coste total del transporte del clinker (caso B) 159
Tabla B9 – Consumos de agua (caso B) 159
Tabla C1 – Gastos de inversión anuales (considera período de amortización de 20 años) (caso C) 165
Tabla C2 – Terrenos ocupados por la planta (caso C) 165
Tabla C3 – Costes anuales de explotación (caso C) 166
Tabla C4 – Materiales consumidos (caso C) 166
Tabla C5 – Residuos generados (caso C) 167
Tabla C6 – Emisiones de polvo (caso C) 167
Tabla C7 – Emisiones de gases (caso C) 168
Tabla C8 – Consumos de agua (caso C) 168

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pilares del desarrollo sostenible 8
Figura 2. Componentes de la huella ecológica 20
Figura 3. Mapa de huella ecológica global media en ha/cap/año (año 2005) 22
Figura 4. Esquema de los flujos de gestión de aceites usados aplicando los objetivos establecidos en el Real Decreto 679/2006 49
Figura 5. Esquema de funcionamiento (caso A) 79
Figura 6. Procesado de materias primas (caso B) 86
Figura 7. Esquema tolvas (caso B) 87
Figura 8. Esquema molienda (caso B) 88
Figura 9. Esquema silos (caso B) 89
Figura 10. Esquema ensacado-paletizado (caso B) 90
Figura 11. Esquema de funcionamiento (caso C) 102
Figura 12. Vista parcial de la herramienta de cálculo MC3 con las nuevas filas 12 y 13 149
Figura 13. Energía embebida del clinker 161
Figura 14. Huella emisiones directas (resultados finales) 178
Figura 15. Huella emisiones indirectas (resultados finales) 178
Figura 16. Huella materiales (resultados finales) 179
Figura 17. Huella servicios y contratas (resultados finales) 179
Figura 18. Huella agrícola y pesquera (resultados finales) 180
Figura 19. Huella forestal (resultados finales) 180
Figura 20. Huella hídrica (resultados finales) 180
Figura 21. Huella usos del suelo (resultados finales) 181
Figura 22. Huella de los residuos (resultados finales) 181
Figura 23. Huella total (resultados finales) 182
Figura 24. Contrahuella total (resultados finales) 182
Figura 25. Huella neta total (resultados finales) 183
Figura 26. Incidencia de cada categoría en la huella total (caso A) 183
Figura 27. Incidencia de cada categoría en la huella total (caso B) 184
Figura 28. Incidencia de cada categoría en la huella total (caso C) 184