

COMPARACIÓN DEL EFECTO AMBIENTAL ASOCIADO AL TRATAMIENTO DE HARINAS ANIMALES EN DISTINTAS INSTALACIONES

ÓSCAR GIMÉNEZ

JEFE DE PROYECTOS DEL ÁREA DE MEDIO AMBIENTE DEL INSTITUT CERDÀ

Según la Decisión 2000/418/CE, de 20 de junio de 2000, que establece las posibles vías de eliminación de las harinas animales, las instalaciones existentes que pueden dar tratamiento a este residuo son: los hornos de cemento, las incineradoras, los vertederos controlados y las centrales térmicas. En este artículo se debate cuál de las cuatro opciones es la más favorable, desde el punto de vista ambiental.

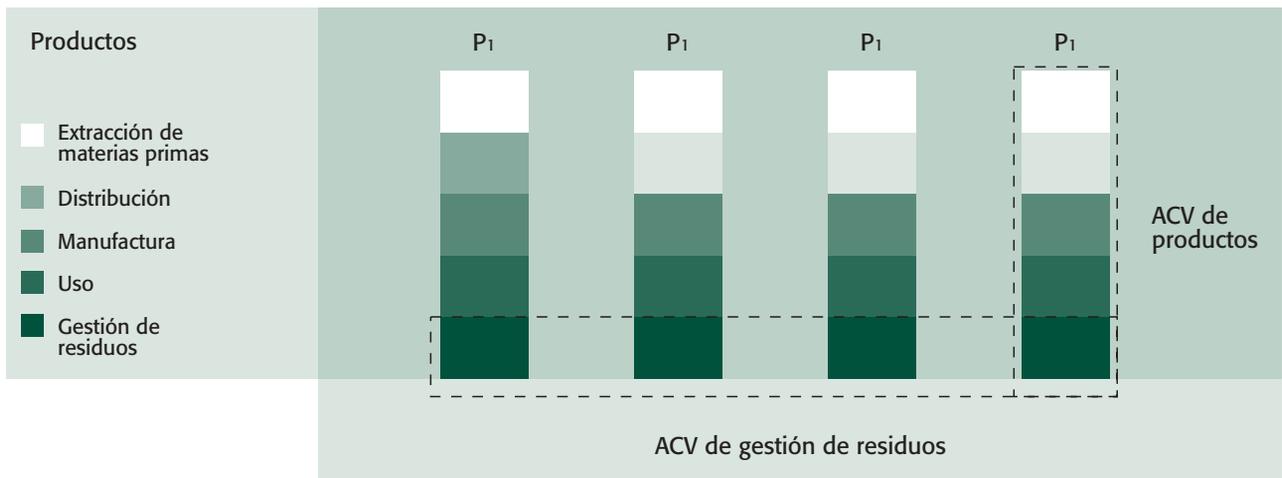
Para ello, se ha efectuado un Análisis del Ciclo de Vida comparativo que abarca la gestión de la harina animal como residuo. De este análisis se concluye que la valorización energética de las harinas animales en fábricas de cemento constituye la opción con menor impacto ambiental asociado, y que permite un uso más eficiente desde el punto de vista ambiental de las instalaciones existentes para tratar harinas animales.

En este artículo se pretende analizar los efectos ambientales asociados a diferentes tratamientos para la harina animal, con el fin de determinar cuál de ellos es el más adecuado, desde el punto de vista ambiental.

En concreto, el objetivo de este estudio es determinar el impacto ambiental asociado a:

- La coincineración de la harina animal en los hornos de cemento;
- La incineración de la harina animal en incineradoras de RSU (Residuos Sólidos Urbanos);
- El vertido de la harina animal en vertederos controlados;
- La combustión de la harina animal en centrales térmicas.

Figura 1.- Comparación de los límites de un ACV de productos y de un ACV de gestión de residuos



Esto se realizará mediante un Análisis del Ciclo de Vida que abarque la gestión de la harina animal como residuo, según la metodología que se expone en los siguientes apartados.

Así, la gestión de residuos es parte integrante de todo el ACV, pero también constituye una actividad en si misma, por lo que puede ser estudiada independientemente.

El análisis del ciclo de vida

El Análisis del Ciclo de Vida es una herramienta que permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo vital (de la cuna a la tumba), teniendo en cuenta todas las etapas que lo componen: extracción de materias primas, producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento y gestión de los residuos.

La metodología general del Análisis del Ciclo de Vida se desarrolla en las diferentes fases que aparecen en la tabla 1. De estas fases, la de *evaluación de impactos* es la menos consensuada, y existen varios métodos para llevarla a cabo.

La principal diferencia entre un ACV aplicado al sistema productivo de un producto y un ACV aplicado exclusivamente a un sistema de gestión de residuos radica en el ámbito de estudio: Mientras que el primero abarca todos los aspectos del ciclo de vida del producto, el ACV de un sistema de residuos sólo incluye la última fase de su ciclo de vida, como se representa en la figura 1.

Unidad analizada

Para la realización de un ACV se necesita escoger lo que se conoce como *unidad funcional*, que es aquella unidad a la que irán referidas todas las entradas y salidas del sistema. Esta unidad debe representar la función del sistema analizado, y debe adecuarse a los objetivos del estudio.

En el caso presentado en este artículo, se pretende comparar el efecto ambiental global asociado a los diferentes tratamientos de la harina animal. Para ello, debe tenerse en cuenta que, de las instalaciones consideradas, las fábricas de cemento y las centrales térmicas tienen un flujo continuo de salida de cemento y de electricidad respectivamente, que debe garantizarse aunque la harina animal no se trate en estas instalaciones.

Así, cuando la harina animal no es utilizada en las fábricas de cemento, se debe seguir produciendo la misma cantidad de cemento a partir de otros combustibles, y cuando la harina no se destina a la obtención de electricidad (bien sea en la central térmica o bien en la planta incineradora), ésta tiene que ser generada igualmente, a partir de las diferentes fuen-

Tabla 1.- Fases que componen la metodología del Análisis del Ciclo de Vida

Fase	Descripción
Definición de objetivos y alcance	Incluye la definición exacta del sistema a estudiar, los límites del estudio y el objetivo del mismo. El resto de etapas vendrán condicionadas por ésta.
Análisis de inventario	Evaluación de todas las entradas de materia y energía y todas las emisiones del sistema definido que puedan generar un impacto sobre el entorno.
Evaluación de impactos	Se divide en: <ul style="list-style-type: none"> • a) clasificación de los datos recogidos en el inventario según la categoría de impacto a la que puedan afectar; • b) caracterización de las diferentes emisiones según su potencial de afectación a cada categoría de impacto; • c) normalización de estos valores respecto a valores reales o estimados para una zona o momento determinados; • d) valoración, consistente en ponderar el valor relativo de las diferentes categorías de impacto consideradas, para evaluar el impacto global del producto, proceso, o actividad

tes que constituyen el sistema de generación eléctrico español (mix de generación español).

En consecuencia, la unidad funcional deberá ser aquella que permita evaluar el tratamiento de una cantidad determinada de harina animal así como, simultáneamente, la generación de los productos que pueden fabricarse a partir de la misma en las diferentes instalaciones consideradas, y cuya producción no puede, de ninguna manera, interrumpirse.

De esta forma la unidad funcional a partir de la cual se efectuarán todos los cálculos del presente estudio, queda definida de la siguiente manera:

- Tratamiento de 1 tonelada de harina animal
- Producción del cemento obtenido al usar 1 tonelada de harina animal como único combustible en una fábrica de cemento
- Producción de la electricidad generada al usar 1 tonelada de harina animal como único combustible en una central térmica

En este sentido, una unidad funcional que únicamente contemplara el tratamiento de 1 t de harina animal y no incluyera el impacto asociado a la fabricación de aquellos productos (cemento y electricidad) que pueden obtenerse a partir de la misma y cuya producción debe garantizarse en cualquier cir-

cunstancia, no reflejaría el impacto verdadero asociado al tratamiento de las harinas animales. Esto es debido a que este tipo de unidad funcional no consideraría los impactos ambientales que se evitan con la valorización de las harinas animales y, en consecuencia, no permitiría evaluar correctamente el comportamiento ambiental real de las instalaciones analizadas.

Instalaciones y sistemas considerados

Las características técnicas de las instalaciones que se han considerado en este estudio, es decir, la fábrica de cemento, la incineradora de RSU, el vertedero controlado y la central térmica, aparecen recogidas en las tablas 2, 3, 4 y 5.

Los sistemas que han sido objeto de estudio son aquellos que representan las combinaciones de las cuatro instalaciones descritas que permiten generar la unidad funcional analizada, es decir, que dan tratamiento a 1 tonelada de harina, que producen 5,45 toneladas de cemento (cantidad obtenida al usar la harina animal en la fábrica de cemento considerada) y que generan 2,055 MWh de electricidad (electricidad que se generaría si la harina se destinase a la central térmica).

Estos posibles escenarios se representan en los diagramas que aparecen en las figuras 2, 3, 4 y 5, y en cada uno de ellos el destino de la harina es el siguiente:

Tablas 2.- Características técnicas de la instalación de fabricación de cemento

Proceso	Características técnicas
Cocineración de la harina en horno de cemento	Producción de clínker por vía seca en hornos rotatorios
Trabajos de preparación y molienda	Consumo de electricidad: 0,1 MWh/ t de cemento. Correspondiente a los trabajos de preparación de las materias primas y el combustible, y a la obtención de cemento a partir del clínker.
Sistema de depuración de gases	Filtros de mangas
Consumo de energía	Combustibles utilizados: Expresado en % de potencia calorífica aportada: Harinas animales 6%; Coque de petróleo 94%

Tabla 3.- Características técnicas de la planta incineradora

Proceso	Características técnicas
Incineración de la harina	Incineradora de Residuos Sólidos Urbanos, con horno de parrillas
Recuperación de energía	- Producción de electricidad mediante una turbina de vapor - Generación de electricidad: 0,3MWh/ t de RSU
Depuración de gases	- Precipitadores electrostáticos - Sistema de depuración húmedo con cal - Filtros de carbón activo - Reducción catalítica selectiva (depuración de NOx)
Tratamiento de cenizas	Vitrificación y deposición en vertedero controlado
Consumo de energía	Residuos tratados: Expresado en % en masa: Harinas animales 10%; RSU 90%

Tabla 4.- Características técnicas del vertedero controlado

Proceso	Características técnicas
Tratamiento de la harina en vertedero	- Base del vertedero y paredes laterales de arcilla compactada - Acondicionamiento de residuos: 6 compactadores de ruedas de acero, 2 palas de ruedas, un motonivelador y una pala de cadenas. - Recubrimiento: diario
Captación de lixiviados	Eficiencia de captación: 98 %
Tratamiento de lixiviados	- Lodos activos - Nitrificación y desnitrificación - Decantación secundaria con deshidratación de lodos - Osmosis inversa - Eficiencia de depuración: 40% de DQO y DBO; 80% de N, P y S; 0% Cl. - Consumo de electricidad: 0,1 kWh/kg DQO eliminada
Captación de biogás	Captación de biogás mediante chimeneas verticales para evitar la acumulación de gases en los residuos
Recuperación de energía	0 %: Se considera que todo el biogás producido se libera a la atmósfera

Tabla 5.- Características técnicas de la central térmica

Proceso	Características técnicas
Incineración de la harina	Tecnología utilizada: Gasificación a presión integrada con ciclo combinado
Sistema de depuración de gases	- Saturación del gas de carbón y dilución con nitrógeno residual antes de la combustión (reducción NOx) - Transformación de SOx en H2S mediante hidrólisis y posterior eliminación mediante una solución selectiva de metildietanolamina (MDEA) - Filtros cerámicos y lavador tipo Venturi
Tratamiento de las cenizas	Vitrificación y deposición en vertedero controlado
Consumo de energía	- Combustibles utilizados: Expresado en % en peso: coque de petróleo 48,86%; carbón 48,86%; harina animal 2,27%

- Sistema 1: En este sistema la harina animal se utiliza como combustible alternativo para la producción de cemento, por lo que el flujo de electricidad debe ser producido a través de sistemas convencionales, es decir, a partir del mix de generación de electricidad español.
- Sistema 2: En este sistema la harina animal se trata en la incineradora de RSU, por lo que el flujo de cemento debe ser producido a partir de combustibles tradicionales. La electricidad es generada en parte por la misma incineradora, y el resto a partir de sistemas convencionales.
- Sistema 3: En este sistema la harina animal se trata en un vertedero controlado, por lo que el flujo de cemento debe ser producido a partir de combustibles tradicionales. La electricidad es generada en su totalidad a partir de sistemas convencionales.
- Sistema 4: En este sistema la harina animal se utiliza como combustible alternativo en la central térmica, por lo que el flujo de cemento debe ser producido a partir de combustibles tradicionales.

una idea aproximada del impacto global asociado a cada uno de los sistemas analizados (aunque no un valor empírico exacto), y poderlos comparar entre sí.

Las categorías de impacto que se han considerado son, junto con sus unidades equivalentes, las siguientes:

- Potencial de calentamiento global (kg. equivalentes de CO₂)
- Potencial de acidificación (kg. equivalentes de SO₂)
- Potencial de eutrofización (kg. equivalentes de PO₄³⁺)
- Potencial de toxicidad (kg. equivalentes de etileno)

Además, se han analizado los siguientes indicadores de flujo:

- Consumo de energía primaria (MJ)
- Residuos no peligrosos (t)
- Residuos peligrosos(t)

Metodología de evaluación de impactos

Como se ha expuesto anteriormente, existen diversos métodos para llevar a cabo la última fase del ACV; la evaluación de impactos. El presente estudio se basa en el método desarrollado por el CML de Leiden, en Holanda, que sólo incluye los tres primeros pasos de la evaluación (clasificación, caracterización y normalización). Además, se ofrece una agregación lineal de los resultados normalizados, con el fin de dar

Calidad de los datos

Para realizar el análisis de inventario de los diferentes sistemas se han utilizado diversas fuentes, las cuales se comentan a continuación:

- La procedencia de los datos de emisiones de las diferentes instalaciones consideradas (que corresponden a las características descritas en las tablas 2, 3, 4 y 5) se recoge en la tabla 6.

Figura 2.- Diagrama del sistema I

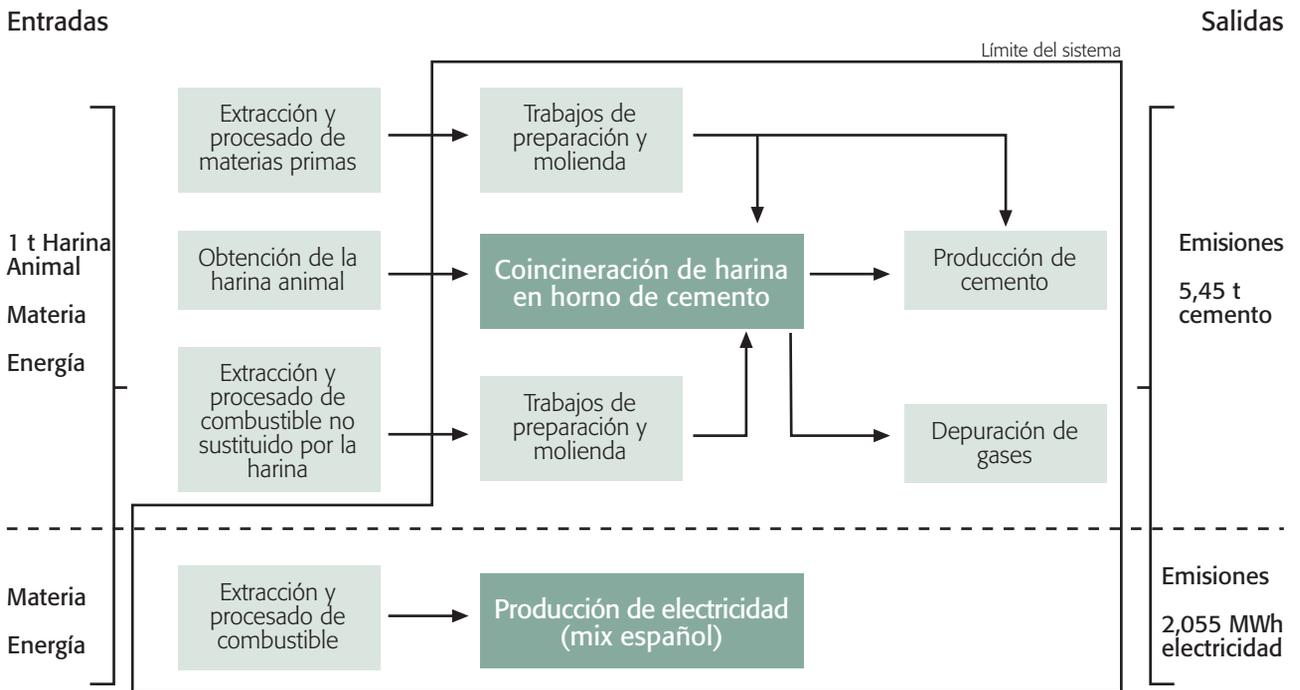


Figura 3.- Diagrama del sistema II

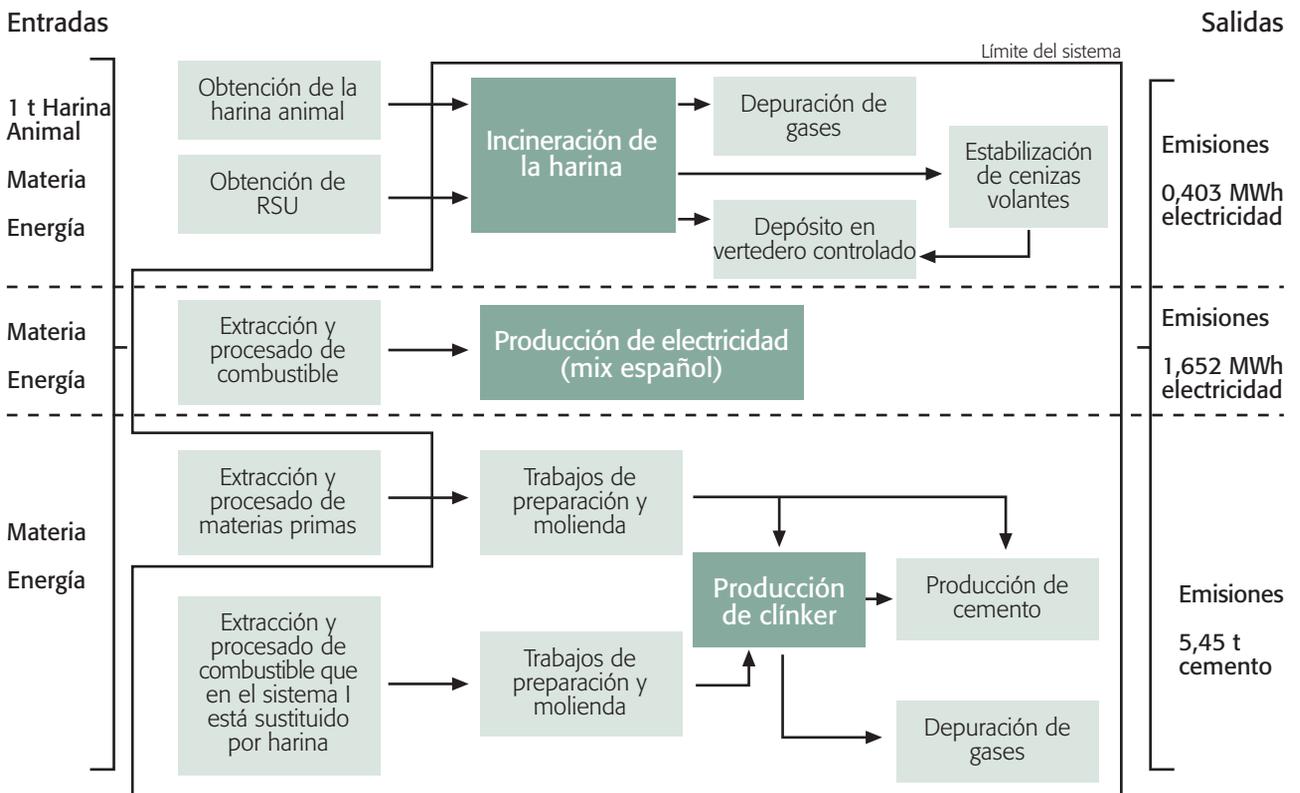


Figura 4.- Diagrama del sistema III

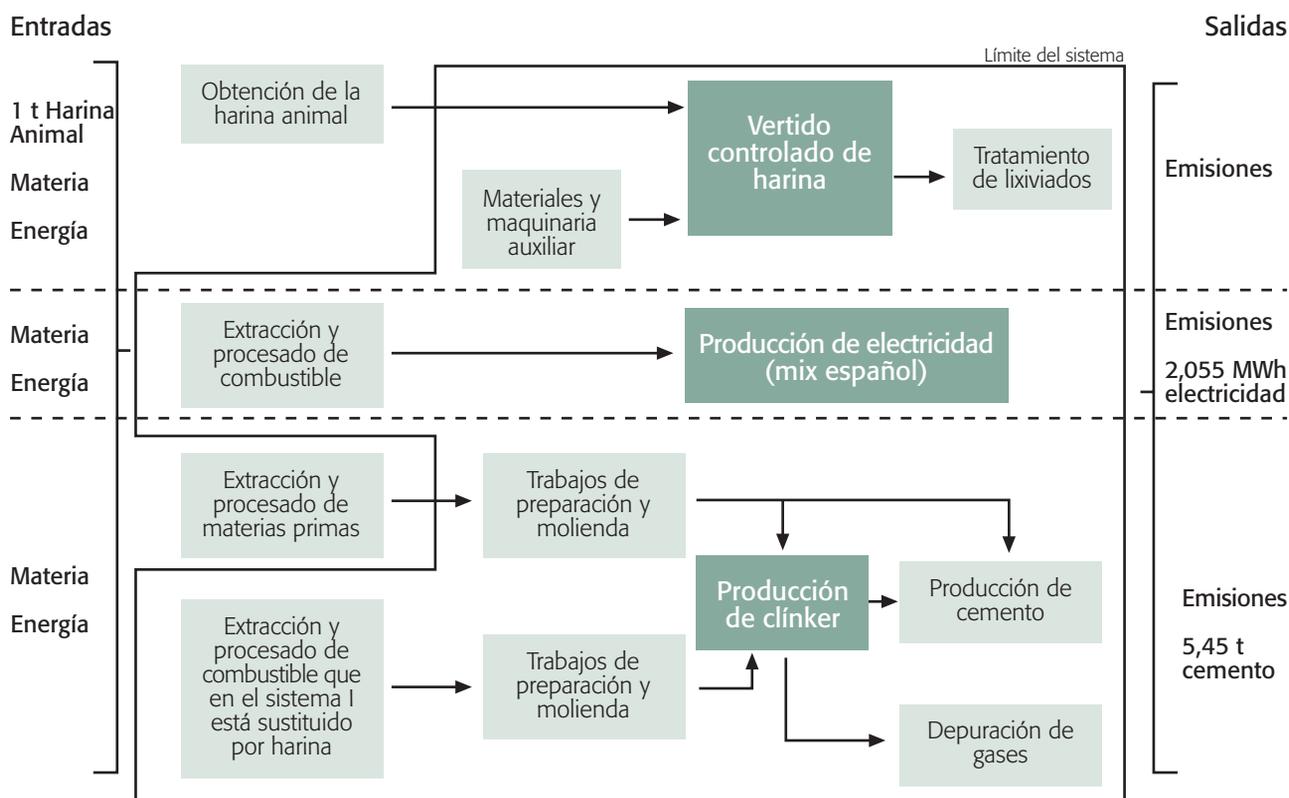
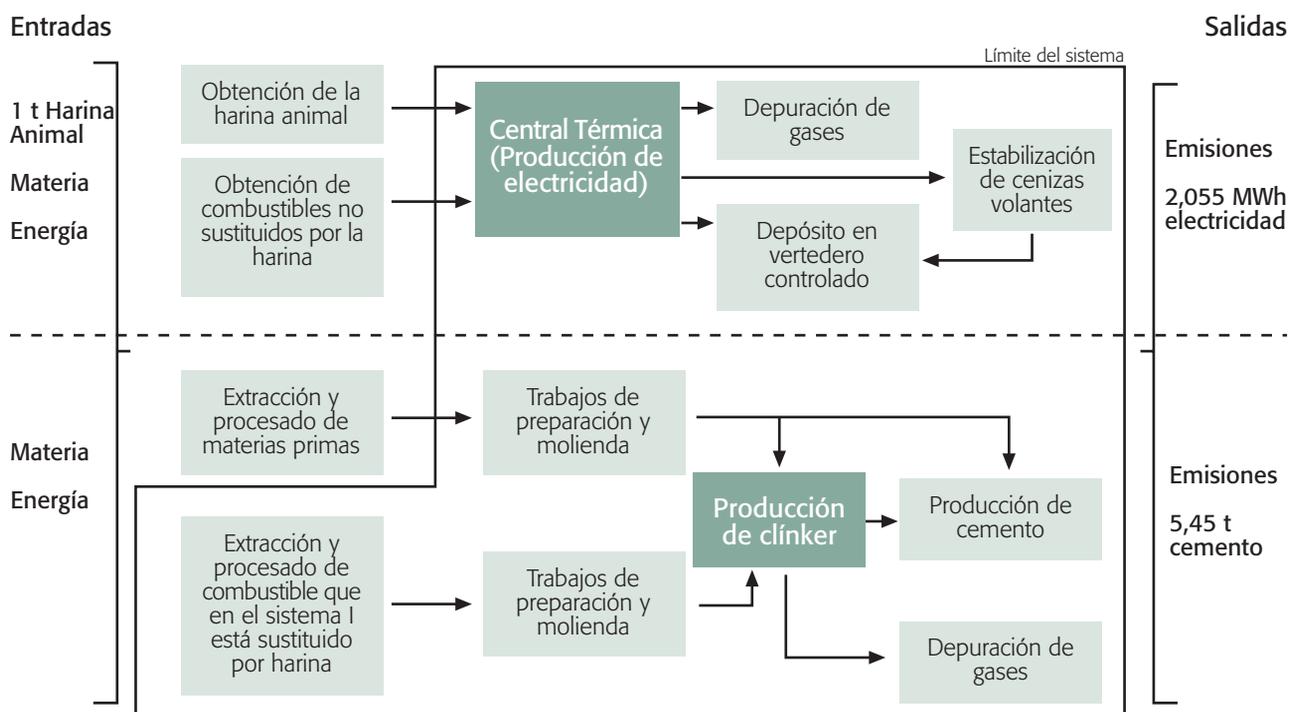


Figura 5.- Diagrama del sistema IV



- Para la elaboración de los inventarios de aquellas etapas que conllevan un consumo de electricidad, o la extracción y procesamiento de combustibles, se han utilizado bases de datos aceptadas internacionalmente.
- También ha sido necesario en algunos casos el planteamiento de algunas consideraciones teóricas, y el uso de datos bibliográficos.

Cabe mencionar que los datos de emisiones de los que se dispone para realizar los inventarios del ciclo de vida, son generalmente datos de mediciones hechas puntualmente en instalaciones concretas. Dada la importancia de esta fase dentro del ACV, sería conveniente poder obtener inventarios más completos, con mediciones efectuadas en continuo, y en un mayor número de instalaciones.

Tabla 6.- Fuentes de datos de las diferentes instalaciones consideradas

Instalación	Fuente
Fábrica de cemento	Se han utilizado datos procedentes de 2 de las instalaciones españolas que utilizan harinas animales.
Incineradora	Se han utilizado datos procedentes de 2 instalaciones de última generación alemanas, cuyas tecnologías de depuración de gases no son frecuentes en España. Se ha partido de estos datos por proceder de instalaciones que han estado dispuestas a facilitar sus emisiones para el presente estudio y que disponen de medidas correctoras adecuadas para cumplir los límites de emisión establecidos en la Directiva 2000/76 de 4 de diciembre del 2000, relativa a la incineración de residuos.
Vertedero controlado	Se han utilizado datos procedentes de cálculos teóricos efectuados a partir de las características de un vertedero tipo español. Se ha partido de datos teóricos debido a que, en la actualidad, no existe ningún vertedero controlado que haya contenido harina animal en cantidad y tiempo suficiente como para establecer las cargas ambientales derivadas de este tipo de material a partir de las emisiones globales de la instalación, ya que estas emisiones proceden en gran medida de otros residuos más abundantes y que han permanecido más tiempo en el vertedero.
Central térmica	Se han utilizado, principalmente, datos procedentes de 1 instalación de última generación española. Se ha partido de estos datos por proceder de la única central térmica española que utiliza harinas animales. Para aquellos parámetros para los cuales no se dispone de datos en esta instalación, se han utilizado datos de una central térmica inglesa de tecnología similar.

Tabla 7.- Resultado de la normalización, para cada categoría de impacto e indicador de flujo considerados

Categoría de impacto	Sistema I	Sistema II	Sistema III	SistemaIV
Calentamiento global (kg CO2 eq.)	0,1642	0,5922	0,5919	0,5893
Acidificación (kg SO2 eq.)	0,4278	0,6488	0,6548	0,5964
Eutrofización (kg PO43-eq.)	0,1748	0,0669	0,1178	0,0641
Toxicidad humana (kg etileno eq.)	0,4157	1,7310	1,7335	1,6778
Residuos no peligrosos (t)	2,936E-04	4,538E-04	2,366E-03	8,749E-04
Residuos peligrosos (t)	0,0000	5,634E-05	0,0000	1,069E-04
Consumo energético (MJ)	0,0610	0,1544	0,1633	0,1161
TOTAL	1,2438	3,1937	3,2637	3,0447

Impacto ambiental asociado a los diferentes tratamientos de la harina animal

Los gráficos que aparecen en la figura 6 representan el resultado de la caracterización de cada uno de los sistemas analizados, para las diferentes categorías de impacto consideradas.

De acuerdo con los gráficos anteriores, la valorización energética de las harinas animales en fábricas de cemento constituye el sistema que tiene menos emisiones globales asociadas.

Esto se debe, principalmente, a que

- Las emisiones de la fábrica de cemento y de la central térmica no presentan variaciones significativas al utilizar harina animal en sustitución de los combustibles tradicionales.
- La utilización de la harina animal como combustible en fábricas de cemento constituye el sistema que evita una mayor cantidad de cargas ambientales derivadas de procesos asociados. En especial, se evitan las emisiones derivadas de la extracción y procesamiento del combustible

Figura 6.- Impacto ambiental asociado al tratamiento de la harina animal en cada uno de los sistemas analizados (para cada categoría de impacto)

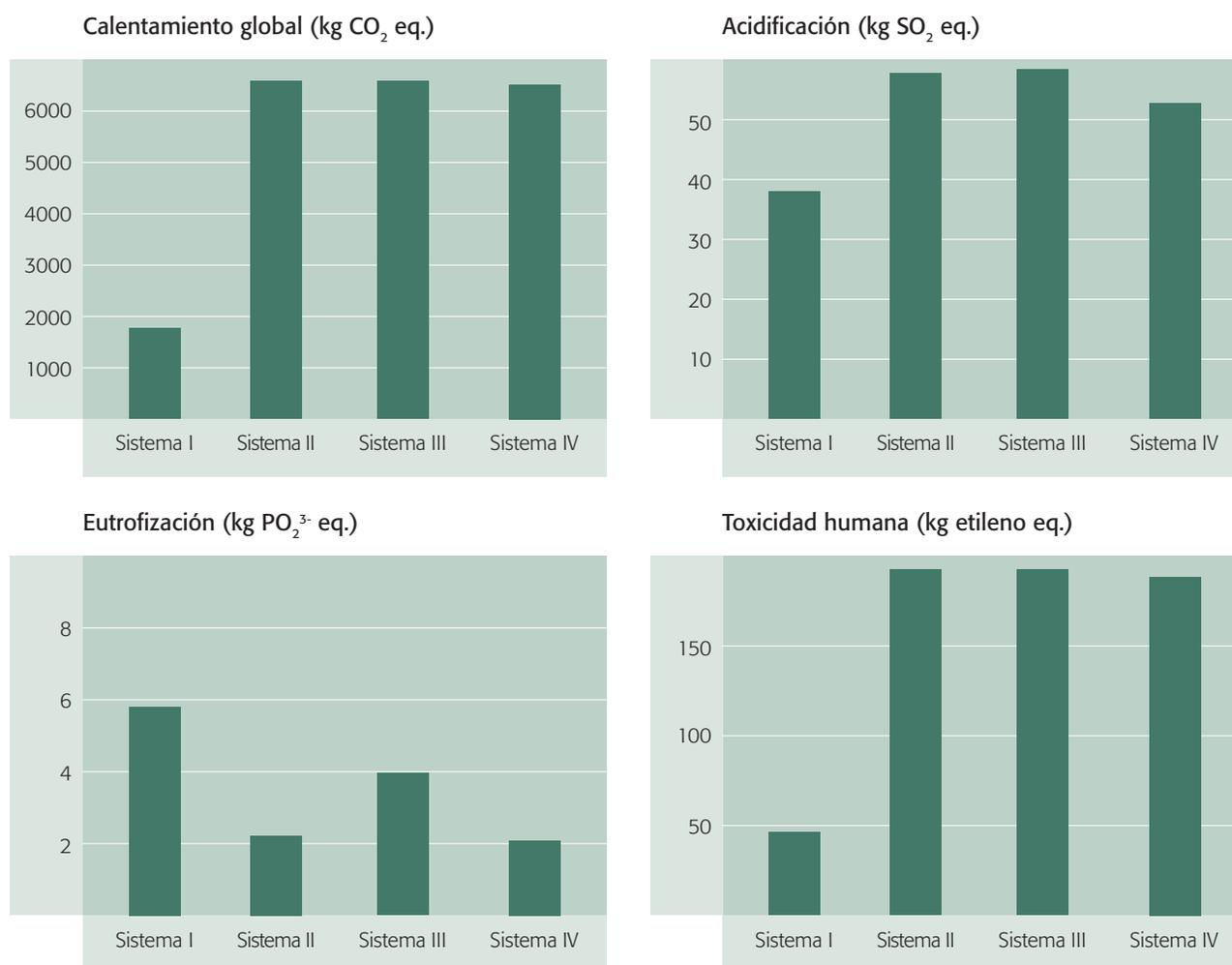


Figura 7.- Impacto ambiental asociado al tratamiento de la harina animal en cada uno de los sistemas analizados. (para cada indicador de flujo)

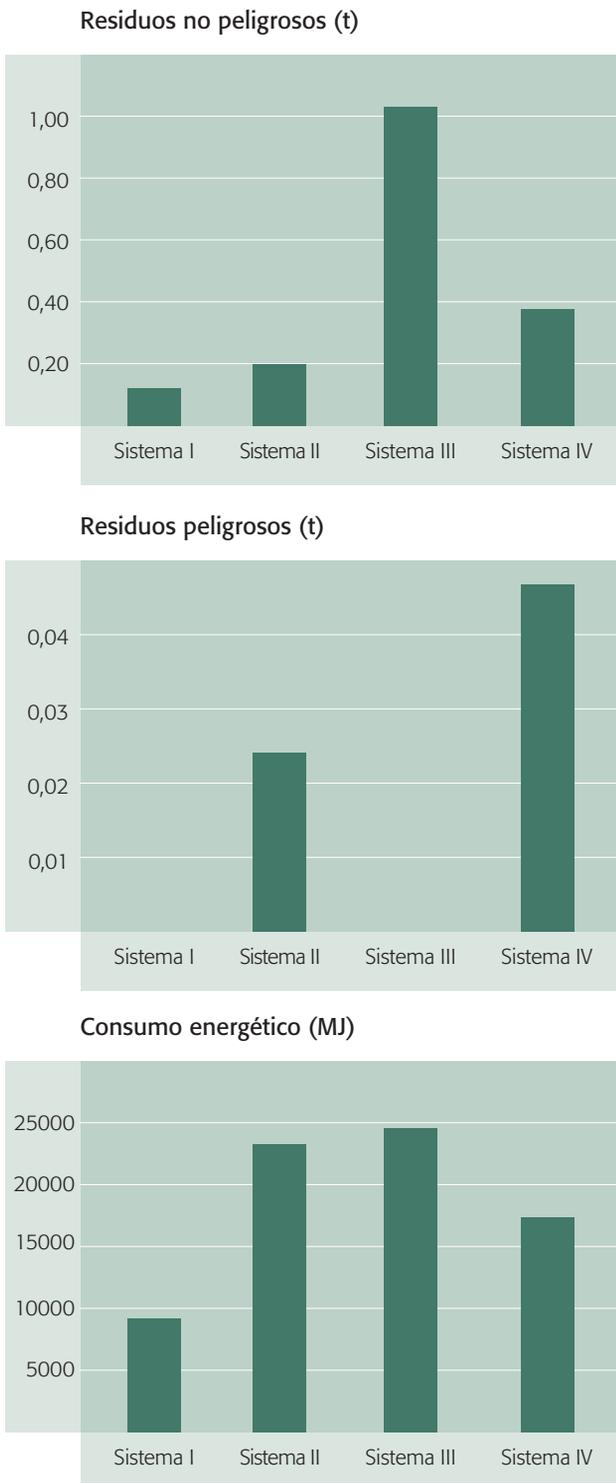
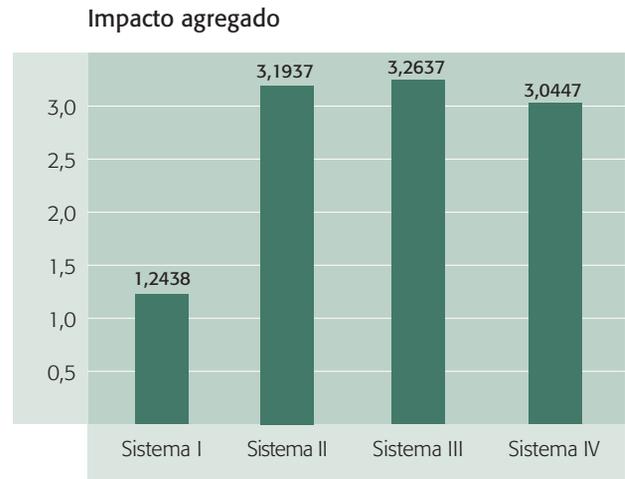


Figura 8.- Agregación del impacto ambiental asociado a los diferentes sistemas analizados



tradicional, y del tratamiento de los residuos producidos en otras instalaciones.

- Las emisiones asociadas a la incineradora de RSU y al vertedero aumentan al tratar la harina animal, ya que ésta constituye, para estas instalaciones, un residuo adicional que deben tratar.

Del resultado de la caracterización obtenido para los indicadores de flujo, representado en la figura 7, se desprenden dos ideas básicas:

- La valorización energética de las harinas animales en fábricas de cemento constituye la opción evaluada más favorable en cuanto a generación de residuos.

Esto es debido a que la producción de residuos (tanto peligrosos como no peligrosos) en la fábrica de cemento es nula, ya que la fracción mineral resultante de la combustión de la harina animal queda retenida en la matriz del clínker. En cambio, en el resto de instalaciones analizadas, se producen flujos de salida de residuos.

- La valorización energética de las harinas animales en fábricas de cemento constituye el sistema más eficiente desde el punto de vista energético, por encima de aquellos sistemas que utilizan la harina animal para generar

Harinas almacenadas para su posterior incineración en una planta de cogeneración de biomasa



Silos de harinas animales en una fábrica de cementos



Sacos de harinas animales en vertedero



electricidad. Esto se debe, principalmente, a que las fábricas de cemento utilizan el poder calorífico de la harina animal directamente, sin efectuar operaciones intermedias que disminuyan el rendimiento de la recuperación energética.

¿Cuál es el mejor destino para las harinas animales?

La normalización de los valores obtenidos para cada categoría de impacto e indicador de flujo se recoge en la tabla 7, mientras que el resultado de la agregación lineal queda reflejado en la figura 8. A pesar de que esta agregación no proporciona un valor exacto del impacto ambiental asociado a cada sistema, sí que permite compararlos entre sí.

Del análisis de Ciclo de Vida de los diferentes tratamientos de la harina animal, se extrae que la valorización energética de las harinas animales en fábricas de cemento constituye el sistema con menor impacto ambiental asociado, y que permite un uso más eficiente desde el punto de vista ambiental de las instalaciones existentes para tratar las harinas animales.

La siguiente opción más favorable es la valorización en centrales térmicas (con un 145% más de impacto), seguida de la incineración en plantas incineradoras de RSU (con un 157% más de impacto) y de la deposición en vertederos controlados (un 162% más impactante).