

Proyecto Fin de Máster

Ingeniería Química

Estudio sobre la reducción del impacto ambiental
de una EDAR mediante implantación de hidrólisis
térmica

Autor: Cristina Pérez Fernández

Tutor: Bernabé Alonso Fariñas

Dpto. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Proyecto Fin de Máster
Ingeniería Química

Estudio sobre la reducción del impacto ambiental de una EDAR mediante implantación de hidrólisis térmica

Autor:

Cristina Pérez Fernández

Tutor:

Bernabé Alonso Fariñas

Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021

Proyecto Fin de Máster: Estudio sobre la reducción del impacto ambiental de una
EDAR mediante implantación de hidrólisis térmica

Autor: Cristina Pérez Fernández

Tutor: Bernabé Alonso Fariñas

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los
siguientes miembros:

Presidente:

Vocal/es:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El secretario del Tribunal

Fecha:

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, por acompañarme en esta etapa de mi vida y apoyarme en cada una de las decisiones tomadas. Especialmente a mis abuelos, por creer en mí incluso cuando no lo hacía ni yo. Sin ellos no podría haber llegado hasta aquí.

Quiero agradecer también a mi pareja Eduardo y a mis amigos, por valorarme y tener paciencia suficiente para aguantarme en momentos de estrés. Durante esta etapa he conocido a compañeros que han hecho el trascurso del máster más ameno.

Gracias a la Universidad de Sevilla por darme la oportunidad de conocer el mundo laboral a través de prácticas en empresa. En ellas pude comprobar todo lo que había aprendido durante el curso y de mi pasión por la parte medioambiental de Ingeniería Química. En base a ello, decidí realizar este proyecto.

Finalmente, me gustaría agradecer a mi profesor Bernabé, por el apoyo y el conocimiento facilitado.

Resumen

En este proyecto se realiza un estudio sobre la reducción del impacto ambiental en una Estación Depuradora de Aguas Residuales mediante la implantación de hidrólisis térmica. Se ha utilizado la herramienta Análisis de Ciclo de Vida con ayuda de un programa denominado Simapro, en el que se han creado dos modelos principales a comparar según los impactos ambientales generados en cada uno de los procesos involucrados. Uno de los modelos considera el estado actual de la planta; y el otro, la misma tras la implantación de la hidrólisis térmica.

Abstract

A study about the reduction of the environmental impact in a Wastewater Treatment Plant through the implementation of thermal hydrolysis has been made in this project. The Life Cycle Analysis tool has been used with the help of a program called Simapro. Two models have been created to be compared according to the environmental impacts generated in each of the processes involved. One of the models considers the current state of the plant, and the other the implementation of thermal hydrolysis.

Índice

Agradecimientos	9
Resumen.....	11
Abstract.....	13
Índice	15
Índice de Tablas	17
Índice de Figuras	19
Índice de Gráficas.....	22
Objetivo y alcance.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
<i>1.1 Depuración de aguas residuales a nivel mundial</i>	<i>3</i>
<i>1.2 Depuración de aguas residuales en España.....</i>	<i>4</i>
<i>1.3 Estación Depuradora de Aguas Residuales (Ranilla).....</i>	<i>8</i>
<i>1.4 Hidrólisis térmica</i>	<i>9</i>
2. METODOLOGÍA.....	13
<i>2.1 Normas UNE-ISO 14040/44.....</i>	<i>16</i>
<i>2.2 Objetivo y alcance del estudio.....</i>	<i>17</i>
<i>2.3 Análisis de inventario</i>	<i>22</i>

2.4 Evaluación de impacto ambiental.....	23
2.5 Interpretación de resultados.....	23
3. OBJETIVO Y ALCANCE.....	25
3.1 Objetivo del estudio	25
3.2 Alcance del estudio	25
3.2.1 Escenarios.....	25
3.2.2 Selección de la unidad funcional	27
3.2.3 Límites del sistema.....	27
3.2.4 Descripción de los sistemas	28
3.2.5 Expansión del sistema.....	38
3.2.6 Categorías de impacto	41
3.2.7 Requisitos de la calidad de datos	41
3.2.8 Suposiciones y limitaciones.....	43
4. ANÁLISIS DE INVENTARIO	45
4.1 Inventario sistema A	46
4.2 Inventario sistema B	50
5. EVALUACIÓN DE IMPACTO	57
6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	65
6.1 Calentamiento global.....	65
6.2 Acidificación terrestre	67
6.3 Radiación ionizante	68
7. CONCLUSIONES.....	72
8. BIBLIOGRAFÍA.....	75
9. Anexos	79

Índice de Tablas

Tabla 3-1 Principales procesos biológicos empleados en la depuración del agua residual (Metcalf y Eddy, 2018)	33
Tabla 3-2 Expansión del sistema	40
Tabla 3-3 Contenido en metales del compost	40
Tabla 3-4 Tabla criterios e indicadores para la definición de la calidad de los datos (University, 2016)	42
Tabla 4-1 Inventario sistema A	49
Tabla 4-2 Tabla resultante del balance de energía para los tres casos de estudio	51
Tabla 4-3 Inventario sistema B	55

Índice de Figuras

Figura 1-1 Esquema del ciclo urbano del agua (AEAS, 2017)	2
Figura 1-2 Tratamiento de aguas residuales en diferentes regiones del mundo (Jones et al., 2021)	3
Figura 1-3 Diagrama básico de una EDAR (AEAS, 2017)	5
Figura 1-4 Porcentaje de agua residual reutilizada por el total suministrado por CCAA. Fuente: XIV Estudio Nacional (AEAS, 2017)	6
Figura 1-5 Suma de EDAR por CCAA. Datos publicados por la EEA (AEAS, 2017)	7
Figura 1-6 Usos del agua reutilizada en España. Fuente: XIV Estudio Nacional Abastecimiento y Saneamiento 2016 AEASAGA (AEAS, 2017)	7
Figura 1-7 Aprovechamiento de los fangos de EDAR en España. Fuente: XIV Estudio Nacional Abastecimiento y Saneamiento 2016 AEASAGA (AEAS, 2017)	8
Figura 1-8 Estación Depuradora de Agua Residuales Ranilla (EDAR Ranilla – Emasesa, 2021)	9
Figura 2-1 Etapas del análisis de ciclo de vida (Ik Ingeniería, 2019)	14
Figura 2-2 Etapas del análisis de ciclo de vida con inputs (color verde) y outputs (color rojo)	15
Figura 2-3 Aproximación por procesos con inputs (color verde) y outputs (color rojo)	16

Figura 2-4 Fases de análisis de ciclo de vida según la norma UNE-ISO 14040/44	17
Figura 2-5 Entradas y salidas de un proceso unitario	19
Figura 3-1 Esquema simplificado del escenario 1	26
Figura 3-2 Esquema simplificado del escenario 2	27
Figura 3-3 Límites del sistema	28
Figura 3-4 Diagrama de proceso de sistema A	29
Figura 3-5 Pretratamiento: entradas y salidas del proceso	31
Figura 3-6 Tratamiento primario: entradas y salidas del proceso	32
Figura 3-7 Tratamiento secundario: entradas y salidas del proceso	35
Figura 3-8 Digestión anaerobia y cogeneración: entradas y salidas del proceso	37
Figura 3-9 Deshidratación: entradas y salidas del proceso	37
Figura 4-1 Diagrama de entradas y salidas para inventario	45

Índice de Gráficas

Gráfica 5-1 Análisis de categorías de impacto para sistema A y B-Caso 1 I	58
Gráfica 5-2 Análisis de categorías de impacto para sistema A y B- Caso 1 II	59
Gráfica 5-3 Análisis de categorías de impacto para sistema A y B- Caso 2 I	60
Gráfica 5-4 Análisis de categorías de impacto para sistema A y B- Caso 2 II	61
Gráfica 5-5 Análisis de categorías de impacto para sistema A y B- Caso 3 I	62
Gráfica 5-6 Análisis de categorías de impacto para sistema A y B- Caso 3 II	63
Gráfica 6-1 Calentamiento global (kg CO ₂ eq/U.F)	66
Gráfica 6-2 Calentamiento global-compostaje de lodos (kg CO ₂ eq/kg compost)	66
Gráfica 6-3 Acidificación terrestre (kg SO ₂ eq/U.F)	67
Gráfica 6-4 Acidificación terrestre-Compostaje de lodos (kg SO ₂ eq/ kg compost)	68
Gráfica 6-5 Radiación ionizante (kBq Co-60 eq/U.F.)	69
Gráfica 6-6 Radiación ionizante-Compostaje de lodos (kBq Co-60 eq/kg compost)	70

Objetivo y alcance

Comparación mediante Análisis de Ciclo de Vida de los impactos ambientales de una Estación Depuradora de Aguas Residuales en condiciones de operación actuales y la misma planta tras la instalación de una hidrólisis térmica, con el fin principal de incrementar la producción de biogás en el proceso de digestión anaerobia.

1. INTRODUCCIÓN

El recurso básico para garantizar la vida del planeta y, consecuentemente, la de los seres vivos, es el agua. Es un recurso vital para el ser humano, ya no solo por su consumo doméstico, sino en procesos industriales y producción de bienes.

La actividad humana altera el estado natural del agua, contaminándola y generando graves daños ambientales en ríos y mares. Asegurar un tratamiento del agua adecuado para su reutilización o devolución al medio ambiente es fundamental. Dicho tratamiento engloba una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, y con ello se consigue alterar lo mínimo posible el ciclo hidrológico del agua. Actualmente, al proceso de captación de agua desde fuentes hídricas, producción de agua potable, distribución en la red urbana, recolección posterior y tratamiento de aguas residuales se le denomina ciclo urbano (Smasa, 2021).

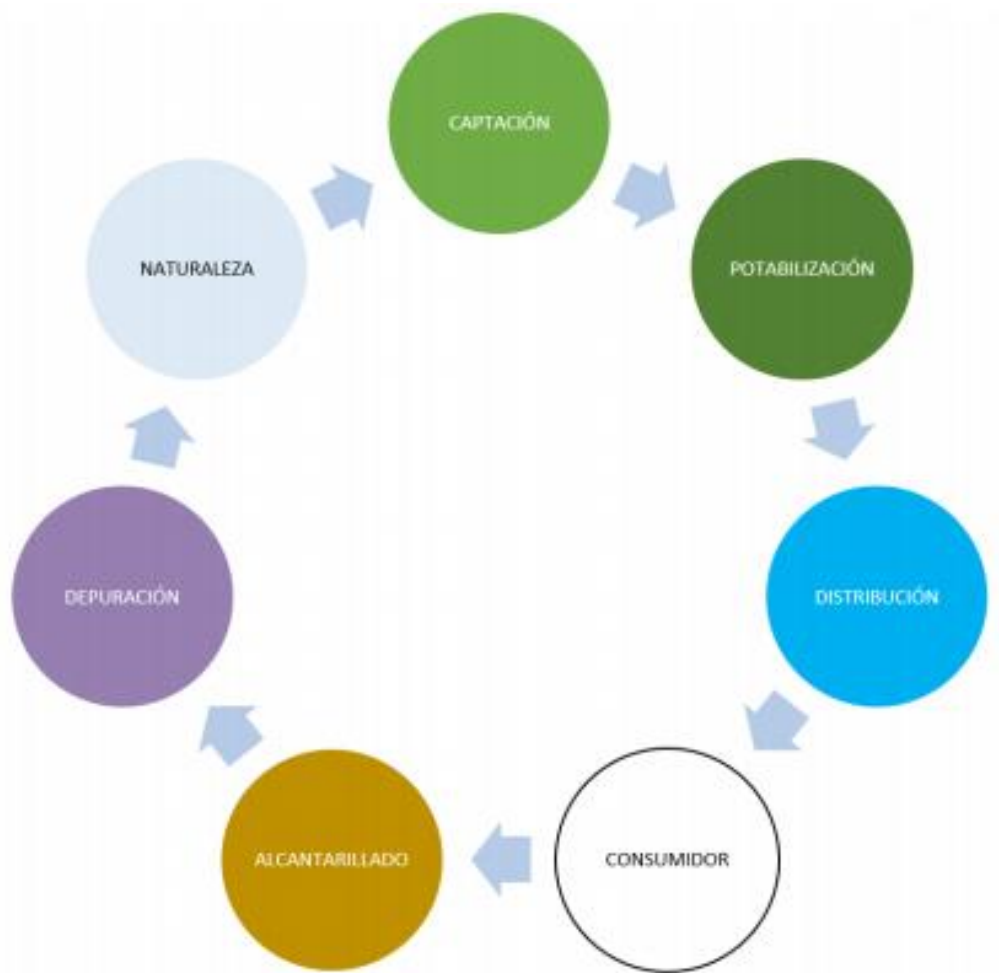


Figura 1-1 Esquema del ciclo urbano del agua (AEAS, 2017)

A causa de vertidos de aguas contaminadas en el medio ambiente se puede producir una disminución de la cantidad de oxígeno, lo que afecta de forma perjudicial a la fauna y la flora propia de los ecosistemas acuáticos. Además, un exceso de nutrientes en el agua vertida provoca un crecimiento excesivo de algas y otras plantas, fenómeno conocido como eutrofización. Otro de los problemas que existe es el peligro de propagación de organismos patógenos o sustancias tóxicas, que pueden causar la transmisión de enfermedades, a lo que hay que añadir otros factores como la aparición de fangos y flotantes, por lo que pueden aparecer malos olores.

Debido a esto se ve necesario legislar sobre los vertidos y, realizar éstos sin autorización previa conlleva una infracción administrativa y puede ser darse una sanción (Smasa, 2021).

1.1 Depuración de aguas residuales a nivel mundial

En el mundo, el 48% de las aguas residuales vuelven al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas. En algunos países, las personas utilizan una fuente de agua potable contaminada con heces, lo que aumenta el riesgo de contraer enfermedades como cólera o disentería, provocando una mayor mortalidad.

Según una nueva estimación reciente de la United Nations University y la Universidad de Utrecht, en lugar de la estimación anterior, que situaba este porcentaje en el 20%, alrededor de la mitad de las aguas residuales mundiales son depuradas (VerdeyAzul, 2021). Aunque, se observan diferencias sustanciales en la producción, recolección, tratamiento y reutilización de aguas residuales per cápita en diferentes zonas geográficas y por nivel de desarrollo económico.

Como se ha indicado anteriormente, aunque se estima que aproximadamente la mitad de las aguas residuales se tratan a nivel mundial, las tasas de tratamiento varían en gran medida entre los ingresos altos (74%), medios altos (43%), medios bajos (26%) y los ingresos bajos (4,3%). En la siguiente figura se presenta de una forma más visual (Jones et al., 2021).

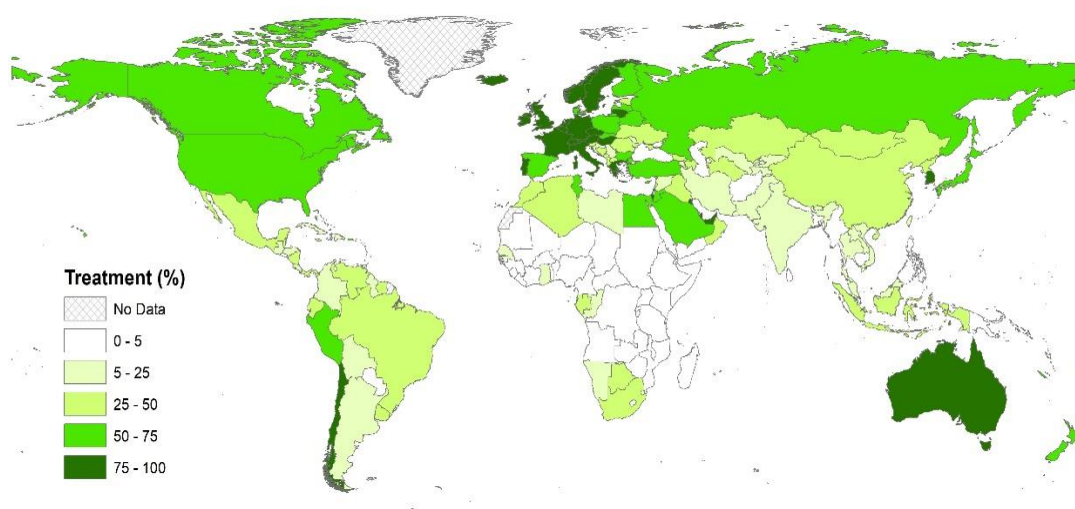


Figura 1-2 Tratamiento de aguas residuales en diferentes regiones del mundo (Jones et al., 2021)

El problema principal, especialmente en estos países en desarrollo, es la ausencia de recursos financieros para la construcción de infraestructuras para la recolección y tratamiento de las aguas residuales.

En muchos países secos, concretamente en el Oriente Medio y África del Norte, la reutilización de aguas residuales tratadas va enfocada al riego. No obstante, solo el 11% de las aguas residuales producidas en el mundo se está reutilizando en la actualidad. También es importante una legislación y regulación estricta para garantizar que dicha reutilización sea segura (VerdeyAzul, 2021).

Las perspectivas de crecimiento de la reutilización de agua son enormes a nivel mundial. Incluso, algunas previsiones apuntan a que su uso irá en aumento y que el volumen de agua reutilizada podría sobrepasar al de agua desalada.

Estados Unidos, Singapur o Israel son claros ejemplos en los que la reutilización de agua forma parte integral de sus recursos hídricos. De hecho, en ciudades como California se plantea su uso como recurso de abastecimiento.

La reutilización para países como China o India, especialmente en aguas industriales, aunque también a nivel municipal, está convirtiéndose en una gran prioridad. En Europa, además de en España, el uso de la reutilización se concentra mayoritariamente en países como Francia, Italia, Grecia, Malta y Chipre. En este último, se reutiliza más del 90% de las aguas residuales a pesar de que el volumen es más bajo que en otros países.

En países del centro y norte de Europa, como Bélgica, Reino Unido, Alemania o Dinamarca, se reutiliza en menor medida y se concentra principalmente en el ámbito industrial.

Desde la época de los 80, la reutilización del agua residual ha adquirido un gran desarrollo y una amplia aceptación para usos no potables. En los años venideros se espera un crecimiento exponencial, puesto que ni el conocimiento ni la tecnología son factores limitantes (ARDyR, 2019).

1.2 Depuración de aguas residuales en España

La depuración de aguas residuales gana cada vez más importancia, ya que la demanda de recursos hídricos se ve en aumento debido al cambio climático. Los avances tecnológicos de los tratamientos permiten la reutilización del agua prácticamente de forma circular. Gracias a ello se permite incrementar los recursos hídricos disponibles, disminuir la extracción de otras fuentes convencionales de agua como pueden ser ríos, aguas

subterráneas o lagos, reservándolas para el abastecimiento. También así se consigue reducir los efectos negativos de las descargas de aguas residuales en el medio.

Se considera que España es el país europeo líder en reutilización de agua, puesto que es el país que más cantidad de agua reutilizada produce. A nivel mundial, ocupa la quinta posición en cuanto a capacidad de reutilización instalada. La innovación es muy importante para el desarrollo y crecimiento de esta aplicación.

La depuración del agua residual procedente de núcleos urbanos o industrias se lleva a cabo en una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR). En la Figura 1-3 se presenta un diagrama básico de una de ellas.

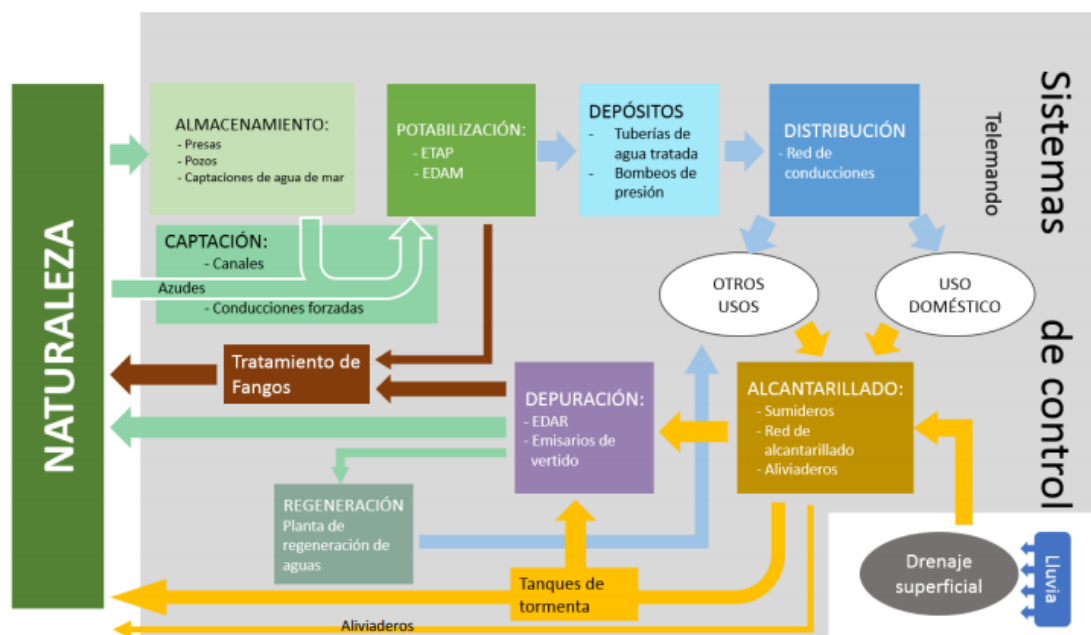


Figura 1-3 Diagrama básico de una EDAR (AEAS, 2017)

El 27% de las más de 2.000 estaciones de depuración de España están preparadas tecnológicamente para ofrecer los tratamientos terciarios, los cuales posibilitan la reutilización del agua. Así, se estima que ya se reutiliza más de 400 hectómetros cúbicos al año, entre el 7 y el 13% del agua residual tratada.

Valencia y Murcia se sitúan a la cabeza en reutilización de agua, poniendo de manifiesto la diversidad que caracteriza a las diferentes regiones de España, concentrándose el mayor uso de la reutilización en zonas donde el estrés hídrico es más importante. El 90% del total de agua reutilizada se concentra en la Comunidad Valenciana, Andalucía, Murcia,

Islas Canarias e Islas Baleares y grandes ciudades como Madrid o Barcelona. En la Figura 1-4 y Figura 1-5 se presenta el porcentaje de agua residual reutilizada por el total suministrado por CCAA y la suma de EDAR por CCAA respectivamente (AEAS, 2017).

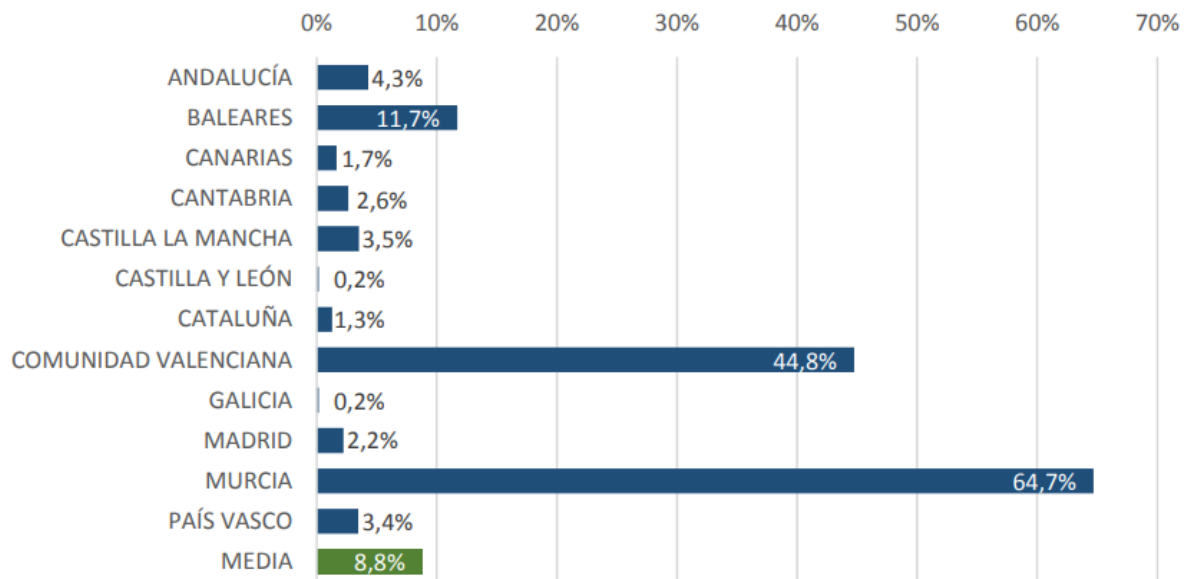


Figura 1-4 Porcentaje de agua residual reutilizada por el total suministrado por CCAA.

Fuente: XIV Estudio Nacional (AEAS, 2017)

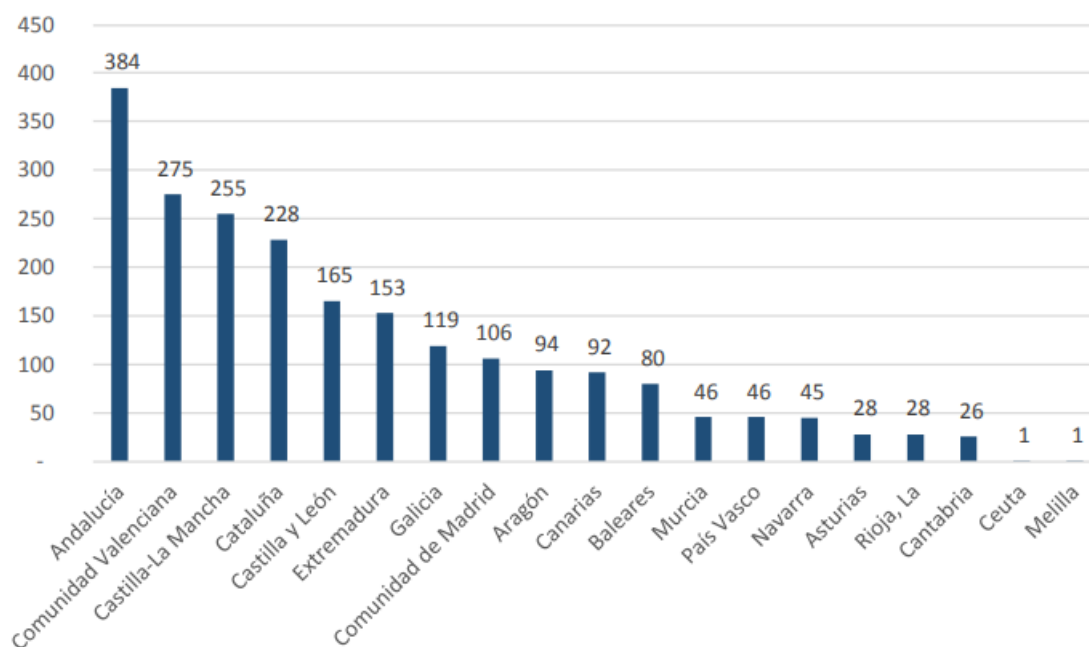


Figura 1-5 Suma de EDAR por CCAA. Datos publicados por la EEA (AEAS, 2017)

El principal uso del agua depurada en España es para riego agrícola, más de un 60% del total, junto con usos en campos deportivos y municipales, como por ejemplo en la limpieza de calles. También tiene usos industriales, pero son minoría.

Existe un fuerte interés en poder usar el agua regenerada para mejorar ambientalmente otras fuentes de agua, como por ejemplo la recarga de acuíferos, humedales o mejora de los caudales ecológicos de los ríos. En la siguiente figura se presenta un diagrama con los usos principales del agua reutilizada en España.

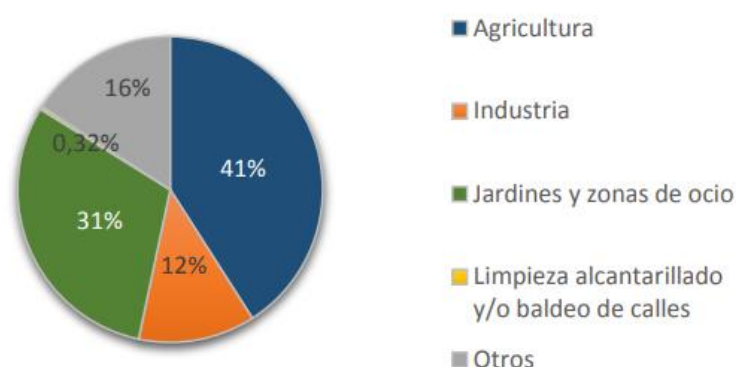


Figura 1-6 Usos del agua reutilizada en España. Fuente: XIV Estudio Nacional Abastecimiento y Saneamiento 2016 AEASAGA (AEAS, 2017)

Además de la reutilización de aguas residuales, en las EDAR se produce también como subproducto lodos, que tienen un aprovechamiento para fines como la agricultura, la jardinería o la incineración. Actualmente, se producen en España unas 800.000 toneladas en materia seca de lodos (Figura 1-7) (AEAS, 2017).

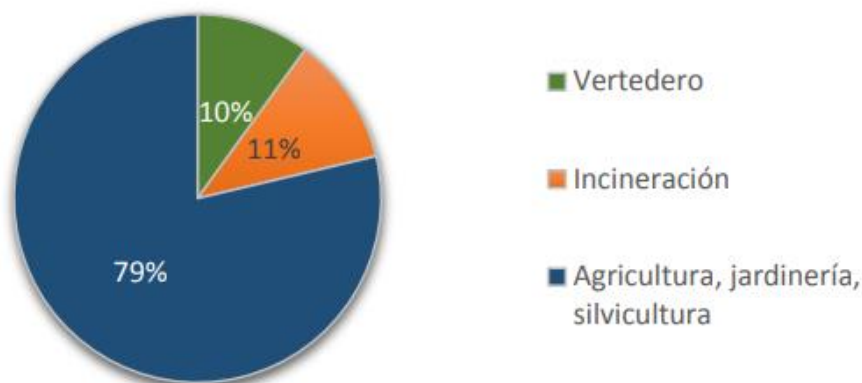


Figura 1-7 Aprovechamiento de los fangos de EDAR en España. Fuente: XIV Estudio Nacional Abastecimiento y Saneamiento 2016 AEASAGA (AEAS, 2017)

1.3 Estación Depuradora de Aguas Residuales (Ranilla)

La planta comenzó a funcionar en 1979, siendo ampliada en 1987. En ella se depuran aguas residuales provenientes de la zona este de Sevilla y las de Alcalá de Guadaíra.

En 2009 se inauguró la nueva Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) Ranilla, con capacidad de tratamiento de 90.000 m³/día y diseñada para una población de 350.000 habitantes equivalentes. Además, cuenta con aprovechamiento energético del biogás producido por cogeneración eléctrica de hasta 1020 kWh (un motor de 740 kWh y dos motores de 140 kWh cada uno).

Posee una Estación Regeneradora de Agua (ERA) de hasta 15.000 m³/día, que permite el uso del agua regenerada para riego en campos de golf o recreativos. También, dispone de una instalación de afino, con ultrafiltración y ósmosis inversa, y una capacidad hasta 2.000 m³/día.

Cuenta con tratamiento secundario biológico (conocido como fangos activos) y de estabilización de fangos mediante digestión anaerobia y deshidratación. Está dotada de

tratamiento para la eliminación de nutrientes, nitrógeno y fósforo por vía biológica y química.

La EDAR Ranilla está completamente cubierta con sistemas eficientes de desodorización e insonorización, por lo que no existen emisiones de olor ni ruido.

En resumen, es una EDAR que minimiza el impacto de olores y ruidos, tiene altos rendimientos de eliminación de carbono, nitrógeno, fósforo y maximiza la eficiencia energética (EDAR Ranilla – Emasesa, 2021).



Figura 1-8 Estación Depuradora de Agua Residuales Ranilla (EDAR Ranilla – Emasesa, 2021)

1.4 Hidrólisis térmica

En 2021 surge un proyecto para la construcción de una planta de hidrólisis térmica en EDAR Ranilla (Emasesa, 2021). El proceso de hidrólisis térmica ha sido reconocido en las últimas décadas como una de las soluciones de pretratamiento de residuos biológicos (como lodos residuales) más fiable y eficaz con el fin de aumentar el rendimiento de la

digestión anaerobia. Este proceso consiste en aplicar alta presión y alta temperatura durante un cierto periodo de tiempo y, una vez conseguida la hidrolización de los lodos, el proceso continúa con la digestión anaerobia mesofílica de los mismos. El rango de temperaturas está entre 140-200 °C y la presión entre 6-20 bar, durante aproximadamente 30 minutos.

Durante el proceso, tanto las células muertas como las vivas sufren procesos de rotura o lisis y desintegración, permitiendo así la liberación de materia intracelular y pasando a ser esta más accesible para los microorganismos anaerobios. A su vez, algunos sólidos en suspensión se solubilizan y compuestos orgánicos de cadena más larga se descomponen.

Estas condiciones de funcionamiento suponen un consumo importante de energía, que debe ser contrarrestado constantemente con una producción suficiente de biogás provocada por el tratamiento con hidrólisis térmica.

Los lodos resultantes cumplen con los requisitos de Clase A con una viscosidad muy baja y una alta DQO soluble, lo que aumenta considerablemente la producción de biogás y se obtiene una mayor cantidad de lodos y más deshidratados. Esta reducción de lodos conlleva a un ahorro energético en mezcla y bombeo. Además, con este proceso se esteriliza los fangos, ya que produce la destrucción de patógenos, haciendo posible su utilización como fertilizante.

Así, las ventajas de la hidrólisis térmica se pueden enumerar como:

- Aumento producción de biogás (aproximadamente en un 30-50%)
- Alta eficiencia energética, ya que se puede emplear el calor residual de la cogeneración del biogás para la producción del vapor necesaria para la hidrólisis.
- Reducción de la viscosidad y no generación de espumas, lo que permite aumentar la carga orgánica en el digester.
- Obtención de fangos estabilizados o exentos de patógenos (Clase A)
- Mejora la deshidratación de los lodos, alcanzando sequedades de un 40%, lo que hace que disminuya el volumen de lodos producidos.

Los inconvenientes más importantes del proceso son:

- Elevada inversión inicial, lo que no resulta rentable para las instalaciones de pequeño tamaño.

- Requiere operadores especializados en sistemas de alta presión.
- La corriente de retorno contiene una mayor cantidad de amonio y DQO soluble no biodegradable.

El proceso puede ser operado de forma continua o discontinua (batch) y el balance energético depende del modo de operar el sistema. En el caso del proceso en discontinuo se produce una utilización ineficiente de la energía y se sobredimensiona el equipo principal (TECPA, 2019).

2. METODOLOGÍA

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión medioambiental que tiene la finalidad de analizar de forma objetiva, metódica, sistemática y científica el impacto ambiental producido por un proceso/producto durante su ciclo completo de vida, es decir, de la cuna a la tumba.

Es una metodología útil para proporcionar información, combinada con datos económicos, sociales y laborales, para dar soporte en la toma de decisiones durante el diseño o mejora de un producto o servicio de cara a lograr el menor impacto posible. Del mismo modo nos permitirá comparar entre diferentes alternativas existentes para seleccionar aquella más sostenible en términos ambientales. Concretamente, permite dar respuestas a cuestiones como:

- Comparar entre dos productos de diferente naturaleza que tienen aplicaciones similares.
- Comparar entre dos procesos diferentes de fabricación de un mismo producto.
- Comparar entre las diferentes etapas del ciclo de vida de un mismo producto.

Todos los ACV pueden tener las mismas etapas, pero el nivel de detalle no tiene por qué ser el mismo, puesto que depende del objetivo del proyecto. Por ello se diferencian tres tipos de ACV:

- *ACV conceptual*. Corresponde al ACV más sencillo, tratándose de un estudio básicamente cualitativo. Su finalidad principal es la identificación de los potenciales impactos más significativos.
- *ACV simplificado*. Consiste en aplicar la metodología del ACV para llevar a cabo un análisis selectivo, poniendo atención solo en las etapas más importantes y realizando además un análisis de fiabilidad de los resultados.
- *ACV completo*. Se considera el más complejo. Consiste en la realización de un análisis en detalle, con inventario e impactos, de forma cualitativa y cuantitativa.

El hecho de que el análisis incluya el estudio y la cuantificación de los impactos ambientales asociados a la vida de un producto, proceso o actividad desde “la cuna a la tumba”, como se ha indicado al principio de este apartado, quiere decir que se engloba desde la extracción de recursos naturales hasta el fin de vida, pasando por la producción, distribución y venta, uso y consumo, incluyendo todas las etapas de transporte intermedias. En la Figura 2-1 se presentan las etapas del análisis de ciclo de vida.



Figura 2-1 Etapas del análisis de ciclo de vida (Ik Ingeniería, 2019)

Cada una de las etapas tiene asociados unos inputs (principalmente consumo de materias primas y energía) y unos outputs (residuos y emisiones), que se producen entre el sistema

a estudiar y la naturaleza (Figura 2-2). Estos intercambios deben ser identificados y cuantificados en cada una de las etapas.

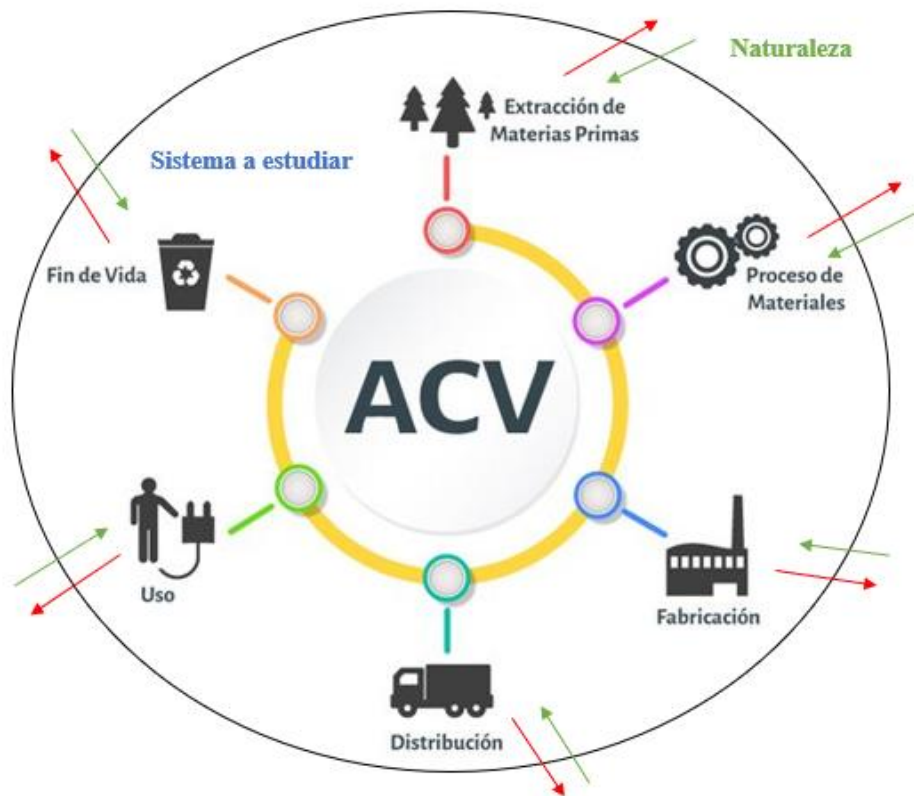


Figura 2-2 Etapas del análisis de ciclo de vida con inputs (color verde) y outputs (color rojo)

Una vez identificados y cuantificados los inputs y outputs, mediante el empleo de modelos de cálculo, se cuantifica el impacto ambiental sobre la naturaleza que tiene el sistema que se ha estudiado.

El análisis se complica cuando no es fácil medir los recursos o las emisiones que se generan en cada una de las etapas. Por ejemplo, en el caso del transporte no solo se emite los gases al quemar el combustible en el propio vehículo, si no en el proceso de extracción y producción de ese combustible hasta la alimentación al vehículo.

De esta manera surge la idea de aproximación por procesos (Figura 2-3). En este caso se realiza un modelo del proceso en el que los inputs y outputs que intercambian el sistema a estudiar y la naturaleza sí son medibles.

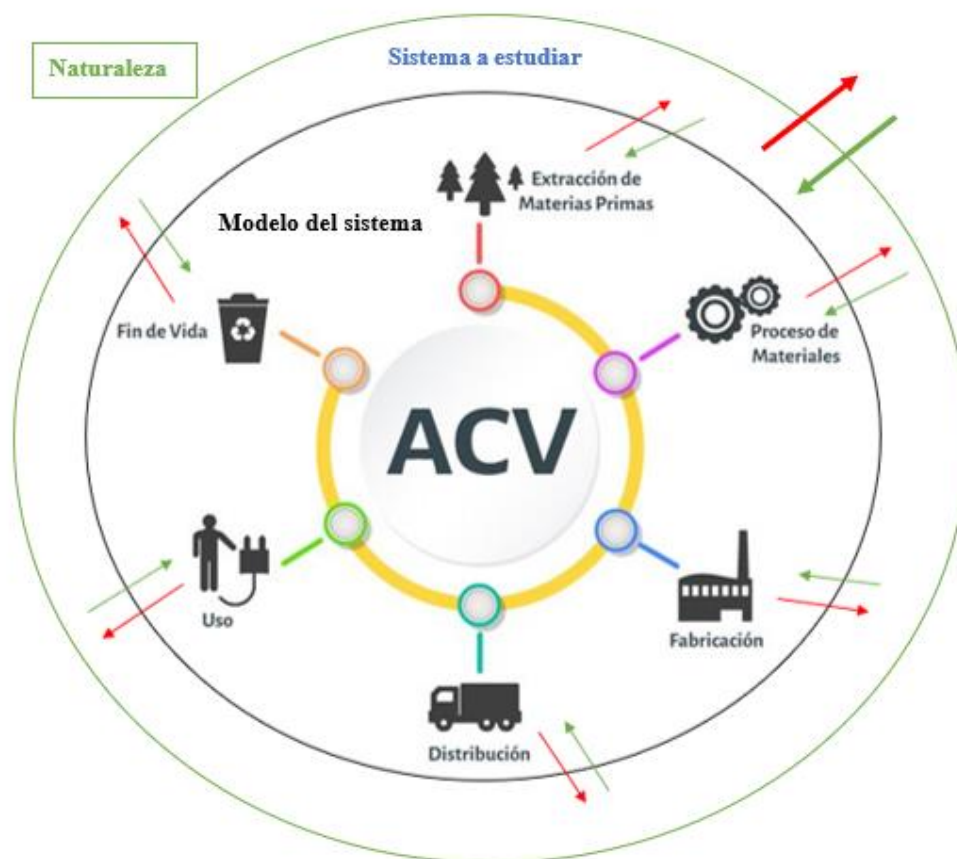


Figura 2-3 Aproximación por procesos con inputs (color verde) y outputs (color rojo)

Entre el modelo del sistema y la naturaleza se sitúa la tecnosfera, en la que se utilizan procesos ya modelados registrados en base de datos. De este modo se completa el modelo, obteniendo así las salidas y entradas totales entre la naturaleza y el sistema a estudiar.

2.1 Normas UNE-ISO 14040/44

Las normas de referencia para la realización de un proyecto de ACV son:

- Norma UNE-ISO 14040 Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia (ISO 14040:2006)
- Norma UNE-ISO 14044 Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Requisitos y Directrices (ISO 14044:2006)

Según las normas anteriores, el ACV consta de cuatro fases (Figura 2-4):

1. *Definición de objetivo y alcance.* En el primero se exponen los motivos por lo que se realiza el estudio, a quién va dirigido y el uso que van a tener los resultados. El

alcance consiste en la definición del nivel de detalle para garantizar la consecución de los objetivos.

2. *Análisis de inventario*. Corresponde a la identificación y cuantificación de recursos consumidos y emisiones generadas al aire, suelo y aguas y generación de residuos.
3. *Evaluación del impacto*. A partir del análisis de inventario se calculan los impactos ambientales con ayuda de modelos de cálculo.
4. *Interpretación de resultados*. En ella se extraen, de acuerdo a objetivos y alcance, conclusiones y recomendaciones que permitan la toma de decisiones.

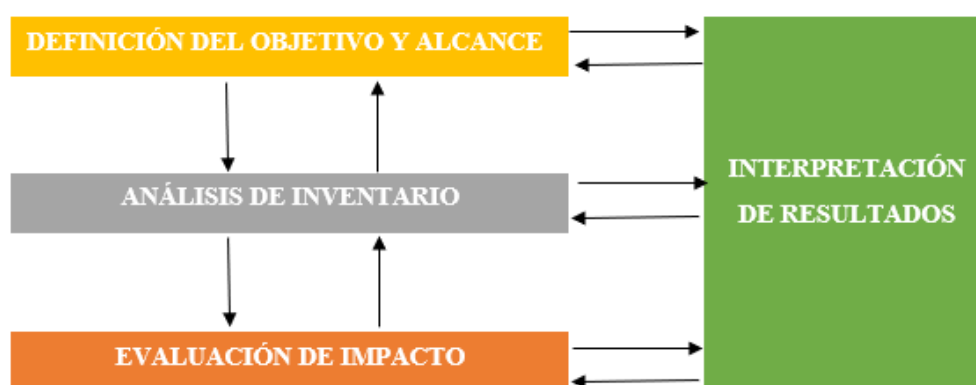


Figura 2-4 Fases de análisis de ciclo de vida según la norma UNE-ISO 14040/44

Todas las fases están interconectadas porque el análisis de ciclo de vida es un proceso iterativo, ya que algunas de las etapas posteriores puede que provoque un nuevo replanteamiento de las anteriores.

2.2 Objetivo y alcance del estudio

En el objetivo se expone el motivo por el que se realiza el estudio, a quién va dirigido y con qué fines serán utilizados los resultados obtenidos.

Por otro lado, en el alcance del estudio se especifica:

1. Definición del sistema

Los sistemas que se eligen para hacer el estudio deben quedar definidos y, además, cumplir con los objetivos planteados, justificando adecuadamente que así lo es.

2. Función de los sistemas y unidad funcional

En el caso de este proyecto se comparan dos alternativas de proceso, con lo que para que tenga sentido dicha comparación, ambos sistemas deben tener la misma función.

La unidad funcional es una medida cuantitativa del producto, servicio o proceso para el que se está evaluando su ciclo de vida. Su propósito fundamental es proporcionar una referencia a la cual se relacionen las entradas y salidas.

De esta forma, con la unidad funcional, se puede asegurar que los resultados del estudio sean comparables, siendo todos los análisis relativos a esta referencia.

La elección de la unidad dependerá en gran medida del objetivo del estudio y el enfoque que se le quiera dar al análisis.

3. Límites del sistema

Los límites del sistema definen los procesos unitarios que se tendrán en cuenta en el análisis de ciclo de vida a desarrollar.

Idealmente, se debería modelar de manera que se incluyan todas las entradas y salidas de todas las etapas del proceso en sus límites, es decir, todos los recursos tomados de la naturaleza y todas las emisiones del sistema de estudio. Si es así, los límites del sistema se denominan “de la cuna a la tumba”. Además, es habitual encontrarse con otros alcances diferentes en el desarrollo de un ACV, siendo los más habituales:

- De la cuna a la puerta: desde la extracción de las materias primas hasta el proceso de producción.
- De la puerta a la puerta: solo actividades relacionadas con la producción.
- De la puerta a la tumba: desde la producción hasta el fin de vida del producto.
- De la cuna a la cuna: considera el ciclo de vida completo del producto. Tiene en cuenta desde la extracción de las materias primas hasta que el producto es reintroducido en el mismo proceso o en otro.

También se pueden realizar combinaciones de ellas. Es decir, el estudio puede tener un alcance “de la cuna a la puerta” pero incluir el fin de vida del producto, servicio o proceso.

Hay que añadir que se permite la eliminación de alguna etapa del ciclo de vida si dicha omisión no conlleva grandes modificaciones en las conclusiones globales del estudio. En el caso de excluir alguna etapa, se debe justificar qué etapa y por qué.

4. Descripción del sistema

Para la realización del análisis se debe representar un diagrama de flujo y describir los procesos unitarios que lo componen (Figura 2-5), para así tener claro los límites de dichos procesos y las transformaciones que tiene lugar en cada uno de ellos. De esta forma, se puede cuantificar todas las corrientes de entrada y salida de los mismos.

La descripción debe permitir identificar cada recurso tomado y cada emisión realizada desde y hacia la naturaleza pero, como se ha indicado con anterioridad, es algo complicado, por lo que se recurre a la aproximación por proceso. Por un lado, se cuantifican las entradas y salidas medibles directas a la naturaleza y, con los procesos modelados en la tecnosfera, se obtienen los recursos y emisiones a la naturaleza que están incluidos en una base de datos y que no se pueden medir.

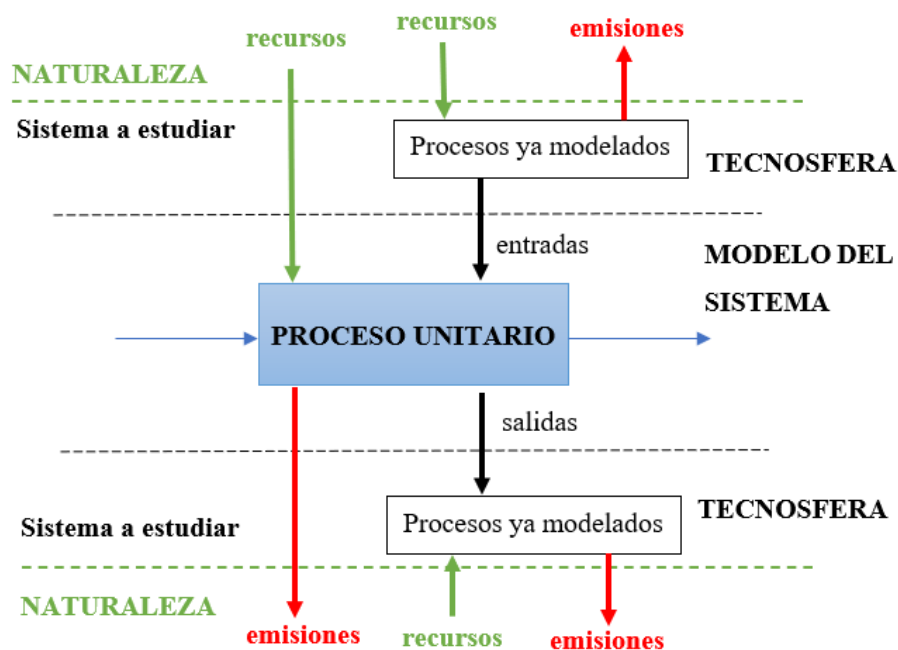


Figura 2-5 Entradas y salidas de un proceso unitario

5. Procedimiento de asignación/expansión del sistema

5.1. Procedimiento de asignación

A veces el sistema puede tener más de una salida, de manera que posee más de una función o genera más de un producto o servicio. Esto puede suponer un problema a la hora del reparto de cargas ambientales en el sistema para saber cuánto impacto ambiental le corresponde al producto o servicio a analizar. Los factores de reparto definen la fracción de impacto concreta a la que se asocia. Dicha fracción se calcula mediante el procedimiento de asignación y puede tener tres versiones: en masa, económica y energética.

5.2. Expansión del sistema

Como alternativa al procedimiento de asignación, la norma propone la expansión del sistema. De esta forma se asigna todos los impactos al producto principal, restándole los impactos ambientales que se darían si se produjese por otra vía convencional los demás productos. A estos impactos evitados se le denominan créditos por impactos evitados.

6. Categorías de impacto

La obtención de recursos de la naturaleza y las emisiones desde el sistema hacia ella van a generar un impacto ambiental a calcular, pero no solo existe uno. De aquí surgen las denominadas categorías de impacto.

Existen tres grupos principales de categoría de impacto finales, es decir, que afectan directamente a la sociedad, denominadas áreas de protección: salud humana, entorno natural y recursos naturales. Éstos son calculados en función de un subconjunto de categorías de impacto intermedias, debido a la dificultad de encontrar modelos que consigan relacionar el impacto ambiental de punto medio con el cálculo de las categorías finales.

A partir de los recursos y emisiones y con ayuda de metodologías de evaluación, se cuantifican los impactos ambientales y se expresan mediante estas categorías de impacto intermedias con sus respectivas unidades.

Algunas categorías de impacto son:

- Calentamiento global (kg CO₂ eq)
- Consumo de agua (m³)
- Ecotoxicidad marina (kg 1,4-DCB eq)
- Ecotoxicidad terrestre (kg 1,4-DCB eq)
- Uso del suelo (m²a crop eq)

7. Cuantificación de los impactos

La categoría de impacto calentamiento global representa el incremento de dióxido de carbono por el ciclo de vida del producto/servicio a analizar en la atmósfera en un horizonte de tiempo de 100 años. En este caso, a la hora de cuantificar los impactos, hay que diferenciar entre el CO₂ fósil y CO₂ bio. El primero hace referencia al carbono extraído del subsuelo hacia la atmósfera y que luego es transformado en CO₂, produciéndose así un incremento de dióxido de carbono en la atmósfera. Por otro lado, el CO₂ bio corresponde al producido por ejemplo por la combustión de la madera. Se considera que el carbono ya forma parte de la atmósfera, por lo que el incremento de CO₂ sería nulo.

El horizonte temporal es importante para la cuantificación del potencial de calentamiento global y se propone diferentes metodologías para tener en cuenta esa influencia del tiempo. Una de ellas es la siguiente.

En el caso del CO₂ fósil se tienen en cuenta 100 años menos el tiempo de vida del producto, ya que durante ese tiempo no ha estado el CO₂ en la atmósfera. La fracción de los 100 años que sí ha estado en la atmósfera se multiplica por el impacto de calentamiento global. Si el tiempo de vida del producto es más de 100 años, el impacto por ello no computa.

Por otro lado, si es CO₂ bio, no computa como emisión, pero sí resta impacto, ya que se retira CO₂ de la atmósfera. Este CO₂ retirado computa como negativo el tiempo que se ha tenido fuera de la atmósfera, es decir, el tiempo de vida del producto.

8. Requisitos de la calidad de datos

El cumplimiento de los objetivos también depende de la calidad de los datos que se han usado durante el desarrollo del análisis. Es importante para poder entregar un grado de fiabilidad alto al estudio realizado. Los datos pueden ser medidos, calculados o estimados. Para asegurar la calidad de datos se debe considerar como criterios de calidad la cobertura de tiempo, posición geográfica y la tecnología.

9. Suposiciones y limitaciones del estudio

La falta de información o recursos durante el desarrollo de un análisis de ciclo de vida darán lugar al uso de suposiciones, que pueden estar más o menos soportadas por hipótesis de carácter científico-técnico, o limitaciones. En una suposición se toma una decisión que incluye asumir un hecho que no es seguro y que permite avanzar en el proyecto. La limitación hace referencia a lo que no está en el alcance, pero debería estar y de lo que no se tiene criterio para que no esté.

2.3 Análisis de inventario

Se basa en la recopilación de datos y los procedimientos de cálculo para la cuantificación de entradas y salidas en relación con el sistema a estudiar. Los datos están ligados principalmente a tres categorías: las entradas de energía, materia prima y entradas auxiliares; productos, coproductos y residuos; emisiones al aire, agua o suelo.

En el presente proyecto se utilizará la base de datos *Ecoinvent*, que contiene datos para completar el inventario de ciclo de vida mientras se usa el software SIMAPRO. Para distintos procesos o productos que pertenecen al sistema a estudiar, *Ecoinvent* contiene los datos de entradas y salidas que finalmente conectan el sistema con la naturaleza y así saber el impacto de entradas desde la tecnosfera y desde el medioambiente y emisiones al aire, agua y suelos.

Además de la recopilación de datos en la etapa de análisis de inventario, preferiblemente recogidos en una tabla, se deben relacionar los datos con cada proceso unitario y con la unidad funcional para finalmente realizar la cuantificación de los impactos.

En el análisis de inventario intervienen dos términos: “Foreground” y “Background”. El primero corresponde a lo que queda recogido en la tabla de inventario, es decir, cantidades de entradas y salidas. El segundo término hace referencia a la información tomada de la base de datos, que conecta los procesos de la tecnosfera con la naturaleza. El “Background” permite completar el inventario, aunque no sea visible.

2.4 Evaluación de impacto ambiental

Con ayuda de modelos de cálculo y factores de impacto, a partir de los resultados del análisis de inventario de ciclo de vida se obtienen los valores de impacto ambiental para cada categoría de impacto de punto medio seleccionada. La selección de categoría e impactos evaluados dependen en gran medida del alcance y objetivo del estudio.

A su vez, en una misma categoría de impacto se relativizan las entradas y salidas recogidas en la tabla de inventario a una misma sustancia. Por ejemplo, como se ha indicado en el apartado 2.2, la categoría de impacto de calentamiento global se expresa en kilogramos de CO₂ equivalente.

2.5 Interpretación de resultados

En esta fase se recogen los resultados del análisis de inventario y de la evaluación de impacto para facilitar conclusiones y recomendaciones en función del alcance y objetivo del estudio. Además, permite determinar en qué parte del ciclo de vida del producto/servicio se producen los impactos ambientales más importantes, haciendo posible la identificación de posibles mejoras en esos puntos del ciclo. En los casos en los que se comparan distintos escenarios se puede determinar cuál provoca menor impacto ambiental (Fariñas, 2020).

3. OBJETIVO Y ALCANCE

3.1 Objetivo del estudio

Determinar los impactos ambientales de una estación depuradora de aguas residuales y compararlos con los de la misma estación tras la implantación de una hidrólisis térmica.

3.2 Alcance del estudio

3.2.1 Escenarios

En este proyecto se proponen dos escenarios, correspondiendo el primero de ellos al proceso actual de la planta, y, el segundo, al proceso actual tras la implantación de una planta de hidrólisis térmica. Esta instalación se incorporará entre los dos digestores anaeróbicos que están operativos. Con el estudio se averiguará si en este caso los impactos medioambientales disminuyen.

El primer escenario se modela subdividiendo en dos líneas: la de agua y la de lodos. La línea contiene siete operaciones unitarias y la línea de lodos posee ocho operaciones unitarias. Hay que añadir que todas ellas están provistas de energía eléctrica, parte de ella producida en cogeneración; exceptuando el calentamiento de lodos, en el que se requiere energía térmica. Esta energía térmica se produce gracias a la combustión del biogás producido en los digestores anaeróbicos en la caldera. Además, la planta posee un sistema

de bombeo para el transporte de agua y lodos en toda la planta, con lo que se necesita energía eléctrica para ello. En la Figura 3-1 se presenta el esquema simplificado de este primer escenario.

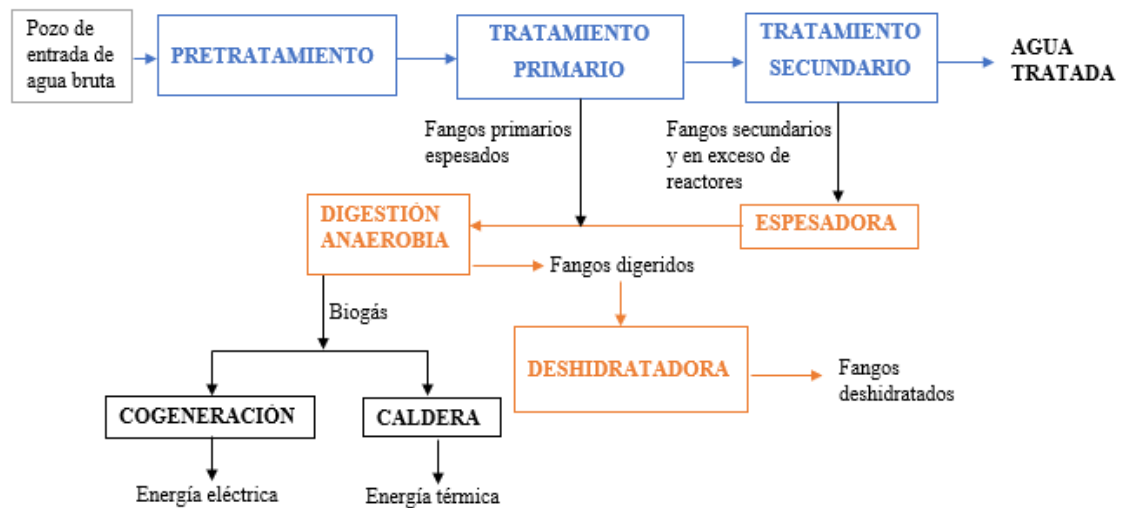


Figura 3-1 Esquema simplificado del escenario 1

El segundo escenario corresponde a una ampliación del escenario anterior, de manera que en la zona de digestión anaerobia se sitúa un proceso de hidrólisis térmica, que aumenta la producción de biogás y, por tanto, el grado de autoabastecimiento de energía en la planta.

Las emisiones en la construcción de la nueva planta de hidrólisis no son consideradas en el proyecto, puesto que no aumentarían en una medida importante las emisiones totales por unidad funcional, teniendo en cuenta la vida útil esperada. En este escenario, el diagrama simplificado de la planta sería el mismo que el anterior, pero con la implantación del nuevo módulo de hidrólisis térmica en digestión anaerobia (Figura 3-2).

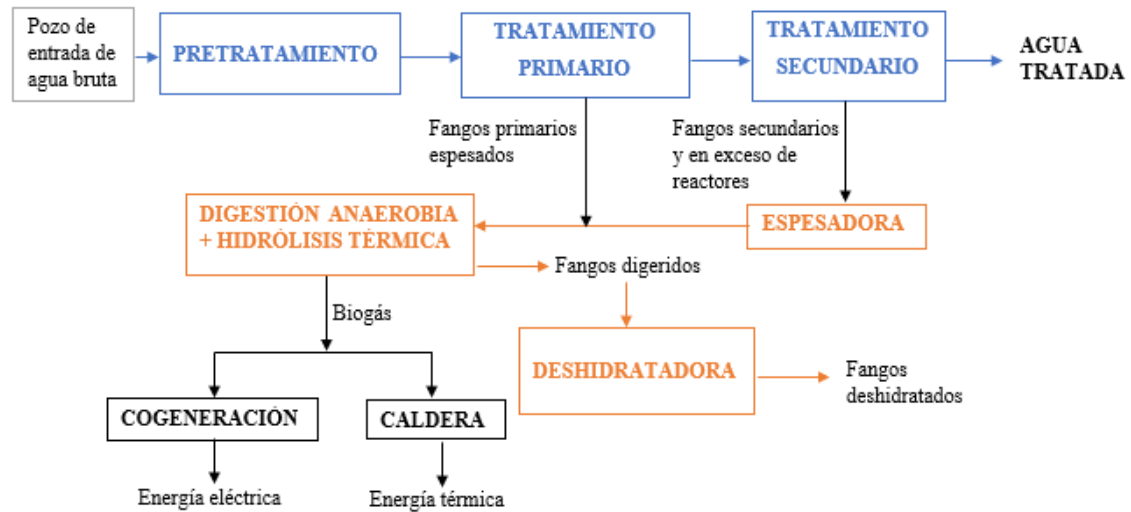


Figura 3-2 Esquema simplificado del escenario 2

3.2.2 Selección de la unidad funcional

La unidad funcional es 1 m³ de agua residual, ya que se considera una referencia válida para relacionar las entradas y salidas del proceso para ambos escenarios.

3.2.3 Límites del sistema

El presente estudio incluye en sus límites todas las corrientes de entradas y salidas de todas las etapas del proceso, tanto recursos tomados de la naturaleza como emisiones de del sistema de solo actividades relacionadas con la producción. De manera que, se considera que el análisis de ciclo de vida es “de la puerta a la puerta”.

Se tiene en cuenta solo la etapa de explotación, considerando así la etapa de construcción y demolición despreciables, puesto que no afectan significativamente a los resultados finales del análisis debido a su bajo aporte de cargas ambientales respecto a la primera mencionada, generalmente menor al 5% (Corominas et al., 2013).

En la Figura 3-3 se presenta el diagrama de los límites del sistema para ambos escenarios, considerando las emisiones del proceso a la naturaleza y suministro de energía y reactivos. A través de la base de datos Ecoinvent, se conoce la información de background necesaria relativa a la producción de reactivos, electricidad y tratamiento de residuos.

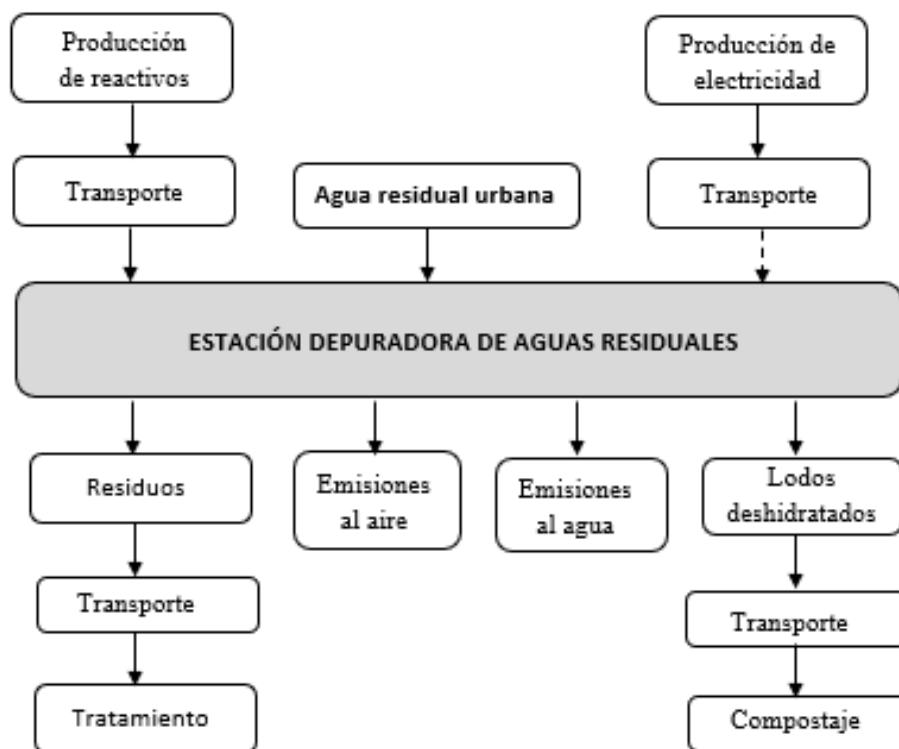


Figura 3-3 Límites del sistema

3.2.4 Descripción de los sistemas

3.2.4.1 Sistema A

Las plantas de tratamiento de aguas residuales tienen como objetivo principal reintegrar a su cauce natural aguas mínimamente alteradas en su composición y caudal.

Los sistemas presentes en este tipo de plantas consisten de forma general en una secuencia de operaciones o procesos que dependen de las características del afluente y efluente de la planta. En este apartado se detalla el proceso de tratamiento de aguas residuales de la planta a la que refiere el proyecto, correspondiente a la Estación de Depuración de Aguas Residuales Ranilla (Sevilla). La planta se nutre de agua bruta a tratar, y genera tres corrientes de salida: agua, lodo o fango y biogás.

En la Figura 3-4 se presenta el diagrama completo del sistema A.

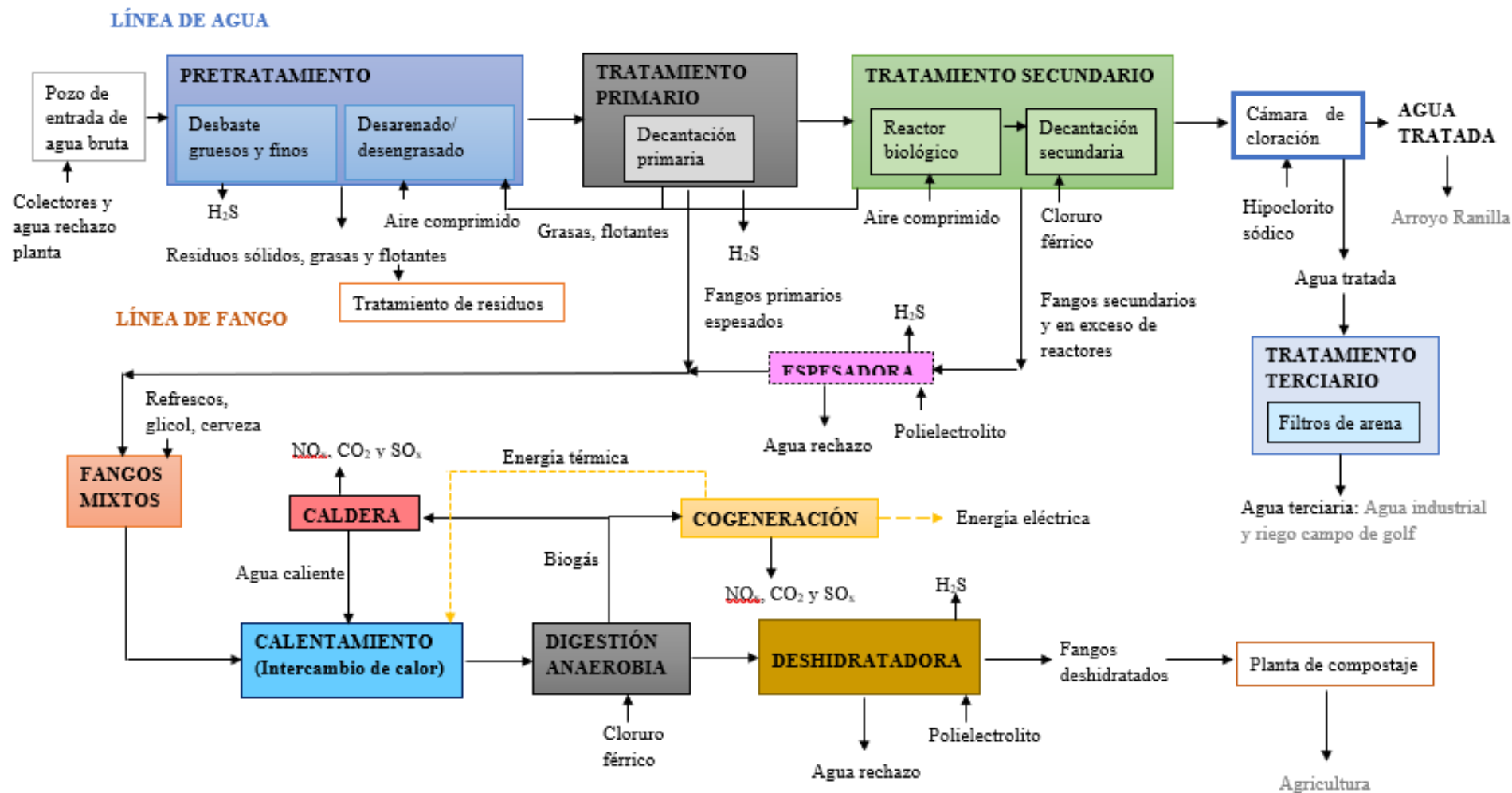


Figura 3-4 Diagrama de proceso de sistema A

✓ **PRETRATAMIENTO**

El agua procedente de dos conducciones, la primera del sistema de colectores del Arroyo Ranilla y la segunda del colector de Guadaira, llega al pozo de entrada de agua bruta. A este también llegan las corrientes de agua de rechazo de las deshidratadoras y espesadoras de la planta. La corriente resultante se vierte al pozo de gruesos, que está dotado de una cuchara bivalva para la retirada de los sólidos más voluminosos.

Posteriormente, la corriente de agua se bombea a la zona de desbaste de gruesos, dotada con unas rejas cuya distancia entre barras es determinada. La recogida de sólidos se resuelve con tres tornillos sin fin hasta el contenedor de residuos, siendo el último de ellos compactador. Los sólidos se llevan a una planta de tratamiento de residuos sólidos.

Después de retirar los sólidos gruesos, la corriente de agua pasa por unos tamices para desbaste fino. Estos disponen de un sistema de vaciado independiente, rápido y temporizado, para así evitar la acumulación de sólidos finos. Dichos sólidos recogidos se conducen mediante tornillo-prensa a un contenedor para su posterior traslado a una planta de residuos exterior.

El agua a la salida de la zona de desbaste se conduce a un canal de acceso a los desarenadores-desengrasadores.

En este caso, se disponen cuatro líneas de desarenado-desengrasado. La aportación de aire por la zona inferior se realiza mediante soplantes. El aire hace que la grasa presente en el agua ascienda y sea eliminada por un sistema de rasquetas superficiales, que empujan las grasas hacia un canal de recogida y luego a un separador de grasas. Este equipo también recibirá las flotantes de la decantación primaria, que se comentará más adelante.

Por otro lado, la arena desciende por gravedad y es extraída por la parte inferior del desarenador mediante bombeo. Esta mezcla arena-agua se conducen hacia dos clarificadores de arenas, evacuándose los sólidos en dos contenedores y que posteriormente, se trasladan a una planta de residuos sólidos.

Durante este primer tratamiento del agua residual se emite ácido sulfhídrico, que se genera a través de una fermentación anaeróbica de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

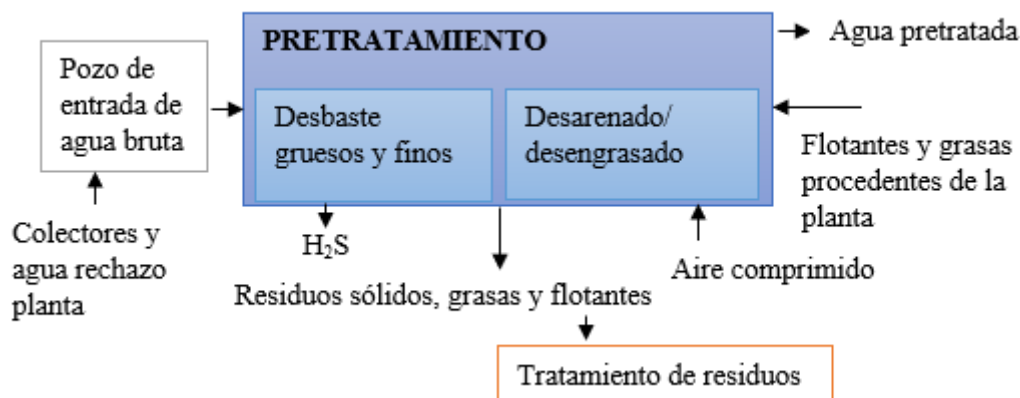


Figura 3-5 Pretratamiento: entradas y salidas del proceso

✓ TRATAMIENTO PRIMARIO

La corriente de agua de salida del pretratamiento se reparte mediante compuertas a cuatro decantadores primarios lamelares (normalmente, tres en funcionamiento) con recirculación de fangos y espesamiento conexo. Cada uno está precedido por una zona de mezcla, con agitador vertical, y floculación.

En principio, el funcionamiento es sin reactivos, aunque se incluye instalación de almacenamiento y dosificación de reactivos para su posible uso dependiendo de las características del agua y las condiciones de explotación. Los reactivos considerados han sido cloruro férrico, polielectrolito y sosa para ajuste de pH.

Como se ha indicado en el apartado anterior, los flotantes se dirigen al separador de grasas y flotantes junto con los retirados en el pretratamiento.

Los fangos retenidos en este decantador lamelar son espesados mediante un espesador situado en la parte inferior de las lamelas. Los fangos primarios espesados se enviarán mediante bombeo al depósito de fangos mixtos.

Por otro lado, el agua decantada pasará a un canal general desde el que se alimentan los reactores biológicos.

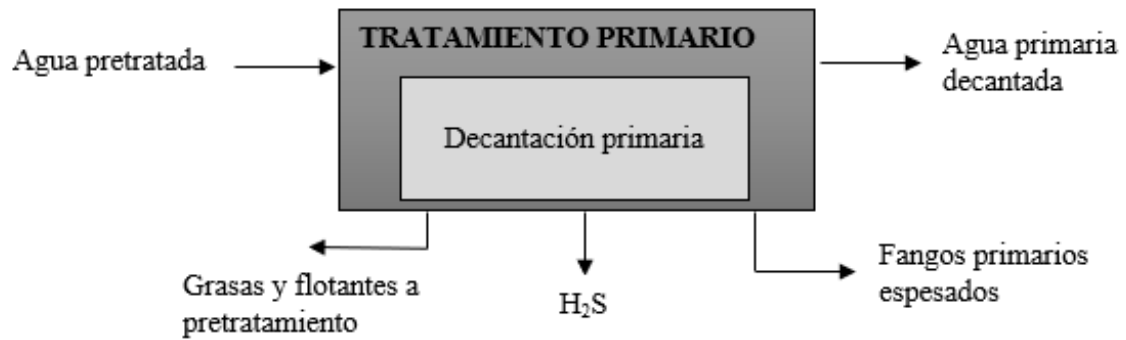


Figura 3-6 Tratamiento primario: entradas y salidas del proceso

✓ TRATAMIENTO BIOLÓGICO Y DECANTACIÓN SECUNDARIA

El agua procedente del tratamiento primario es bombeada hacia cuatro reactores biológicos, de los cuales se encuentran operativos dos de ellos. En esta parte del proceso se tienen tres objetivos: disminuir la carga orgánica de las aguas, reducir el contenido de nutrientes para evitar la proliferación de algas y la posterior eutrofización, y eliminar patógenos.

Procesos aerobios	Cultivo en suspensión	Fangos activados	Continuos (flujo en pistón o mecla completa) Discontinuos Aireación prolongada Canales de oxidación Nitrificación
		Lagunas aireadas	
	Cultivo fijo	Biodiscos rotativos Filtros percoladores (alta o baja carga)	
Procesos anóxicos	Desnitrificación con cultivo en suspensión Desnitrificación con cultivo fijo		
Procesos anaerobios	Cultivo en suspensión	Digestión anaerobia	Alta carga Baja carga Doble etapa
	Cultivo fijo	Filtro anaerobio Lecho expandido	
Procesos combinados (anaerobios-anóxicos-aerobios)	Nitrificación-desnitrificación Nitrificación-desnitrificación-eliminación de fósforo		

Tabla 3-1 Principales procesos biológicos empleados en la depuración del agua residual (Metcalf y Eddy, 2018)

En el caso de la planta de Ranilla, el proceso es combinado (anaerobio-anóxico-aerobio), que es capaz de garantizar la nitrificación-desnitrificación-eliminación de fósforo. Para dicha eliminación de fósforo, se cuenta con la vía biológica, pero además es necesaria una dosificación posterior de cloruro férrico.

El reactor biológico se dispone en cuatro cámaras, dos de ellas corresponden a la parte anaerobia, la tercera anóxica y la cuarta es facultativa anóxica/óxica. En este equipo se requiere una entrada de aire atmosférico para aportar el oxígeno necesario al proceso, que se suministra por medio de turbocompresores. Existe una recirculación interna que va desde el extremo de la zona óxica hasta la primera cámara. Con ello se consigue mantener unos niveles de microorganismos favorables para la depuración.

Por la zona inferior de los reactores biológicos se extraen los fangos biológicos en exceso, que posteriormente son espesados en espesadoras mediante centrifugación para bombearlos al depósito de fangos mixtos. En las espesadoras se adiciona polielectrolito para mejorar la separación sólido-líquido. La corriente de agua de rechazo del equipo se dirige a cabecera.

La corriente de agua de salida de los reactores biológicos pasa a seis decantadores secundarios de tipo succión, los cuales se agrupan en dos conjuntos de 3 unidades cada uno. Las flotantes en estos equipos son bombeadas a la parte de eliminación de grasas del pretratamiento.

En la parte inferior de los decantadores secundarios se extraen los fangos por succión y se bombean a las balsas de aireación (reactores biológicos). A esto se le denomina recirculación externa.

En los decantadores secundarios se le adiciona cloruro férrico ya que es un agente coagulante y ayuda al proceso de decantación. Los fangos secundarios pasan a las espesadoras, donde se elimina gran parte del agua que contienen. A continuación, se dirigen también al depósito de fangos mixtos junto con los fangos primarios y los fangos en exceso espesados de los reactores.

Además, en el depósito de fangos mixtos mencionado anteriormente se vierte refresco, glicol y cerveza residuales, procedentes de empresas encargadas de su producción. Esta entrada favorece el proceso de depuración puesto que aporta nutrientes para los microorganismos presentes aguas abajo, en el proceso de digestión anaerobia, que se comentará más adelante. Esto permite una mayor producción de biogás y, por tanto, un ahorro energético.

Finalmente, el agua efluente de la decantación secundaria se lleva a la cámara de cloración.

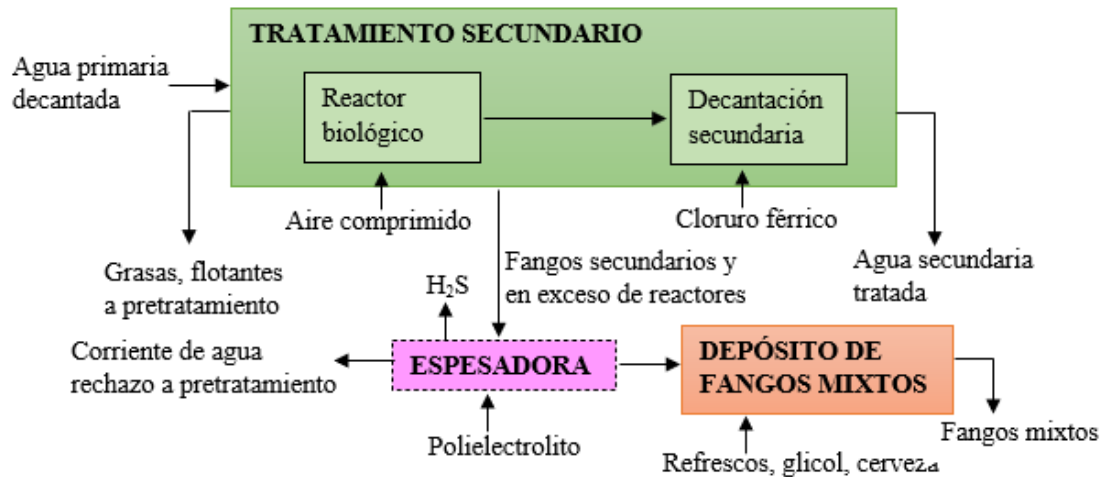


Figura 3-7 Tratamiento secundario: entradas y salidas del proceso

✓ CÁMARA DE CLORACIÓN

Después del tratamiento biológico y la decantación secundaria, el efluente pasa por la cámara de cloración, en la que se le aporta hipoclorito de sodio para eliminar patógenos. Una parte de la corriente de salida de este equipo es a lo que se le denomina agua tratada, que se vierte directamente al arroyo Ranilla colindante con la planta. La otra corresponde a la corriente de entrada al tratamiento terciario que se comentará posteriormente.

✓ DIGESTIÓN ANAROBIA Y COGENERACIÓN

Los fangos procedentes del depósito de fangos mixtos se bombean a tres digestores (2 de ellos operativos), equipos en los que se da la digestión anaerobia y en los que se dispone también de un agitador vertical para homogeneizar la mezcla.

En el proceso de digestión anaerobia se produce una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a biogás (formado principalmente por metano y dióxido de carbono) y un material estabilizado conocido como lodo digerido. Por lo que este proceso presenta una serie de ventajas (Martín Arroyo, 2015):

- El residuo obtenido tras la digestión anaerobia está estabilizado, haciendo posible su uso para compostaje o como abono en agricultura.
- Producción y uso del biogás como combustible para calderas y motores de cogeneración en la planta.

- Reducción considerable de la cantidad de fangos.

Los microorganismos encargados de la fermentación requieren unas condiciones determinadas de temperatura (alrededor de los 35 °C), por lo que es necesario un calentamiento exterior del fango antes de introducirlo en los digestores y mantener esa temperatura, compensando las pérdidas del sistema. El método empleado es recircular el fango al exterior del digestor, lo que también favorece la mezcla, para intercambiar calor con un fluido (en este caso, agua) previamente calentado a través de una caldera.

La instalación de calefacción cuenta con tres calderas con quemador, tres intercambiadores de calor, bombeo de agua caliente y de recirculación de fangos. En dichas calderas el combustible es el biogás producido en los digestores. A su vez, este también se utiliza como combustible para motogeneradores de energía eléctrica, con la máxima utilización de la energía térmica generada para su uso en la calefacción de los digestores. Será utilizado el calor de refrigeración de la camisa de agua de los motores y el calor recuperado de los gases de escape. El consumo de biogás en la planta es del 100% de la producción.

Junto con la temperatura, el otro parámetro más importante para los microorganismos en el proceso de digestión anaerobia es el nivel de pH (situado alrededor de 7,20), por lo que es necesario realizar análisis continuamente en laboratorio.

En los digestores también se adiciona cloruro férrico, con el fin de disminuir el contenido de ácido sulfhídrico en el biogás producido.

Finalmente, los fangos digeridos se almacenan en el depósito tampón y desde este equipo pasan a las deshidratadoras.

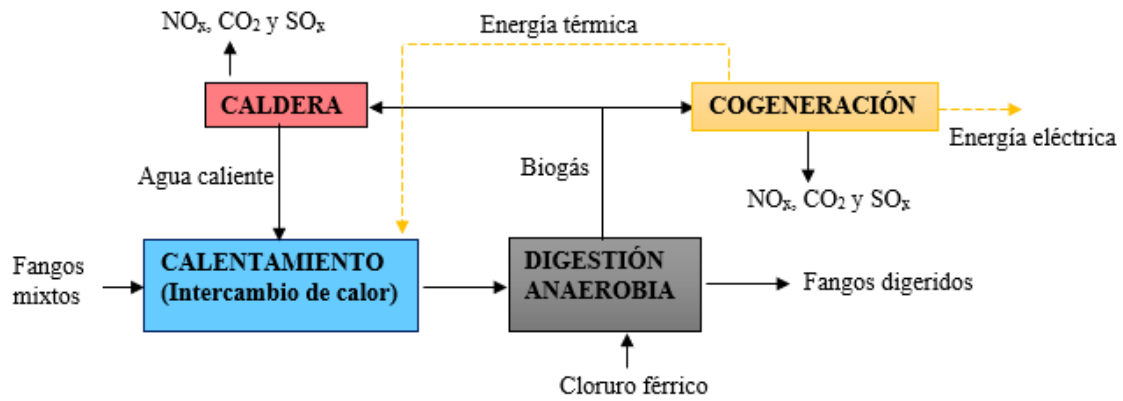


Figura 3-8 Digestión anaerobia y cogeneración: entradas y salidas del proceso

✓ DESHIDRATACIÓN

Los fangos procedentes del depósito tampón de fangos digeridos son aspirados por bombas tipo MONO y llevados a las deshidratadoras, equipos basados en centrífugas al 25% de sequedad. Para el acondicionamiento químico a la deshidratación se emplea polielectrolito y se libera ácido sulfhídrico en el proceso.

El fango deshidratado se descarga a los silos, de los que cargarán los camiones para su uso posterior como fertilizante para cultivos agrícolas. Por otra parte, el rechazo acuoso de las deshidratadoras se bombea a la arqueta de entrada de agua bruta. Este vuelve a pasar por todo el proceso descrito anteriormente.

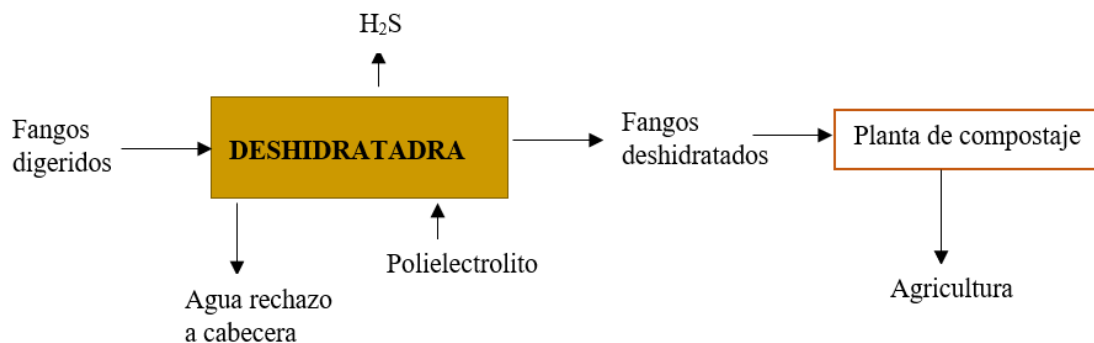


Figura 3-9 Deshidratación: entradas y salidas del proceso

✓ **TRATAMIENTO TERCIARIO**

Esta es la zona final del tratamiento del agua efluente. Se basa en una filtración sobre lecho filtrante (arenas), que tiene como función retener una gran cantidad de partículas con unas dimensiones relativamente pequeñas.

Una vez se ha creado una torta de sólidos en el filtro, se realiza un lavado del mismo con agua y aire para así poder recuperar las cualidades iniciales de filtración.

Finalmente, el agua terciaria es utilizada como agua industrial, riego en la propia planta y una parte se vende para riego de un campo de golf cercano.

3.2.4.2 Sistema B

Este segundo sistema no es más que una ampliación del sistema A. En este caso se instala una etapa de hidrólisis térmica en el proceso, concretamente en la zona de digestión anaerobia. Con ello se consigue principalmente aumentar la producción de biogás, mejorar la deshidratación de los lodos reduciendo así su volumen hasta un 50% y por tanto el coste de construcción de infraestructuras. El porcentaje de humedad en lodos deshidratados se reduce en 10 unidades. También se obtienen fangos estabilizados o sin patógenos y una reducción de espumas (AS, 2007).

La nueva instalación estaría situada en entre los dos digestores anaerobios operativos. De esta manera, en el primero se produciría una primera digestión de la materia orgánica disponible. Posteriormente, la rotura y solubilización de dicha materia gracias a la hidrólisis térmica permiten aumentar tanto la cinética como la biodegradabilidad anaeróbica del lodo en el segundo digestor.

La producción de biogás aumentaría entre un 35-45%, con lo que la producción de energía también sería mayor en las instalaciones de caldera y cogeneración, haciendo posible una reducción de la energía importada (AS, 2007).

3.2.5 Expansión del sistema

En ambos casos, los lodos de salida tras el proceso de deshidratación serían coproductos, que se contabilizan de cara a los impactos ambientales como producto evitado, es decir, se producen fertilizantes inorgánicos y, por tanto, se evita la producción convencional de estos. A los lodos deshidratados se le añaden restos vegetales en la proporción

volumétrica 3/1, que le confieren porosidad y facilitan el mantenimiento de las condiciones aerobias. Estos pueden ser astillas de madera, aserrín u otros residuos.

A partir de bibliografía se obtiene la composición de NPK de la mezcla de lodos deshidratados procedentes de estaciones depuradoras con la biomasa vegetal: 2,6 % NTK, 1,5 % P₂O₅ y 1,1 % K₂O de materia seca (Granados, 2015).

Conociendo el contenido en humedad del fango deshidratado y con ello la densidad de éste, con ayuda de la Ecuación 1 se calcula el volumen ocupado por el lodo deshidratado.

$$Volumen\ lodos\ (L) = \frac{Masa\ lodos\ (kg)}{\rho\ (kg/m^3)} \cdot \frac{1000\ L}{1\ m^3} \quad \text{Ecuación 1}$$

Como se ha indicado anteriormente, la biomasa vegetal se añade en proporción volumétrica 3/1 con lo que el volumen ocupado por esta sería:

$$Volumen\ biomasa\ vegetal\ (L) = Volumen\ de\ lodos\ (L) \cdot \frac{3}{1} \quad \text{Ecuación 2}$$

Teniendo en cuenta que el contenido de NPK del compost está referido a materia seca y que el lodo deshidratado tiene un cierto porcentaje de humedad:

$$Masa\ mezcla\ (kg) = Masa\ lodos\ (kg) \cdot \left(1 - \frac{\% \text{ humedad}}{100}\right) + Volumen\ biomasa\ vegetal\ (L) \cdot \rho\ (kg/L) \quad \text{Ecuación 3}$$

Siendo $\rho = 0,3\ kg/L$ la densidad de la biomasa vegetal (Junta de Andalucía, n.d.).

$$Masa\ NTK\ (g) = Masa\ mezcla\ (kg) \cdot \frac{2,6}{100} \cdot \frac{1000\ g}{1\ kg} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$Masa\ P_2O_5\ (g) = Masa\ mezcla\ (kg) \cdot \frac{1,5}{100} \cdot \frac{1000\ g}{1\ kg} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$Masa\ K_2O\ (g) = Masa\ mezcla\ (kg) \cdot \frac{1,1}{100} \cdot \frac{1000\ g}{1\ kg} \quad \text{Ecuación 6}$$

En la siguiente tabla aparecen los valores máxicos de fertilizante NPK que se evitarían producir si se utilizara el lodo deshidratado en la agricultura. Los datos están referidos a 1 kg de mezcla o compost.

Escenario	Volumen lodos deshidratados (L)	Biomasa vegetal (L)	NTK (g)	P ₂ O ₅ (g)	K ₂ O (g)
Sistema A Fango al 70% humedad $\rho=500 \text{ kg/m}^3$ (CEDEX, n.d.)	2	6	54,6	31,5	23,1
Sistema B Fango al 60% humedad $\rho=550 \text{ kg/m}^3$ (CEDEX, n.d.)	1,82	5,45	52,95	30,55	22,40

Tabla 3-2 Expansión del sistema

El consumo eléctrico de la fase de compostaje es de 33 kWh por tonelada de compost (Ibáñez, 2015) y las emisiones al aire son 4 gramos de CH₄ y 0,24 gramos de NO₂ por kilogramo de compost (EMASESA, 2018).

En la siguiente tabla se presenta el contenido de metales en el compost en ambos casos (Granados, 2015):

Metal	Contenido (mg/L compost o mezcla)
Cu	167
Cr	66
Ni	50
Pb	56
Zn	406

Tabla 3-3 Contenido en metales del compost

3.2.6 Categorías de impacto

La categoría de impacto de calentamiento global o producción de gases de efecto invernadero (kg CO₂ eq) resulta de gran relevancia en la actualidad puesto que es un problema real que provoca el efecto invernadero y el consecuente aumento considerable de la temperatura terrestre. Las otras categorías serán las que tengan una mayor diferencia respecto a sus impactos ambientales en ambos escenarios.

El método utilizado para la cuantificación de impactos ha sido ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.04 / World (2010) H.

3.2.7 Requisitos de la calidad de datos

En este apartado se realiza un análisis de los datos obtenidos de distintas fuentes, garantizando así una mayor fiabilidad de los resultados del proyecto. La mayoría de los datos provienen de la base de datos de la empresa que gestiona la Estación Depuradora de Aguas Residuales Ranilla. En el caso del sistema B, al no tener datos reales por uso en dicha planta, se extraen de bibliografía.

La calidad de los datos se ha establecido según el manual de uso del software CCalC2. Dicho manual contiene una matriz que muestra los indicadores de calidad de los datos según la edad de los datos, lugar geográfico, fuente, reproducibilidad y su integridad.

Criterios de calidad de los datos	Indicadores de calidad		
	Alto	Medio	Bajo
Edad	< 5 años	5-10 años	>10 años
Origen geográfico	Específico	Parcialmente específico	Genérico
Fuente	Medido o modelado en base a dato específico	Modelado usando datos genéricos de un ACV	De bibliografía o estimado
Integridad	Todos las entradas y salidas son consideradas	La mayoría de las entradas y salidas relevantes son consideradas	Algunas entradas y salidas relevantes son consideradas
Reproducibilidad/consistencia	Completamente reproducible y consistente	Parcialmente reproducible y consistente	No reproducible ni consistente
Valores	21-30	11-20	1-10

Tabla 3-4 Tabla criterios e indicadores para la definición de la calidad de los datos (University, 2016)

Una vez calculados los valores de calidad de datos para cada subsistema, se evalúa por categorías de impacto. Este estudio se realiza en base a la contribución porcentual a la categoría en cuestión de cada etapa del ciclo. De manera que, la calidad de datos por categoría sería calculada con la siguiente ecuación:

$$CD_{CI} = \sum_{n=1}^N C_n \cdot \sum_{m=1}^M CDS_m \quad \text{Ecuación 7}$$

donde:

- CD_{CI} : calidad de datos por categoría de impacto.
- C_n : contribución en porcentaje de cada etapa n a la categoría de impacto (%)

- CDS_m: calidad de datos (1, 2 o 3) por sección m

Una vez calculados, se consideran los siguientes rangos (University, 2016):

- Calidad baja: valores situados entre 100 y 166.
- Calidad media: valores situados entre 167 y 233.
- Calidad alta: valores situados entre 234 y 300.

3.2.8 Suposiciones y limitaciones

Se asume que:

- La etapa de transporte con camiones de lodos deshidratados y reactivos queda fuera de los límites del sistema por no disponer de información sobre ello.
- El ácido sulfhídrico se desprende durante todo el proceso, con lo que no se conoce el caudal determinado de este.
- Los residuos flotantes reciben el mismo tratamiento de residuos que a los sólidos gruesos y finos, puesto que en el programa Simapro no existe un modelo que defina tal actividad.
- Tras la instalación de la hidrólisis térmica, las emisiones al aire de CO, NO_x y SO_x provenientes de la combustión del biogás aumentarían en la misma proporción en la que aumenta la producción de biogás, es decir, entre un 35-45%.
- Un kilogramo de mezcla (lodo deshidratado + biomasa vegetal) corresponde a un kilogramo de compost.
- En el cálculo de impactos se excluye infraestructuras ya que es insignificante a largo plazo frente a los demás impactos.
- La cantidad de entrada al sistema de refrescos, glicol y cerveza es la misma para ambos casos.
- El polielectrolito utilizado es acrilonitrilo, puesto que no se conoce el producto utilizado realmente.
- La electricidad consumida por kilogramo de compost por el voltaje en el proceso de compostaje es la misma para ambos casos.
- El consumo total de la planta es el mismo para el sistema A y B, lo que varía es la electricidad que entra en el sistema, es decir, la electricidad importada.

4. ANÁLISIS DE INVENTARIO

En este apartado se presentan los datos de entradas y salidas relacionados con cada uno de los sistemas a evaluar en el proyecto.

Para el desarrollo del inventario se han agrupado todos los procesos involucrados en una caja negra con sus correspondientes entradas y salidas (Figura 4-1).

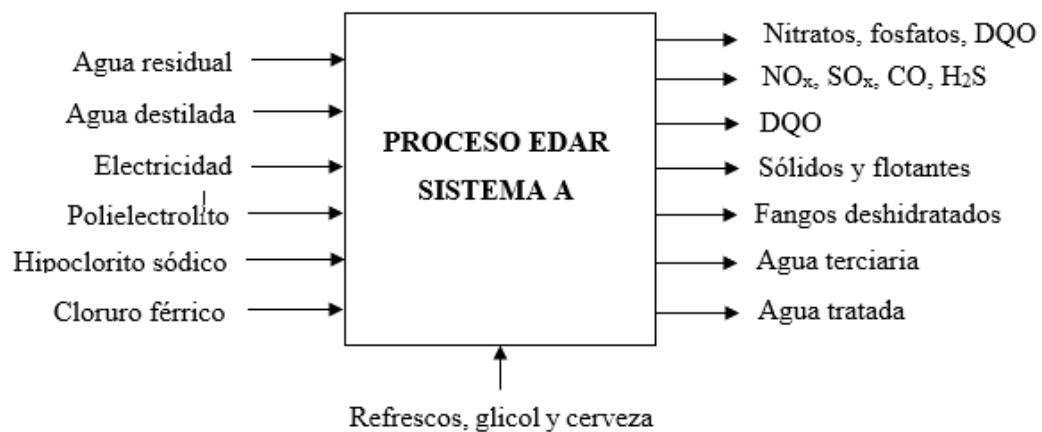


Figura 4-1 Diagrama de entradas y salidas para inventario

4.1 Inventario sistema A

Para el desarrollo de la tabla de inventario se utilizan principalmente los datos facilitados por la empresa.

En el caso de la electricidad, el consumo total en la planta es de 7000 MWh al año, de los cuales 3200 MWh son generados internamente a partir del aprovechamiento del biogás producido en digestión anaerobia. La potencia restante es la que se importaría y entraría al sistema.

Teniendo en cuenta que la unidad funcional es 1 m³ de agua residual de entrada a la planta se calculan todos los valores por unidad funcional a introducir en Simapro. Hay que añadir que los datos de emisiones al agua están referidos en mg/L agua tratada.

En cuanto al residuo sólido a tratamiento, este sería la suma de sólidos gruesos y finos, arenas y flotantes; cuyos valores son 260, 33 y 10 t/año respectivamente.

Conociendo que la densidad de los fangos deshidratados con 70% de humedad es 500 kg/m³ (Tabla 3-2), se calcula el caudal másico de los mismos por unidad funcional.

En la Tabla 4-1 se recogen los valores de inventario para el sistema A.

Ítem	Nombre	Tipo	Sección	Referencia datos	Valor	Unid.	Por u.f.	Unid.	Back-ground	Comentarios back-ground
1	Agua residual	Entrada	Línea de agua	Empresa	17,5	Mm ³ /año	1,0000	m ³	-	
2	Electricidad medio voltaje	Entrada	-	Empresa	3800	MWh/año	0,2171	kWh	Electricity, medium voltage {ES} market for APOS, U	MIX 2014
3	Hipoclorito sódico 100%	Entrada	Línea de agua	Empresa	200	t/año	11,4286	g	Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {RoW} market for sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state APOS, U	Incluye transporte
4	Polielectrolito	Entrada	-	Empresa	30	t/año	1,7143	g	Acrylonitrile {GLO} market for APOS, U	
5	Cloruro férrico 40%	Entrada	-	Empresa	500	t/año	11,4286	g	Iron (III) chloride, without water, in 40% solution state {GLO} market for APOS, U	
6	Agua destilada	Entrada	-	Empresa	-	-	17,1429	g	Water, deionised {CH} market for water, deionised APOS, U	
7	Refrescos	Entrada	Línea de fangos	Empresa	1400	t/año	80,0000	g	-	

8	Glicol	Entrada	Línea de fangos	Empresa	1400	t/año	80,0000	g	-	
9	Cerveza	Entrada	Línea de fangos	Empresa	700	t/año	40,0000	g	-	
10	Gas metano	Corriente intermedia	Línea de fangos	Empresa	1,5	MNm ³ /año	0,0936	m ³	-	
11	Nitrato	Emisión al agua	Línea de agua	Empresa	10	mg/L	9,1266	g	Nitrate	
12	Fosfato	Emisión al agua	Línea de agua	Empresa	1	mg/L	0,9127	g	Phosphate	
13	DQO	Emisión al agua	Línea de agua	Empresa	40	mg/L	36,5063	g	COD, Chemical Oxygen Demand	
14	NOx	Emisión al aire	Línea de fangos	Empresa	5020	kg/año	0,2869	g	Nitrogen dioxide, ES	
15	SOx	Emisión al aire	Línea de fangos	Empresa	52,9	kg/año	0,0030	g	Sulfur dioxide, ES	
16	CO	Emisión al aire	Línea de fangos	Empresa	2540	kg/año	0,1451	g	Carbon monoxide	

17	H2S	Emisión al aire	-	Empresa	237	Ppm				
18	Sólidos gruesos, finos y flotantes	Residuo sólido a tratamiento	Línea de agua	Empresa	303	t/año	17,3143	g	Municipal solid waste {GLO} treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, very wet infiltration class (1000mm) APOS, U	No existe modelo específico para este tipo de residuos. Incluye emisiones a corto y largo plazo. No está incluido el transporte.
19	Fangos deshidratados (70% humedad)	Co-producto	Línea de fangos	Empresa	154000	m ³ /año	4400	g	Compostaje de lodos	Se crea modelo en SIMAPRO (Anexo V)
20	Agua terciaria	Co-producto	Línea de agua	Empresa	1485000	m ³ /año	0,0849	m ³	-	
21	Agua tratada	Producto principal	Línea de agua	Empresa	15971517	m ³ /año	0,9127	m ³	-	

Tabla 4-1 Inventario sistema A

4.2 Inventario sistema B

Para la realización del inventario en el caso B, la electricidad generada aumenta con la producción de biogás. Como se indica en el apartado 3.2.4.2, la producción de biogás se vería incrementada un 35-45%, y al ser un rango de valores del que se desconoce su distribución, se realiza el estudio para tres de ellos: 35, 40 y 45%.

Una parte del biogás producido pasa por la caldera, en la que se quema produciendo calor. Otra parte se dirige al sistema de cogeneración, a partir del cual se produce electricidad y calor. Prácticamente toda la energía producida se consume en las distintas etapas del proceso.

Teniendo en cuenta que el rendimiento eléctrico de la cogeneración es de un 40% y que entra en este equipo un 88,03% del metano producido (AS, 2007), se puede obtener la electricidad generada al año, de forma que:

$$\text{Electricidad generada (MWh)} = (0,8803 \cdot Q_{\text{Metano}} \cdot E_{\text{Metano}}) \cdot \eta_{\text{eléctrico}} \quad \text{Ecuación 8}$$

donde:

- Q_{Metano} es el caudal de metano producido en digestión anaerobia (NMm^3).
- E_{Metano} es la energía total obtenida (kWh) por m^3 de metano. Su valor es 10. (Bertomeu, 2017).
- $\eta_{\text{eléctrico}}$ es el rendimiento eléctrico del sistema de cogeneración.

Se asume que el consumo total de la planta es el mismo para el sistema A y B, lo que varía es la electricidad que entra en el sistema, es decir, la electricidad importada.

En la siguiente tabla se recogen los resultados necesarios del balance de energía para realizar el análisis de inventario para cada uno de los tres casos de incremento de biogás expuestos anteriormente.

Incremento de biogás (%)	Caudal de metano producido (NMm³/año)	Electricidad generada (MWh/año)	Electricidad importada (MWh/año)
Caso 1: 35%	2,025	7783,77	-783,77
Caso 2: 40%	2,1	8072,06	-1072,06
Caso 3: 45%	2,175	8360,35	-1360,35

Tabla 4-2 Tabla resultante del balance de energía para los tres casos de estudio

En la Tabla 4-3 se recogen los valores de inventario para el sistema B en cada uno de los casos en relación al incremento de biogás producido con la implantación de la hidrólisis térmica.

Ítem	Nombre	Tipo	Sección	Referencia datos	Valor	Unid.	Por u.f.	Unid.	Back-ground	Comentarios back-ground
1	Agua residual	Entrada	Línea de agua	Empresa	17,5	Mm ³ /año	1,0000	m3	-	
2	Electricidad medio voltaje	Entrada	-	Empresa/(AS, 2007)	Caso 1: -783,8	MWh/año	Caso 1: -0,0448	kWh	Electricity, medium voltage {ES} market for APOS, U	MIX 2014
					Caso 2: -1072,1		Caso 2: -0,0613			
					Caso 3: -1360,4		Caso 3: -0,0777			
3	Hipoclorito sódico 100%	Entrada	Línea de agua	Empresa	200	t/año	11,4286	g	Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {RoW} market for sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state APOS, U	Incluye transporte
4	Polielectrolito	Entrada	-	Empresa	30	t/año	1,7143	g	Acrylonitrile {GLO} market for APOS, U	
5	Cloruro férrico 40%	Entrada	-	Empresa	500	t/año	11,4286	g	Iron (III) chloride, without water, in 40% solution state {GLO} market for APOS, U	

6	Agua destilada	Entrada	-	Empresa	-	-	17,1429	g	Water, deionised {CH} market for water, deionised APOS, U	
7	Refrescos	Entrada	Línea de fangos	Empresa	1400	t/año	80,0000	g	-	
8	Glicol	Entrada	Línea de fangos	Empresa	1400	t/año	80,0000	g	-	
9	Cerveza	Entrada	Línea de fangos	Empresa	700	t/año	40,0000	g	-	
10	Gas metano	Corriente intermedia	Línea de fangos	Empresa/(AS, 2007)	Caso 1: 2,025	MNm ³ /año	Caso 1: 0,1263	m ³	-	
					Caso 2: 2,1		Caso 2: 0,1310			
					Caso 3: 2,175		Caso 3: 0,1357			
11	Nitrato	Emisión al agua	Línea de agua	Empresa	10	mg/L	9,1266	g	Nitrate	
12	Fosfato	Emisión al agua	Línea de agua	Empresa	1	mg/L	0,9127	g	Phosphate	
13	DQO	Emisión al agua	Línea de agua	Empresa	40	mg/L	36,5063	g	COD, Chemical Oxygen Demand	

14	NOx	Emisión al aire	Línea de fangos	Empresa/(AS, 2007)	Caso 1: 6777	kg/año	Caso 1: 0,3873	g	Nitrogen dioxide, ES	
					Caso 2: 7028		Caso 2: 0,4016			
					Caso 3: 7279		Caso 3: 0,4159			
15	SOx	Emisión al aire	Línea de fangos	Empresa/(AS, 2007)	Caso 1: 71,4	kg/año	Caso 1: 0,0041	g	Sulfur dioxide, ES	
					Caso 2: 74,1		Caso 2: 0,0042			
					Caso 3: 76,7		Caso 3: 0,0044			
16	CO	Emisión al aire	Línea de fangos	Empresa/(AS, 2007)	Caso 1: 3429	kg/año	Caso 1: 0,1959	g	Carbon monoxide	
					Caso 2: 3556		Caso 2: 0,2032			
					Caso 3: 3683		Caso 3: 0,2105			
17	H2S	Emisión al aire	-	Empresa	-	-	-	-		
18	Sólidos gruesos, finos y flotantes	Residuo sólido a tratamiento	Línea de agua	Empresa	303	t/año	17,3143	g	Municipal solid waste {GLO} treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, very wet infiltration class (1000mm) APOS, U	No existe modelo específico para este tipo de residuos. Incluye emisiones a corto y largo plazo. No está incluido el transporte.

19	Fangos deshidratados (60% humedad)	Co-producto	Línea de fangos	Empresa	105000	m ³ /año	3300	g	Compostaje de lodos	Se crea modelo en SIMAPRO (Anexo VI)
20	Agua terciaria	Co-producto	Línea de agua	Empresa	1485000	m ³ /año	0,0849	m ³	-	
21	Agua tratada	Producto principal	Línea de agua	Empresa	15971517	m ³ /año	0,9127	m ³	-	

Tabla 4-3 Inventario sistema B

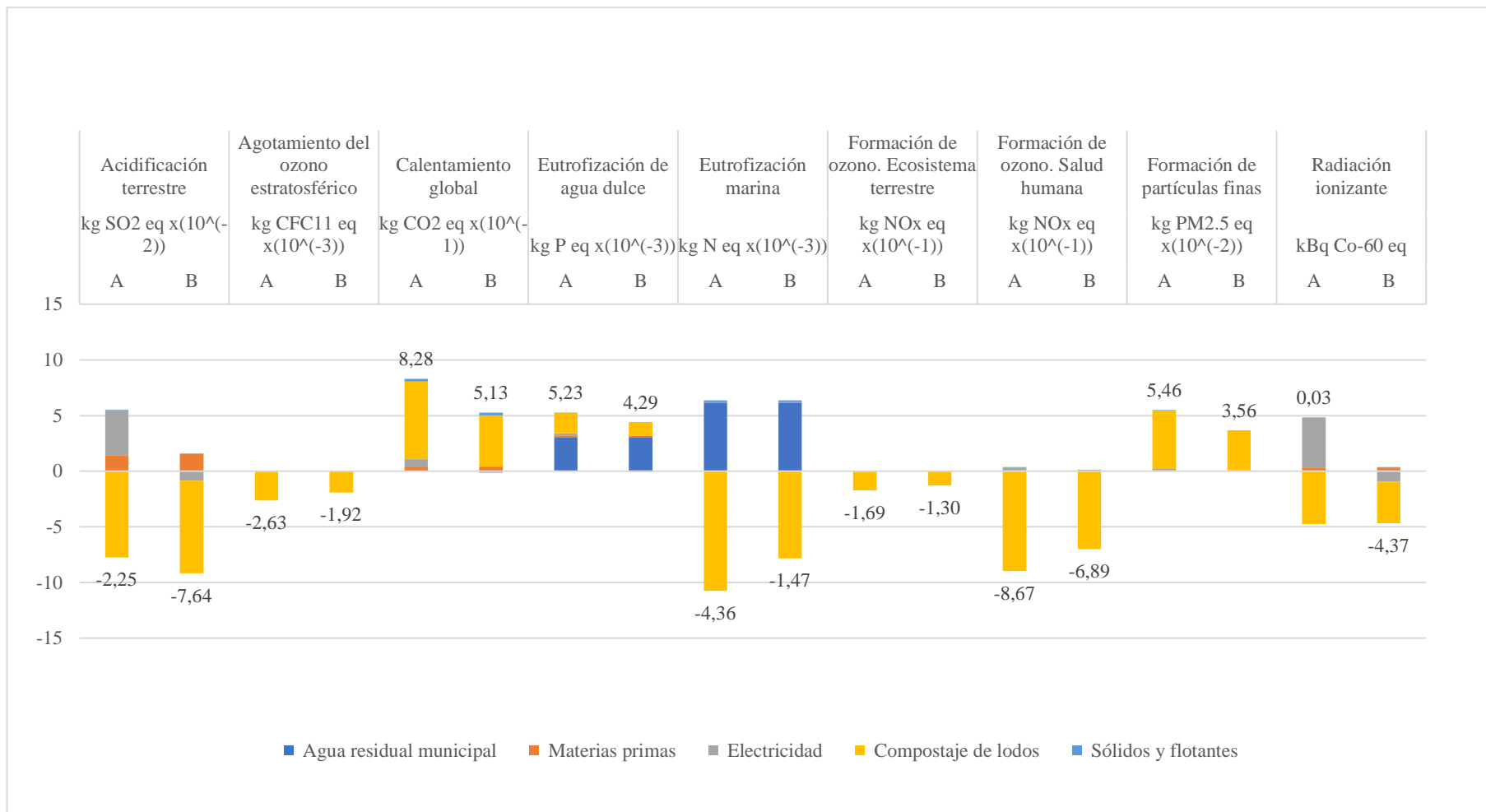
5. EVALUACIÓN DE IMPACTO

A partir de los resultados obtenidos en el análisis de impactos en Simapro, se obtienen las siguientes gráficas. En ellas se puede ver la procedencia de los impactos por categorías de impacto en cada caso de estudio. Se realizan 3 casos:

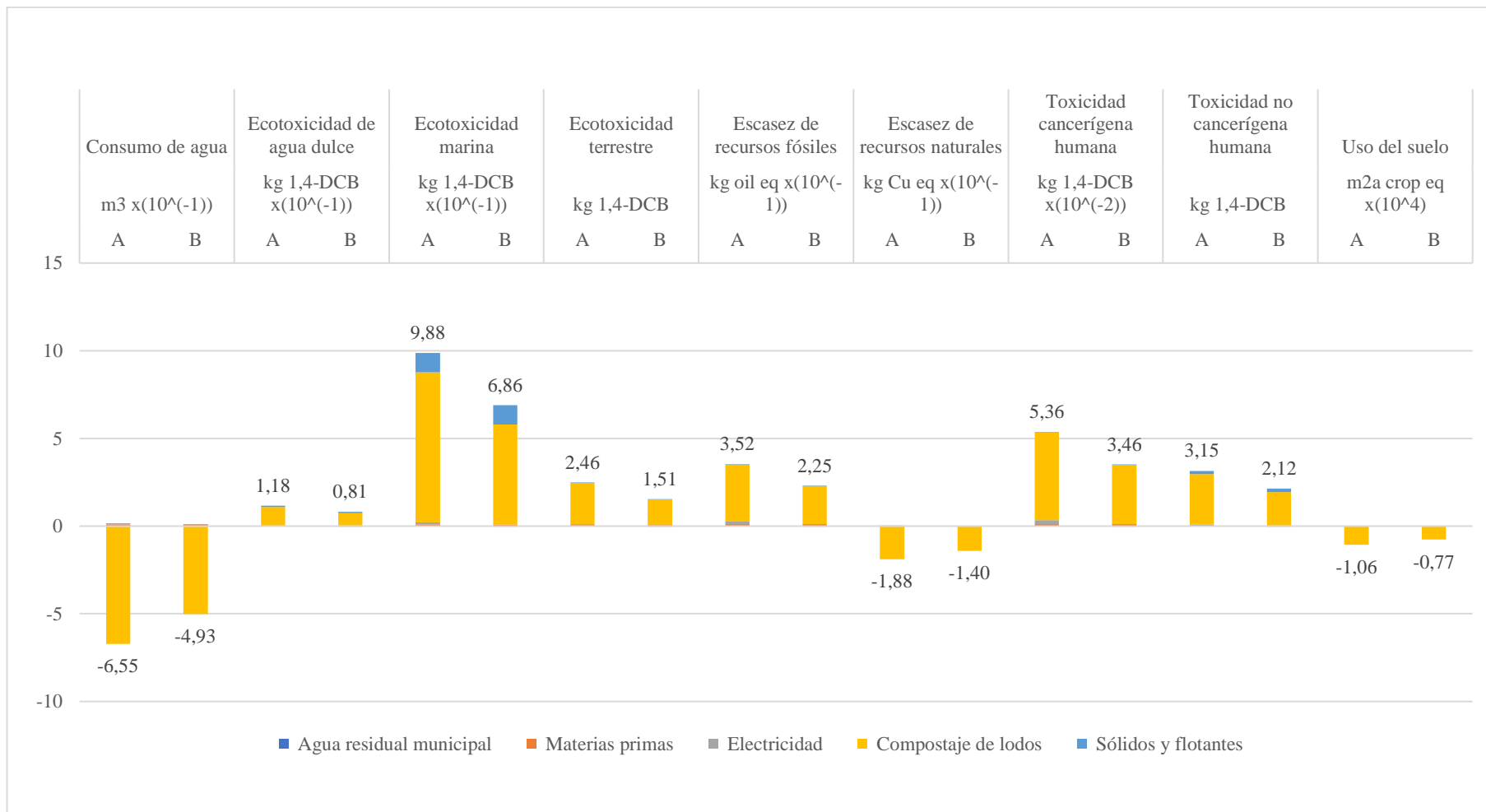
- Caso 1: comparativa entre sistema A y B, en la que el incremento de producción de gas natural es de un 35% en el sistema B respecto del A.
- Caso 2: comparativa entre sistema A y B, en la que el incremento de producción de gas natural es de un 40% en el sistema B respecto del A.
- Caso 3: comparativa entre sistema A y B, en la que el incremento de producción de gas natural es de un 45% en el sistema B respecto del A.

Los impactos relacionados con agua residual municipal son los producidos por el propio proceso. En el caso de las materias primas, se engloban los impactos generados por la producción de hipoclorito sódico, cloruro férrico, agua destilada y acrilonitrilo (polielectrolito utilizado en la planta).

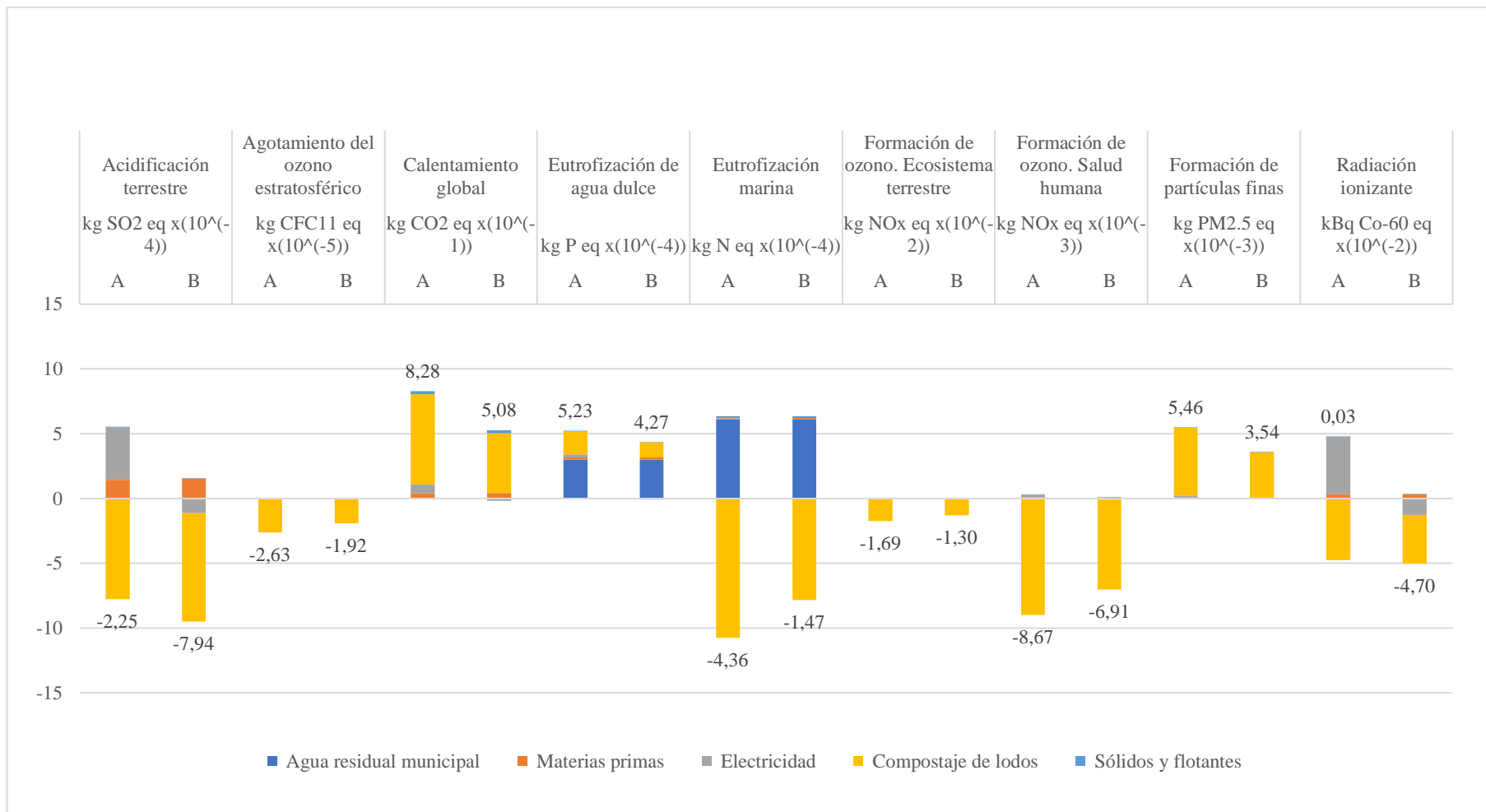
Como se indicó en el apartado 3.2.6 y según los resultados obtenidos, las categorías de impacto seleccionadas son calentamiento global, acidificación terrestre y radiación ionizante.



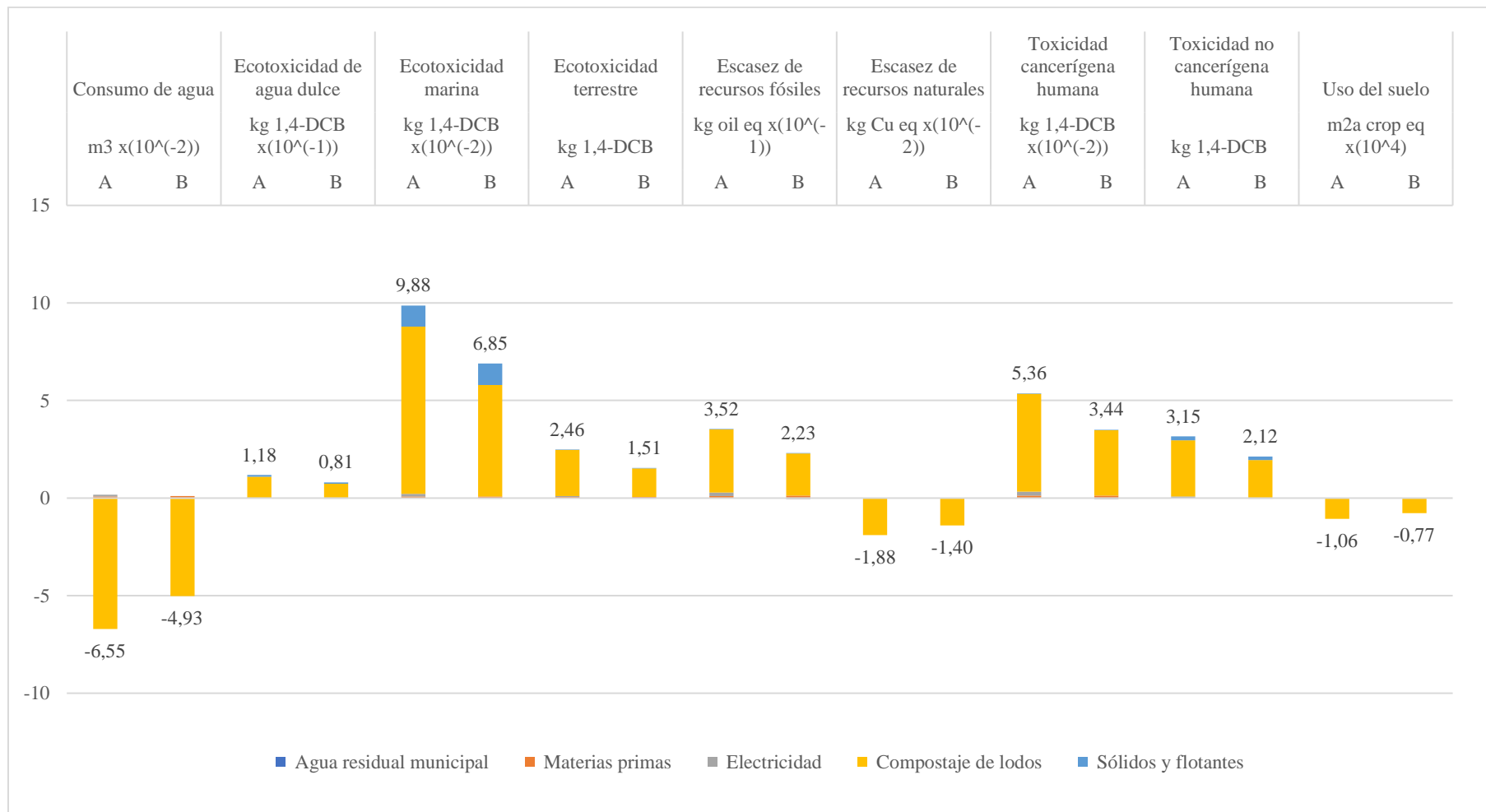
Gráfica 5-1 Análisis de categorías de impacto para sistema A y B-Caso 1 I



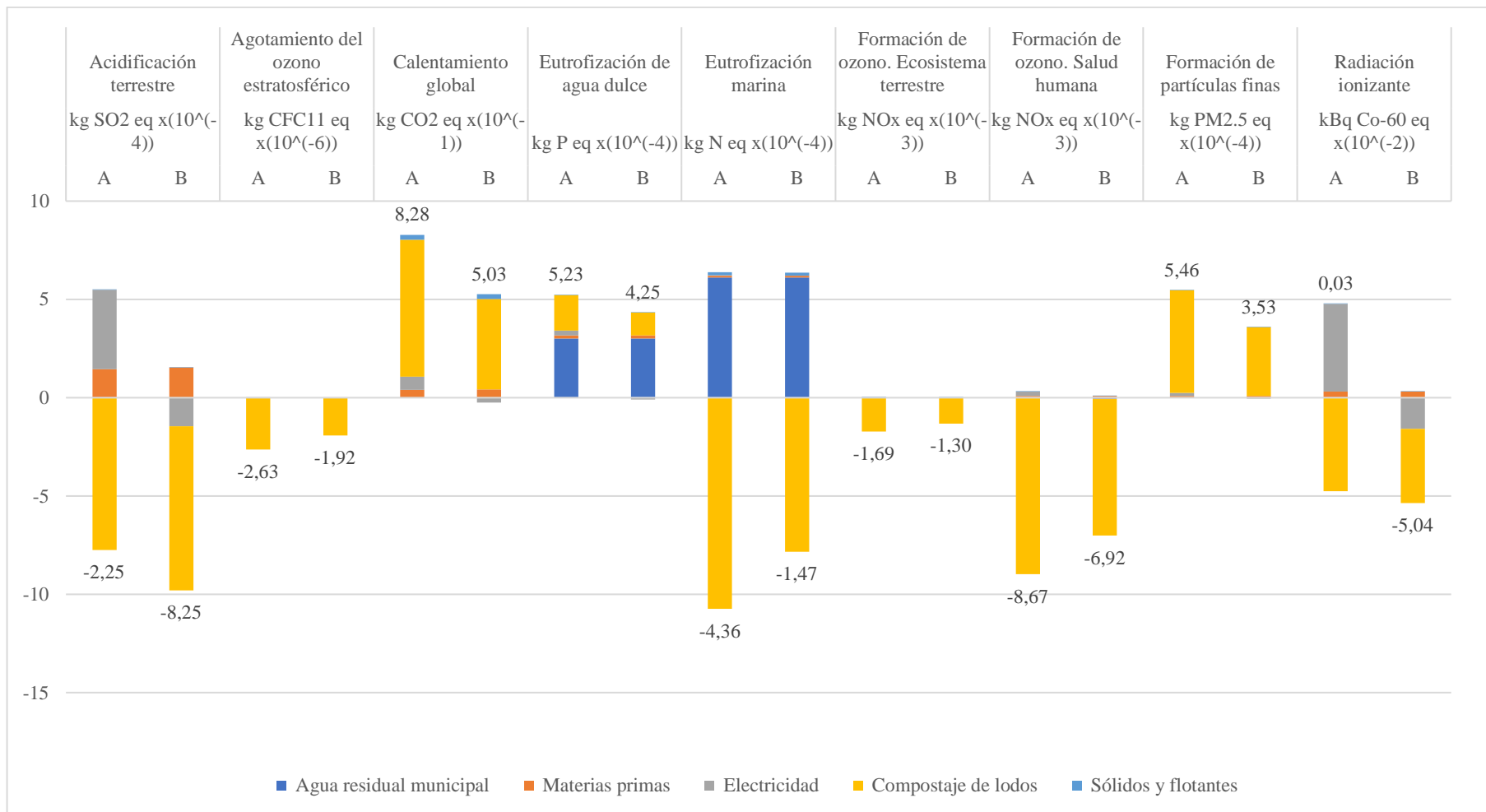
Gráfica 5-2 Análisis de categorías de impacto para sistema A y B- Caso I II



Gráfica 5-3 Análisis de categorías de impacto para sistema A y B- Caso 2 I



Gráfica 5-4 Análisis de categorías de impacto para sistema A y B- Caso 2 II



Gráfica 5-5 Análisis de categorías de impacto para sistema A y B- Caso 3 I



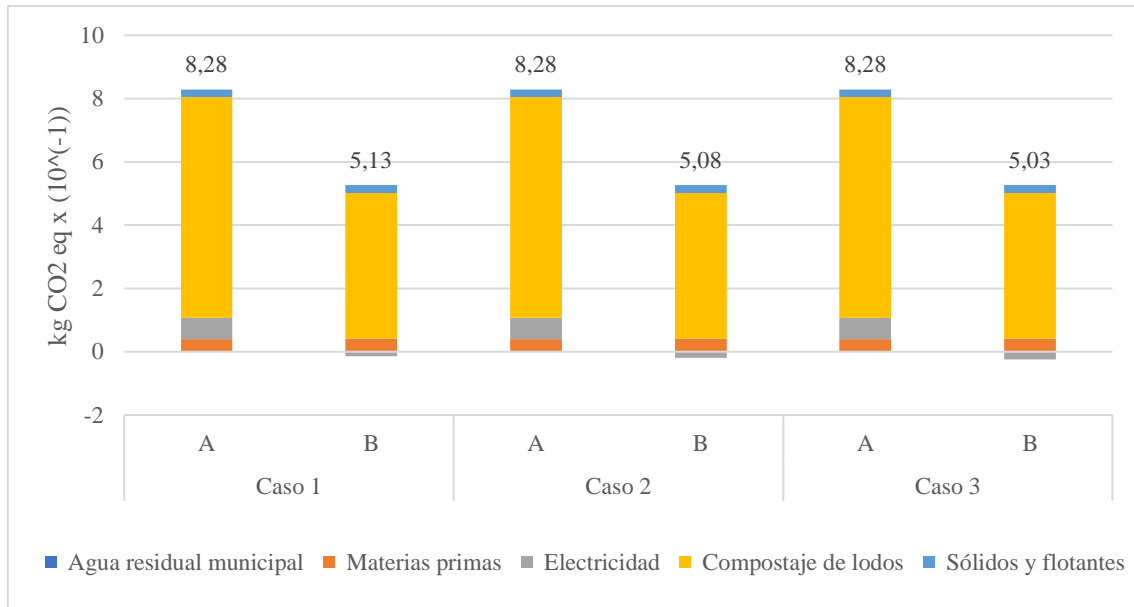
Gráfica 5-6 Análisis de categorías de impacto para sistema A y B- Caso 3 II

6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El análisis e interpretación de resultados se realiza en base a las tres categorías de impacto seleccionadas: calentamiento global, acidificación terrestre y radiación ionizante.

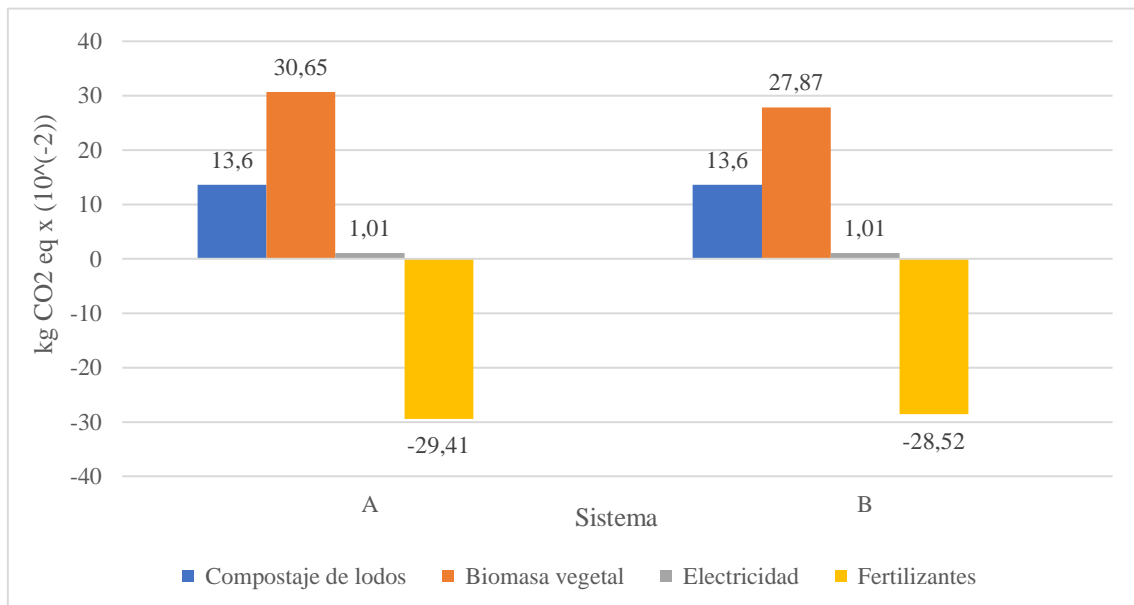
6.1 Calentamiento global

La huella de carbono se mide en kilogramos de CO₂ equivalente. Esta unidad de medida engloba a todos los gases que contribuyen al efecto invernadero y su emisión es medida por su equivalencia en CO₂.



Gráfica 6-1 Calentamiento global (kg CO₂ eq/U.F)

En la gráfica anterior, se puede ver que los impactos se reducen para el sistema B respecto del A, concretamente los relacionados con la electricidad, ya que en el caso del sistema B se genera toda la energía consumida en el proceso. Para todos los casos, el pico importante de emisiones de CO₂ equivalente lo aporta el compostaje de los lodos, con lo que sería interesante el estudio de la procedencia de dichos impactos (Gráfica 6-2).



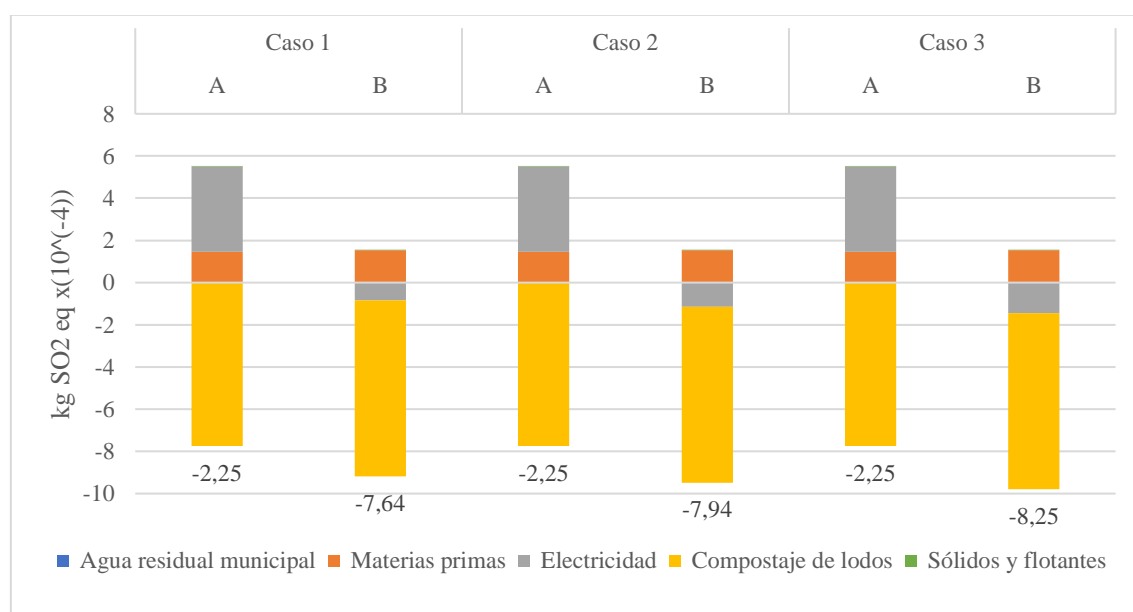
Gráfica 6-2 Calentamiento global-compostaje de lodos (kg CO₂ eq/kg compost)

En la gráfica anterior se puede ver que el mayor impacto proviene de la biomasa vegetal con la que se mezcla el lodo deshidratado en el proceso de compostaje. Analizando el background, el combustible utilizado en la trituración y manejo de la biomasa es el proceso que contribuye a una mayor emisión de gases de efecto invernadero.

Los impactos negativos corresponden al producto evitado, es decir, a los kilogramos de CO₂ equivalente que se emitirían si se produjera fertilizante de forma convencional.

6.2 Acidificación terrestre

La categoría de acidificación terrestre hace referencia a los factores que intervienen en la disminución del pH del suelo, absorbiendo este cationes de hidrógeno. La unidad de medida para esta categoría es kilogramos de SO₂ equivalente. En la Gráfica 6-3 se presenta la procedencia de los impactos para esta categoría.

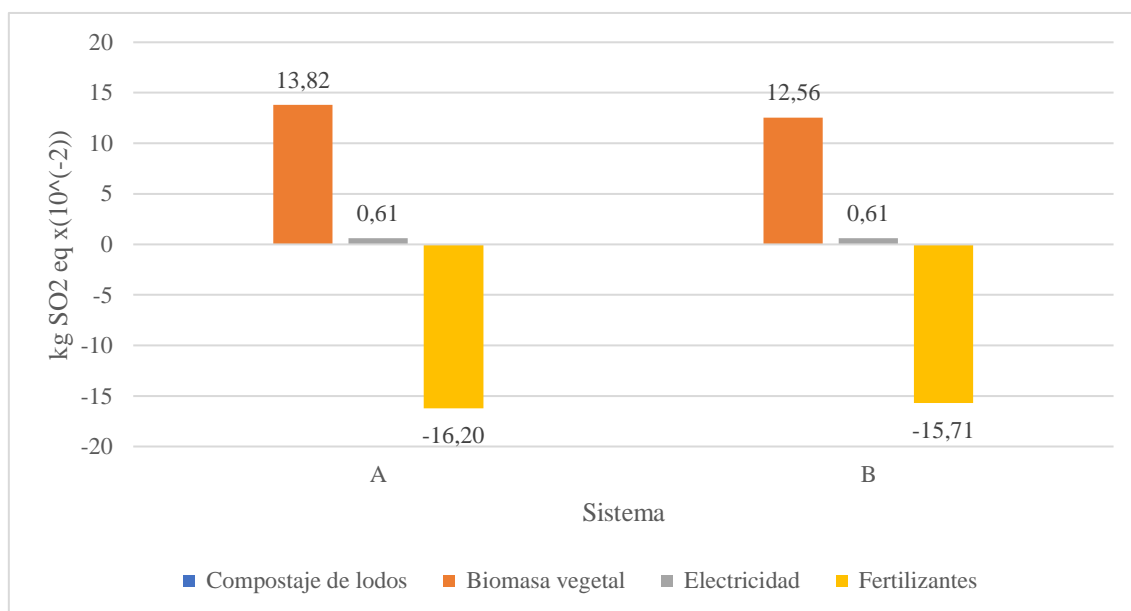


Gráfica 6-3 Acidificación terrestre (kg SO₂ eq/U.F)

Existe una gran diferencia de impactos positivos entre el sistema A y B y esto es debido principalmente a la producción de energía eléctrica necesaria en el sistema A, ya que no se genera internamente en la planta suficiente. Además, en el sistema B, a medida que se aumenta la producción de metano, los impactos se reducen aún más por el exceso de producción de energía.

Sin embargo, los picos negativos de impactos están relacionados con el compostaje de lodos, con lo que resulta interesante indagar en ello.

Según la Gráfica 6-4, lo que reduce los impactos es el producto evitado, es decir, evitar producir fertilizante NPK. Tras realizar un análisis en el background, el pico negativo más acusado está en evitar producir productos nitrogenados.



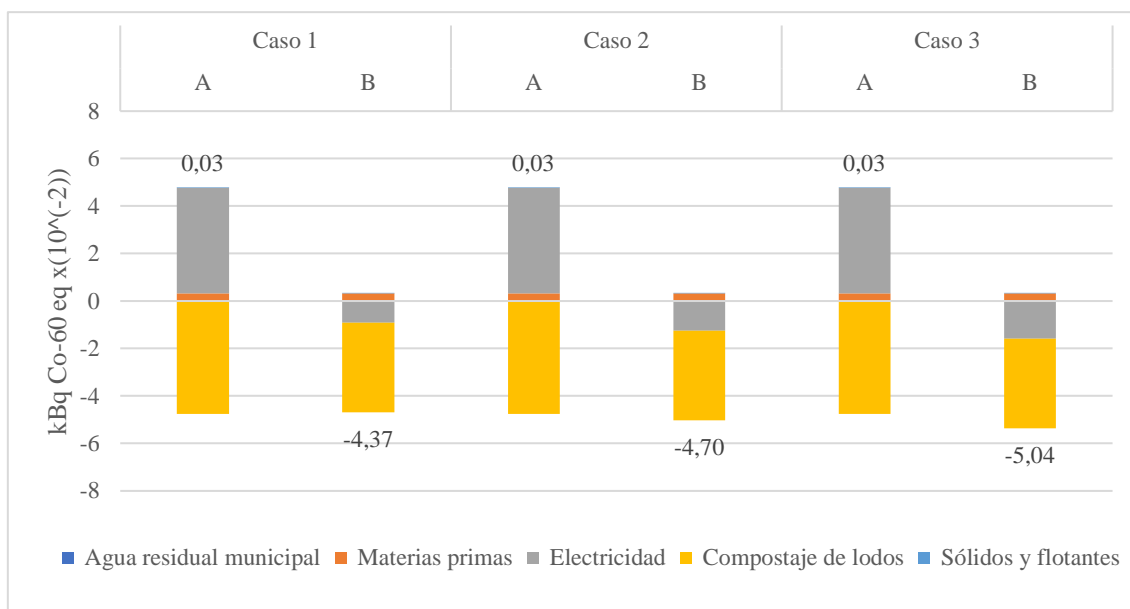
Gráfica 6-4 Acidificación terrestre-Compostaje de lodos (kg SO₂ eq/ kg compost)

Los impactos positivos en esta categoría dentro del compostaje de lodos son aportados por la biomasa vegetal, al igual que en el apartado anterior, proceden del combustible utilizado en la trituración y manejo.

6.3 Radiación ionizante

La radiación ionizante contiene la energía suficiente para ionizar la materia y para la que una exposición continuada y a niveles altos pueden ser nocivos para la salud humana y animal. En esta categoría la unidad de medida corresponde a kilobecquerelio de Cobalto 60 equivalente. Un becquerelio hace referencia a la actividad de una cantidad de material radiactivo en la que se desintegra un núcleo por segundo.

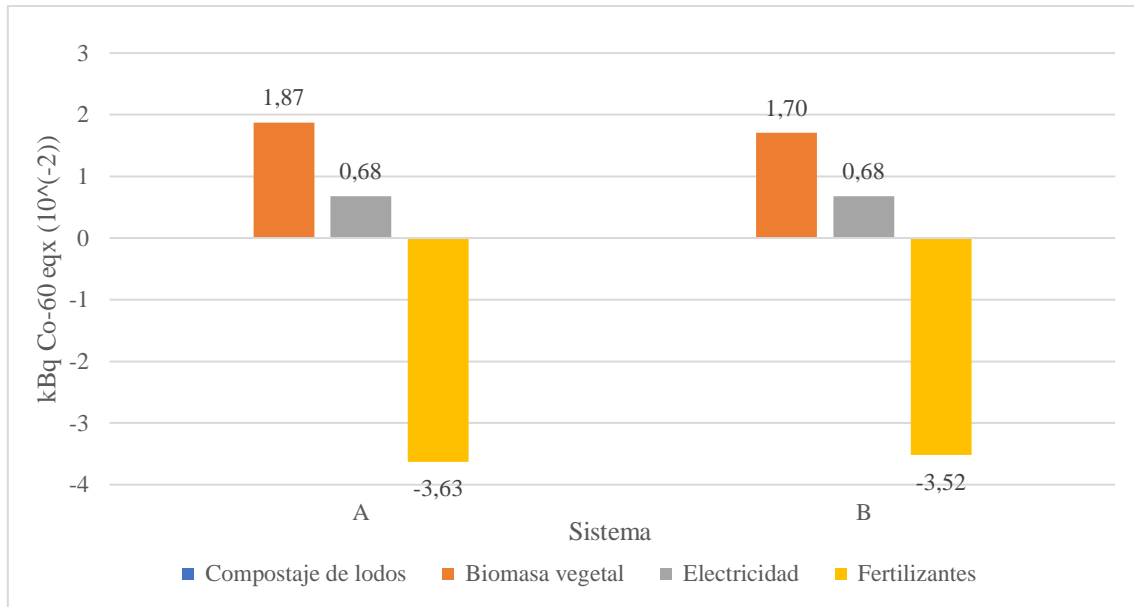
En la Gráfica 6-5 se presentan kilobecquerelios de Cobalto 60 equivalente por unidad funcional para los distintos casos de estudio.



Gráfica 6-5 Radiación ionizante (kBq Co-60 eq/U.F.)

De la gráfica anterior cabe destacar que para el sistema A, los impactos positivos provienen del consumo de electricidad en el proceso, concretamente de su producción con energía nuclear utilizando uranio. Por el contrario, en el sistema B, los impactos procedentes de la electricidad son negativos, ya que en este caso se produce más energía de la que se consume en la planta. También se puede apreciar que, con el aumento de producción de biogás, se genera más energía y por tanto los impactos son aún más negativos.

En el caso de los impactos negativos producidos por la generación de compost, se realiza un análisis del background (Gráfica 6-6).



Gráfica 6-6 Radiación ionizante-Compostaje de lodos (kBq Co-60 eq/kg compost)

De la misma forma, el impacto negativo proviene de evitar la producción de energía eléctrica con energía nuclear a partir de uranio utilizada en la fabricación de fertilizante.

7. CONCLUSIONES

En el año 2021 surge un proyecto de ampliación de la Estación Depuradora de Aguas Residuales Ranilla, en el que se propone la implementación de una hidrólisis térmica con el fin principal de producir mayor cantidad de biogás y poder así abastecerse de energía con la generada en la propia planta.

Bajo este contexto, se ha realizado un Análisis de Ciclo de Vida comparando las dos situaciones, el estado actual de la planta y tras la instalación de la hidrólisis. Además, se han estudiado tres casos diferentes para el sistema con hidrólisis, puesto que no se puede definir a partir de bibliografía la cantidad exacta que se incrementa la producción de biogás respecto a la que tiene la planta en la actualidad.

Se deduce que la implementación de la hidrólisis permitiría el autoabastecimiento de energía de la planta, llegando incluso a producir más de la que consume. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en este proyecto no se estudian los impactos y el coste de las infraestructuras necesarias.

Según los resultados obtenidos, la emisión de gases de efecto invernadero se reducen considerablemente con la nueva instalación, puesto que durante el proceso se genera la energía necesaria en la planta. Los impactos procedentes del compostaje de lodos deshidratados son los más relevantes para esta categoría, concretamente los impactos relacionados con el combustible utilizado en la trituración y manejo de la biomasa vegetal

que se mezcla con los lodos. De la misma forma, la producción de dióxido de azufre también se ve reducida en la nueva situación.

Para ambas categorías, el aprovechamiento del coproducto para generar fertilizantes y así evitar la producción de éstos por un método convencional, disminuye los impactos.

Por otro lado, una exposición continuada y a niveles altos de radiación ionizante puede ser nocivo para la salud humana y animal. En este proyecto se concluye que disminuyen los impactos para esta categoría con la instalación de la hidrólisis, gracias a que se evita la producción de electricidad a través de la energía nuclear.

Como proyección, sería necesario un estudio sobre los impactos producidos y los costes relacionados con la fabricación de las infraestructuras que requiere la nueva instalación, con el fin de concluir hasta qué punto es rentable.

8. BIBLIOGRAFÍA

- AEAS. (2017). Informe sobre aguas residuales en España. *Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento*, 1–22. <http://www.asoaeas.com/sites/default/files/Documentos/Informe sobre aguas residuales AEAS.pdf>
- ARDyR. (2019). *Cifras de reutilización de agua en España - Aedyr*. 2019. <https://aedyr.com/cifras-reutilizacion-agua-espana/>
- AS, C. (2007). *La HIDRÓLISIS TÉRMICA como pretratamiento de la Digestión de fangos de una EDAR: Una Alternativa Madura - PDF Descargar libre*. <https://docplayer.es/54615305-La-hidrolisis-termica-como-pretratamiento-de-la-digestion-de-fangos-de-una-edar-una-alternativa-madura.html>
- Bertomeu, J. R. (2017). *Propuesta de recuperación del biogás de la edar de la fábrica de heineken de valencia*.
- CEDEX. (n.d.). *Propiedades de los lodos secos / CEDEX*. Retrieved November 4, 2021, from <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/30/lodos-de-depuradoras/valorizacion/tratamiento-de-deshidratacion-y-secado-termico/130/propiedades-de-los-lodos-secos.html>
- Corominas, L., Foley, J., Guest, J. S., Hospido, A., Larsen, H. F., Morera, S., & Shaw, A.

- (2013). Life cycle assessment applied to wastewater treatment: State of the art. *Water Research*, 47(15), 5480–5492. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2013.06.049>
- EDAR Ranilla – Emasesa. (2021). <https://www.emasesa.com/conocenos/nuestras-infraestructuras/depuracion/estaciones-depuradoras-e-d-a-r/edar-ranilla-2/>
- EMASESA. (2018). *Informe-GEI-2018-firmado-EMASESAAENOR.pdf*.
- Emasesa, A. de S. (2021). *Asistencia técnica para la redacción proyecto para la construcción de una (1.329.950)*. <https://www.infoconcurso.com/2021/1329950-asistencia-tecnica-para-la-redaccion-proyecto-para-la-construccion-de-una-planta-de-hidrolisis-termica-en-edar-ranilla-alcala-de-guadaira-sevilla>
- Fariñas, B. A. (2020). *Apuntes asignatura Análisis de Ciclo de Vida*.
- Granados, I. C. G. (2015). *GENERACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LODOS DE EDAR*.
- Ibáñez, A. M. G. (2015). *Ingeniería básica de una planta de compostaje en túneles*.
- Ik Ingenieria. (2019). *Ik ingenieria | Análisis de Ciclo de Vida - ACV*. <https://www.ik-ingenieria.com/es/analisis-ciclo-vida-acv>
- Jones, E. R., Van Vliet, M. T. H., Qadir, M., & Bierkens, M. F. P. (2021). Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. *Earth System Science Data*, 13(2), 237–254. <https://doi.org/10.5194/essd-13-237-2021>
- Junta de Andalucía. (n.d.). *Proyecto Life Medio Ambiente*.
- Martín Arroyo, P. (2015). *Tecnologías comerciales de hidrólisis térmica de lodos de depuradora : Revisión documental y comparativa*. 46.
- Metcalf y Eddy, 1995. (2018). *CAPÍTULO 3 DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS 3.1 EL AGUA RESIDUAL URBANA Y SUS EFECTOS SOBRE EL MEDIO RECEPTOR*.
- Smasa. (2021). *¿Por qué es importante la depuración de aguas residuales urbanas?* 2021. <http://www.smasa.net/depuracion-de-aguas-residuales-urbanas/>

TECPA. (2019). *Digestión anaerobia de fangos en EDAR / Formación de ingenieros.*

<https://www.tecpa.es/digestion-fango-edar/>

University, M. (2016). *CCaLC2 © for Windows Manual (V1.1). November.*

VerdeyAzul. (2021). *Aumenta al 50% la depuración de aguas residuales en el mundo -*

Verde y Azul. 2021. <https://verdeyazul.diarioinformacion.com/aumenta-al-50-la-depuracion-de-aguas-residuales-en-el-mundo.html>

9. Anexos

Anexo I. Modelo en Simapro sistema A

Productos								
Especificación de residuo	Material por defecto/tipo de residuo	Cantidad	Ud.	Cantidad	Categoría	Comentario		
Agua residual municipal	All waste types	1	m3	Volume	Transformation			
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados (Insertar línea aquí)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Entradas								
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos) (Insertar línea aquí)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state (RoW) market for sodium hypoch		11,4286	g	Indefinido				
Iron (III) chloride, without water, in 40% solution state (GLO) market for APOS, U		11,4286	g	Indefinido				
Water, deionised (CH) market for water, deionised APOS, U		17,142857	g	Indefinido				
Acrylonitrile (GLO) market for APOS, U (Insertar línea aquí)		1,7143	g	Indefinido				POLIELECTROLITO
Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Electricity, medium voltage (ES) market for APOS, U (Insertar línea aquí)		0,2171	kWh	Indefinido				
Salidas								
Emisiones al aire		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Hydrogen sulfide		0	g	Indefinido				
Sulfur dioxide, ES		0,003	g	Indefinido				
Nitrogen dioxide, ES		0,2869	g	Indefinido				
Carbon monoxide		0,1451	g	Indefinido				

Salidas								
Emisiones al aire	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Hydrogen sulfide		0	g	Indefinido				
Sulfur dioxide, ES		0,003	g	Indefinido				
Nitrogen dioxide, ES		0,2869	g	Indefinido				
Carbon monoxide		0,1451	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Emisiones al agua	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Nitrate		9,127	g	Indefinido				
Phosphate		0,9127	g	Indefinido				
COD, Chemical Oxygen Demand		36,5063	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Emisiones al suelo	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Flujos finales de residuos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Emisiones no materiales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Aspectos sociales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Asuntos economicos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Salidas conocidas a la tecnósfera. Residuos y emisiones para tratamiento		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Compost		4400	g	Indefinido				incluye energía
Municipal solid waste {GLO} treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, very wet		17,31	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								

Anexo II. Modelo en Simapro sistema B - CASO 1

Productos								
Especificación de residuo	Material por defecto/tipo de residuo	Cantidad	Ud.	Cantidad	Categoría	Comentario		
Agua residual+ hidrolisis CASO 1	All waste types	1	m3	Volume	Transformation			
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados								
(Insertar línea aquí)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Entradas								
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)								
(Insertar línea aquí)	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)								
(Insertar línea aquí)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {RoW} market for sodium hypoch		11,4286	g	Indefinido				
Iron (III) chloride, without water, in 40% solution state {GLO} market for APOS, U		11,4286	g	Indefinido				
Water, deionised {CH} market for water, deionised APOS, U		17,1429	g	Indefinido				
Acetonitrile {GLO} market for APOS, U		1,7143	g	Indefinido				
Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor)								
(Insertar línea aquí)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Electricity, medium voltage {ES} market for APOS, U		-0,0448	kWh	Indefinido				
Salidas								
Emisiones al aire								
	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Hydrogen sulfide		0	g	Indefinido				
Sulfur dioxide, ES		0,0041	g	Indefinido				
Nitrogen dioxide, ES		0,3873	g	Indefinido				
Carbon monoxide		0,1959	g	Indefinido				

Salidas								
Emisiones al aire	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Hydrogen sulfide		0	g	Indefinido				
Sulfur dioxide, ES		0,0041	g	Indefinido				
Nitrogen dioxide, ES		0,3873	g	Indefinido				
Carbon monoxide		0,1959	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Emisiones al agua	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Nitrate		9,1266	g	Indefinido				
Phosphate		0,9127	g	Indefinido				
COD, Chemical Oxygen Demand		36,5063	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Emisiones al suelo	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Flujos finales de residuos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Emisiones no materiales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Aspectos sociales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Asuntos economicos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Salidas conocidas a la tecnósfera. Residuos y emisiones para tratamiento		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Compost + hidrolisis		3300	g	Indefinido				
Municipal solid waste {GLO} treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, very wet		17,314286	g	Indefinido				

Anexo III. Modelo en Simapro sistema B - CASO 2

Productos								
Especificación de residuo	Material por defecto/tipo de residuo	Cantidad	Ud.	Cantidad	Categoría	Comentario		
Agua residual+ hidrolisis CASO 2	All waste types	1	m3	Volume	Transformation			
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados (Insertar línea aquí)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Entradas								
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos) (Insertar línea aquí)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {RoW} market for sodium hypoch		11,4286	g	Indefinido				
Iron (III) chloride, without water, in 40% solution state {GLO} market for APOS, U		11,4286	g	Indefinido				
Water, deionised {CH} market for water, deionised APOS, U		17,1429	g	Indefinido				
Acetonitrile {GLO} market for APOS, U (Insertar línea aquí)		1,7143	g	Indefinido				
Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Electricity, medium voltage {ES} market for APOS, U (Insertar línea aquí)		-0,0613	kWh	Indefinido				
Salidas								
Emisiones al aire		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Hydrogen sulfide		0	g	Indefinido				
Sulfur dioxide, ES		0,0042	g	Indefinido				
Nitrogen dioxide, ES		0,4016	g	Indefinido				
Carbon monoxide		0,2032	g	Indefinido				

Salidas								
Emisiones al aire	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Hydrogen sulfide		0	g	Indefinido				
Sulfur dioxide, ES		0,0042	g	Indefinido				
Nitrogen dioxide, ES		0,4016	g	Indefinido				
Carbon monoxide		0,2032	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Emisiones al agua	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Nitrate		9,1266	g	Indefinido				
Phosphate		0,9127	g	Indefinido				
COD, Chemical Oxygen Demand		36,5063	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Emisiones al suelo	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Flujos finales de residuos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Emisiones no materiales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Aspectos sociales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Asuntos economicos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Salidas conocidas a la tecnósfera. Residuos y emisiones para tratamiento		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Compost + hidrolisis		3300	g	Indefinido				
Municipal solid waste {GLO} treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, very wet		17,314286	g	Indefinido				

Anexo IV. Modelo en Simapro sistema B - CASO 3

Productos								
Especificación de residuo	Material por defecto/tipo de residuo	Cantidad	Ud.	Cantidad	Categoría	Comentario		
Agua residual+ hidrolisis CASO 3	All waste types	1	m3	Volume	Transformation			
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Entradas								
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {RoW} market for sodium hypoch		11,4286	g	Indefinido				
Iron (III) chloride, without water, in 40% solution state {GLO} market for APOS, U		11,4286	g	Indefinido				
Water, deionised {CH} market for water, deionised APOS, U		17,1429	g	Indefinido				
Acetonitrile {GLO} market for APOS, U		1,7143	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Electricity, medium voltage {ES} market for APOS, U		-0,0777	kWh	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Salidas								
Emisiones al aire		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Hydrogen sulfide		0	g	Indefinido				
Sulfur dioxide, ES		0,0044	g	Indefinido				
Nitrogen dioxide, ES		0,4159	g	Indefinido				
Carbon monoxide		0,2105	g	Indefinido				

Estudio sobre la reducción del impacto ambiental de una EDAR mediante implantación de hidrólisis térmica

Salidas								
Emisiones al aire	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Mín	Máx	Comentario
Hydrogen sulfide		0	g	Indefinido				
Sulfur dioxide, ES		0,0044	g	Indefinido				
Nitrogen dioxide, ES		0,4159	g	Indefinido				
Carbon monoxide		0,2105	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Emisiones al agua	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Mín	Máx	Comentario
Nitrate		9,1266	g	Indefinido				
Phosphate		0,9127	g	Indefinido				
COD, Chemical Oxygen Demand		36,5063	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Emisiones al suelo	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Flujos finales de residuos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Emisiones no materiales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Aspectos sociales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Asuntos economicos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Salidas conocidas a la tecnósfera. Residuos y emisiones para tratamiento		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Mín	Máx	Comentario
Compost + hidrolisis		3300	g	Indefinido				
Municipal solid waste {GLO} treatment of municipal solid waste, unsanitary landfill, very wet		17,314286	g	Indefinido				

Anexo V. Modelo en Simapro Compostaje de lodos Sistema A

Productos								
Especificación de residuo	Material por defecto/tipo de residuo	Cantidad	Ud.	Cantidad	Categoría	Comentario		
Compost	All waste types	1	kg	Mass	Transformation			
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados								
		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Mín	Máx	Comentario
Nitrogen fertiliser, as N {GLO} nutrient supply from compost APOS, U		54,6	g	Indefinido				
Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO} nutrient supply from compost APOS, U		31,5	g	Indefinido				
Potassium fertiliser, as K2O {GLO} nutrient supply from compost APOS, U		23,1	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Entradas								
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)								
	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)								
		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Mín	Máx	Comentario
Residual wood, dry {GLO} market for APOS, U		6	l	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor)								
		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Mín	Máx	Comentario
Electricity, medium voltage {ES} market for APOS, U		0,033	kWh	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Salidas								
Emisiones al aire								
	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Mín	Máx	Comentario
Methane		4	g	Indefinido				
Nitrogen oxides, ES		0,24	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Emisiones al agua								
	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DS	Mín	Máx	Comentario

Salidas								
Emisiones al aire	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Methane		4	g	Indefinido				
Nitrogen oxides, ES		0,24	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Emisiones al agua	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Emisiones al suelo	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Copper		1336	mg	Indefinido				
Chromium		528	mg	Indefinido				
Nickel		400	mg	Indefinido				
Lead		448	mg	Indefinido				
Zinc		3248	mg	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Flujos finales de residuos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Emisiones no materiales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Aspectos sociales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Asuntos economicos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Salidas conocidas a la tecnósfera. Residuos y emisiones para tratamiento		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								

Anexo VI. Modelo en Simapro Compostaje de lodos Sistema B

Productos								
Especificación de residuo	Material por defecto/tipo de residuo	Cantidad	Ud.	Cantidad	Categoría	Comentario		
Compost + hidrolisis	All waste types	1	kg	Mass	Transformation			
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados								
		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Nitrogen fertiliser, as N {GLO} nutrient supply from compost APOS, U		52,95	g	Indefinido				
Phosphate fertiliser, as P2O5 {GLO} nutrient supply from compost APOS, U		30,55	g	Indefinido				
Potassium fertiliser, as K2O {GLO} nutrient supply from compost APOS, U		22,40	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Entradas								
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Residual wood, dry {GLO} market for APOS, U		5,455	l	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor)		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Electricity, medium voltage {ES} market for APOS, U		0,033	kWh	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Salidas								
Emissiones al aire	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Methane		4	g	Indefinido				
Nitrogen oxides, ES		0,24	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Emissiones al agua	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								

Estudio sobre la reducción del impacto ambiental de una EDAR mediante implantación de hidrólisis térmica

Salidas								
Emisiones al aire	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Methane		4	g	Indefinido				
Nitrogen oxides, ES		0,24	g	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Emisiones al agua	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Emisiones al suelo	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
Copper		1214,55	mg	Indefinido				
Chromium		480	mg	Indefinido				
Nickel		363,64	mg	Indefinido				
Lead		407,27	mg	Indefinido				
Zinc		2952,73	mg	Indefinido				
(Insertar línea aquí)								
Flujos finales de residuos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Emisiones no materiales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Aspectos sociales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Asuntos economicos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								
Salidas conocidas a la tecnósfera. Residuos y emisiones para tratamiento		Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín	Máx	Comentario
(Insertar línea aquí)								

Anexo VII. Calidad de datos Sistema A

<i>Ítem</i>	<i>Nombre</i>	<i>Edad</i>	<i>Origen Geográfico</i>	<i>Fuente</i>	<i>Completo</i>	<i>Reproducibilidad/ consistencia</i>	<i>Calidad de datos (foreground)</i>	<i>Calidad datos (background)</i>	<i>Calidad datos (Ítem)</i>
1	Agua residual	3	3	3	3	3	30		
2	Electricidad medio voltaje	3	3	3	3	3	30	28	Alta
3	Hipoclorito sódico 100%	3	3	3	3	3	30	16	Media
4	Polielectrolito	3	3	3	3	3	30	12	Media
5	Cloruro férrico 40%	3	3	3	3	3	30	14	Media
6	Agua destilada	3	3	3	3	3	30	13	Media
7	Refrescos	3	3	3	3	3	30		
8	Glicol	3	3	3	3	3	30		
9	Cerveza	3	3	3	3	3	30		

10	Gas metano	3	3	3	3	3	30		
11	Nitrato	3	3	3	2	3	28	10	Media
12	Fosfato	3	3	3	2	3	28	10	Media
13	DQO	3	3	3	2	3	28	10	Media
14	NO _x	3	3	3	3	3	30	10	Media
15	SO _x	3	3	3	3	3	30	10	Media
16	CO	3	3	3	3	3	30	10	Media
17	H ₂ S								
18	Sólidos gruesos, finos y flotantes	3	3	3	3	3	30	17	Media
19	Fangos deshidratados (70% humedad)	3	3	3	3	3	30	10	Media
20	Agua terciaria	3	3	3	3	3	30		
21	Agua tratada	3	3	3	3	3	30		

Anexo VIII. Calidad de datos Sistema B

<i>Ítem</i>	<i>Nombre</i>	<i>Edad</i>	<i>Origen Geográfico</i>	<i>Fuente</i>	<i>Completo</i>	<i>Reproducibilidad/ consistencia</i>	<i>Calidad de datos (foreground)</i>	<i>Calidad datos (background)</i>	<i>Calidad datos (Ítem)</i>
1	Agua residual	3	3	3	3	3	30		
2	Electricidad medio voltaje	2	1	1	1	1	13	28	Media
3	Hipoclorito sódico 100%	3	3	3	3	3	30	16	Media
4	Polielectrolito	3	3	3	3	3	30	12	Media
5	Cloruro férrico 40%	3	3	3	3	3	30	14	Media
6	Agua destilada	3	3	3	3	3	30	13	Media
7	Refrescos	3	3	3	3	3	30		
8	Glicol	3	3	3	3	3	30		
9	Cerveza	3	3	3	3	3	30		
10	Gas metano	3	3	3	3	3	30		

11	Nitrato	3	3	3	2	3	28	10	Media
12	Fosfato	3	3	3	2	3	28	10	Media
13	DQO	3	3	3	2	3	28	10	Media
14	NO _x	1	1	1	1	1	10	10	Baja
15	SO _x	1	1	1	1	1	10	10	Baja
16	CO	1	1	1	1	1	10	10	Baja
17	H ₂ S								
18	Sólidos gruesos, finos y flotantes	3	3	3	3	3	30	17	Media
19	Fangos deshidratados (60% humedad)	2	3	3	3	3	28	10	Media
20	Agua terciaria	3	3	3	3	3	30		
21	Agua tratada	3	3	3	3	3	30		

Anexo IX. Calidad de datos por categoría

<i>Categoría</i>	<i>SISTEMA A</i>	<i>SISTEMA B</i>
<i>Calentamiento global</i>	Media	Media
<i>Formación de ozono. Ecosistema terrestre</i>	Media	Media
<i>Radiación ionizante</i>	Alta	Media
<i>Formación de ozono. Salud humana</i>	Media	Media
<i>Formación de partículas finas</i>	Media	Media
<i>Formación de ozono. Ecosistema terrestre</i>	Media	Media
<i>Acidificación terrestre</i>	Media	Media
<i>Eutrofización de agua dulce</i>	Alta	Alta
<i>Eutrofización marina</i>	Alta	Alta
<i>Ecotoxicidad terrestre</i>	Media	Media
<i>Ecotoxicidad de agua dulce</i>	Media	Media

<i>Ecotoxicidad marina</i>	Media	Media
<i>Toxicidad cancerígena humana</i>	Media	Media
<i>Toxicidad no cancerígena humana</i>	Media	Media
<i>Uso del suelo</i>	Media	Media
<i>Escasez de recursos naturales</i>	Media	Media
<i>Escasez de recursos fósiles</i>	Media	Media
<i>Consumo de agua</i>	Media	Media