



Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Curso 2021-2022

TRANSFORMACIÓN Y
VALORIZACIÓN ENERGÉTICA
DE LOS RESIDUOS
URBANOS

Inmaculada Concepción Campins Benítez
Tutora: Dra. María del Carmen Morón Romero
Departamento: Física I
Julio 2022

Agradecimientos

A mi familia, por apoyarme y confiar siempre en mí.

A mi hermano, por ayudarme y creer que se lograría.

A mis amigos, por escucharme, aconsejarme y alegrarse de mis triunfos como si fuesen suyos.

A MD, Iván y Marina, por siempre estar.

A mis compañeros, por las tardes compartidas de estudio y agobios, pero, sobre todo, por los buenos momentos y todas las risas.

Al departamento de Física I y, en concreto, a mi tutora por toda la atención y ayuda recibida.

Y, finalmente, a aquellos que no están, pero siempre quisieron verme aquí.

Resumen

En este proyecto se valoran algunas alternativas sostenibles para el tratamiento de residuos sólidos urbanos.

La primera estudia el empleo de una planta de incineración de residuos mientras que la segunda evalúa la posibilidad de obtener energía y biocombustibles de aquellas fracciones de residuos que no sean útiles en la incineración, como es el caso de la materia orgánica.

Tras esto se analiza la posibilidad de que ambas propuestas pudiesen sumarse a la economía circular y, finalmente, que implicaría su implementación en el medio ambiente.

Palabras clave: residuos sólidos urbanos, incineración, biomasa, económica circular, impacto medioambiental.

Abstract

This project assesses some sustainable alternatives for urban solid waste treatment.

The first alternative contemplates the use of a burning waste plant whereas the second one appraises the possibility of obtaining energy and biofuels from those useless fractions that are not useful in the incineration, process as in the case of organic material.

After that, both proposals are analyzed so that they could be added to the circular economy and, eventually what outcome would this method imply to the environment.

Key words: urban solid waste, incineration, biomass, circular economy, environmental impact.

Índice de contenido

Agradecimientos.....	2
Resumen	3
Abstract	3
Índice de ilustraciones	5
Índice de tablas	5
1. Introducción y justificación	6
2. Objetivo, alcance y limitaciones	7
3. Normativa aplicable	7
4. Desarrollo	8
4.1. Escenario actual de la gestión de residuos	8
4.2. Definición de residuo sólido urbano (RSU)	9
4.3. Tipos de residuos usados en la incineración de RSU	9
4.4. Plantas Waste to Energy (WTE)	10
4.4.1. Áreas de una planta.....	11
4.4.2. Proceso de incineración	12
4.4.3. Elementos y funcionamiento de los sistemas de recuperación energética	18
4.4.4. Tipos de caldera	19
4.4.5. Utilidades de la energía recuperada	20
4.5. Biomasa	22
4.5.1. Procesos termoquímicos	22
4.5.2. Procesos bioquímicos.....	24
4.5.3. Biocombustibles.....	26
4.6. Economía circular.....	36
4.6.1. Introducción a la economía circular	36
4.6.2. Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos.....	37
4.7. Análisis de resultados	40
4.7.1. Análisis económico	40
4.7.2. Valorización de impactos.....	41
5. Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros.....	46
6. Bibliografía.....	48

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Esquema general de una planta de residuos (46).....	10
Ilustración 2. Esquema de la zona de descarga de residuos (16).....	11
Ilustración 3. Esquema foso (16).....	11
Ilustración 4. Representación parrilla de balancines (16).....	12
Ilustración 5. Representación parrillas fijas y móviles (16).....	12
Ilustración 6. Representación sistema Martín (16).	13
Ilustración 7. Incinerador clase III, tipo 4 (16).....	15
Ilustración 8. Esquema de incinerador clase V, tipo 2 (16).	16
Ilustración 9. Esquema de una caldera de recuperación para una incineradora (16).....	20
Ilustración 10. Esquema de una central eléctrica convencional y del grupo turbina-alternador (36).....	21
Ilustración 11. Cultivo de colza (41).	27
Ilustración 12. Cultivo de girasoles (42).	27
Ilustración 13. Cultivo de palma (43).	28
Ilustración 14. Digestor continuo de mezcla perfecta (21).....	34
Ilustración 15. Esquema proceso PAC (21).....	35
Ilustración 16. Reactor de filtro anaeróbico de flujo ascendente (21).....	35
Ilustración 17. Digestor de película fija (21).	36
Ilustración 18. Jerarquía del tratamiento de residuos (47).	41

Índice de tablas

Tabla 1. PCI de ciertas fracciones en los RSU (37).	9
Tabla 2. Tipos de incineradores según su naturaleza física (16).	13

1. Introducción y justificación

Cada vez resulta más notorio el efecto ocasionado por el cambio climático sobre el planeta. Uno de los factores implicados en dicho cambio climático es el calentamiento global.

Existen múltiples causas que producen dicho calentamiento. Entre ellas se halla el aumento de los gases de efecto invernadero, causante del deterioro que se origina en la capa de ozono.

El gas más conocido al nombrar el efecto invernadero es el llamado CO₂ o dióxido de carbono, esto se debe a que es el más generado y, por tanto, uno de los mayores responsables de obstruir la salida del calor de la parte inferior de la atmósfera. Aunque existen otros gases como el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), etc.

A pesar de que la mayoría de dichos gases se generan en la actividad industrial también existen otros causantes de dicha liberación de gases a la atmósfera. Entre estos causantes se encuentran los vertederos de residuos sólidos urbanos (RSU).

Desde estos vertederos se emite a la atmósfera dióxido de carbono y metano junto a otros gases en forma de una mezcla denominada biogás. Para evitar que esto siga ocurriendo se están buscando alternativas para la gestión de residuos puesto que la generación de dichos residuos ocasiona una pérdida de recursos tanto materiales como energéticos.

Atendiendo a los motivos expuestos anteriormente se va a realizar durante este proyecto la evaluación de varias alternativas sostenibles para mejorar la situación actual del tratamiento de residuos. El fin no es otro que aprovechar los residuos de forma que se puedan utilizar como recursos y no como desechos, obteniendo de ellos energía y productos útiles como los biocombustibles procedentes de la biomasa.

Sobre este tema existen multitud de estudios realizados, de entre los cuales destacan *Tratamiento y valorización energética de residuos* realizado por el investigador Xavier Elías Castells, publicado en el año 2005, y *Energía de la biomasa y biocombustibles* realizado por las investigadoras pertenecientes a la Universidad de Granada María Ángeles Martín Lara y Mónica Calero de Hoces, publicado en 2020.

Para desarrollar esta investigación se ha partido del estudio del escenario actual en el que se encuentran los tratamientos de residuos sólidos urbanos. Para todo ello, se ha realizado una búsqueda bibliográfica de la cual se ha obtenido toda la información. Una vez conocido este punto se han valorado qué tipos de residuos serían los adecuados para la implementación de las plantas Waste to Energy. Tras esto se desarrolla el funcionamiento de las mismas y se catalogan las utilidades que proporciona la biomasa.

2. Objetivo, alcance y limitaciones

El presente proyecto parte del objetivo de estudiar cómo se podría valorizar los residuos sólidos no reciclables partiendo de la aportación energética que pueden ofrecer las plantas incineradoras. Teniendo en cuenta que al valorizar los residuos pertenecientes a los vertederos se colabora con la disminución de volumen de almacenamiento y con el nivel de peligrosidad que acarrearán.

Además de este objetivo principal existen objetivos más específicos. Estos son:

- Obtener conocimientos acerca de la gestión, aprovechamiento y tratamiento de los residuos sólidos urbanos.
- Adquirir conocimientos acerca de la recuperación energética tras la gestión de los residuos.
- Evaluar cómo favorecería la incorporación de esta gestión a la economía circular requerida por la normativa europea actual.
- Estudiar cómo se realiza la obtención de biocombustibles partiendo de residuos.
- Valorar el impacto ambiental que podrían producir las plantas estudiadas en este proyecto.

Para alcanzar estos objetivos se realizará una investigación acerca de cómo es el funcionamiento de una fábrica WTE con horno de parrilla y cómo se recupera energía de ella. A su vez, se desarrollará como valorizar los residuos a través del uso de la biomasa, se evaluará cómo podrían sumarse ambos procesos a la economía circular y se estudiará el impacto ambiental que podrían provocar.

Actualmente no existen limitaciones técnicas que impidan la realización de este proyecto. Por el contrario, sería de utilidad llevar a cabo dicho proyecto puesto que ayudaría a preservar el medio ambiente a la vez que disminuyen los vertederos. Así mismo, las reservas naturales de materias primas cada vez escasean más, por lo que la ejecución de este proyecto también contribuiría a encontrar alternativas que permitiesen salvar la explotación del medio ambiente.

Queda fuera del alcance del proyecto el diseño e implantación de las instalaciones desarrolladas en el mismo.

3. Normativa aplicable

- Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular (1).
- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas (2).
- Real Decreto 553/2020, de 2 de junio, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado (3).

- Decreto 131/2021, de 6 de abril, por el que se aprueba el Plan Integral de Residuos de Andalucía. Hacia la economía Circular en el Horizonte 2030 (4).
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental (5).
- Decisión de Ejecución (UE) 2018/1147 de la Comisión de 10 de agosto de 2018 por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) en el tratamiento de residuos, de conformidad con la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo (6).
- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE (7).
- Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos (8).
- Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (9).
- Real Decreto 208/2022, de 22 de marzo, sobre las garantías financieras en materia de residuos (10).
- Real Decreto 205/2021, de 30 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1085/2015, de 4 de diciembre, de fomento de los biocarburantes, y se regulan los objetivos de venta o consumo de biocarburantes para los años 2021 y 2022 (11).
- Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes (12).
- Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación) (13).

4. Desarrollo

Antes de comenzar con el desarrollo y funcionamiento de las plantas WTE es necesario conocer el escenario de la gestión de residuos que existe en este momento, el significado de RSU y los tipos de residuos que se pueden emplear en la incineración realizada en dichas plantas.

4.1. Escenario actual de la gestión de residuos

De acuerdo con el informe realizado por la organización británica Verisk Maplecroft (14) se estima que cada año se genera anualmente más de 2.100 millones de toneladas de RSU, lo que supondría alrededor de 41.000 km si se colocasen en línea recta. Además, afirma que de estos 2.100 millones de Inmaculada Concepción Campins Benítez. Transformación y valorización energética de los residuos urbanos.

toneladas solo un 16 %, unos 323 millones de toneladas, se reciclan cada año. Y, que el 46 % de los residuos son eliminados de una forma insostenible. Con estos datos se observa que la generación de residuos es mucho mayor de lo que se es capaz de reciclar.

La mayoría de dichos residuos son generados por las industrias. Y, para combatir estos grandes volúmenes de residuos se está tratando de impulsar cada vez más la economía circular. Esta economía se basa en la creación de productos que puedan ser reutilizados con el objetivo de evitar la explotación de recursos y el derroche de materiales.

4.2. Definición de residuo sólido urbano (RSU)

Acorde al libro de aspectos generales de la problemática de los RSU (15): “Es el material, producto o subproducto que, sin considerarlo peligroso, se desecha y el cual puede reaprovecharse o requiere sujetarse a métodos de tratamiento o disposición final. Pueden ser residuos orgánicos como vidrio, metales u orgánicos biodegradables, como frutas y verduras, resto de poda, entre otros”.

4.3. Tipos de residuos usados en la incineración de RSU

Para poder implantarse las plantas de incineración es necesario que los RSU tengan como mínimo un poder calorífico inferior (PCI) medio de 7 MJ/kg ya que así se asegura que el proyecto sea viable.

Generalmente son los países más consumistas quienes tienden a generar estos residuos debido al gran uso de plásticos y cartones para el envasado de los productos. Por el contrario, los países menos desarrollados cuentan con mucha mayor cantidad de materia orgánica en sus residuos. Esta materia orgánica otorga menos poder calorífico y al ser más húmedo también implica mayor costo en el proceso de incineración puesto que habría que secarlo previamente.

A continuación, se muestran los PCI de ciertas fracciones en los RSU.

FRACCIÓN	PODER CALORÍFICO INFERIOR (MJ/kg)
Papel	16
Materia orgánica	4
Plásticos	35
Vidrios	~0
Metales	~0
Textiles	19
Otros materiales.	11

Tabla 1. PCI de ciertas fracciones en los RSU (37).

En definitiva, para aplicar el proceso de incineración los residuos deben provenir de vertederos controlados y bien operados y el PCI debe ser de media 7 MJ/kg, sin permitir fracciones de residuos con PCI menores de 6 MJ/kg.

Inmaculada Concepción Campins Benítez. Transformación y valorización energética de los residuos urbanos.

4.4. Plantas Waste to Energy (WTE)

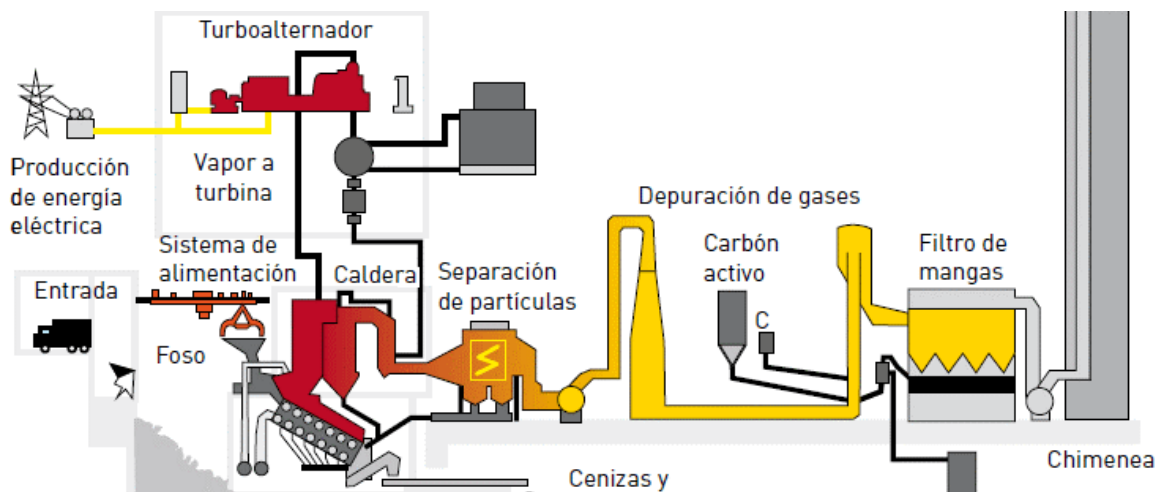


Ilustración 1. Esquema general de una planta de residuos (46).

Las plantas encargadas de transformar los residuos en energía, también llamadas WTE, se ocupan de incinerar los residuos usando tecnología capaz de realizar dicha acción de forma fiable y sin descuidar la calidad medioambiental.

El desarrollo de estas plantas se realiza con los siguientes fines:

- Reducir el volumen de residuos. Se puede obtener una valorización alta, en torno al 95 %, de los desechos generados en obras e industrias si se reutilizan los residuos generados.
- Cuidar el medio ambiente. El uso de la tecnología desarrollada hoy en día permite usar maquinaria para la limpieza de gases y hornos para la incineración de residuos que cuentan con sistemas eléctricos que ofrecen fiabilidad y calidad de los procesos.
- Gran disponibilidad y fiabilidad. Haciendo referencia al bajo número de problemas generados por las averías y al mantenimiento necesario.
- Obtener beneficios de la incineración. De dicho proceso se puede generar tanto energía eléctrica como térmica obteniéndose así un aliciente económico para la gestión de la planta. Además de proporcionar ciertas ventajas ambientales.
- Disminuir la ocupación del espacio empleado actualmente por los vertederos.
- Recuperar los desechos metálicos.

Además, para que se desarrolle un funcionamiento adecuado se realiza la división de la planta en zonas o áreas funcionales. Las más importantes son las que se detallan a continuación.

4.4.1. Áreas de una planta

4.4.1.1. Recepción de residuos

Los residuos sólidos urbanos no reciclables llegan a la entrada de la planta. Una vez allí se pesan los camiones encargados de transportar los residuos y se realiza la trazabilidad de los productos. Tras esto el camión llega a la siguiente área.

4.4.1.2. Descarga de residuos



Ilustración 2. Esquema de la zona de descarga de residuos (16).

En este caso, al tratarse de una planta de este tipo de procesos, se descargará el contenido de los camiones en unos fosos adecuados para ello. Además, la nave donde se establezca la ubicación del foso debe de disponer de las condiciones de ventilación necesarias para que los trabajadores puedan trabajar adecuadamente.

En estas condiciones la ventilación es ocasionada por la aspiración del aire primario de la combustión (aire introducido junto al combustible). Esta aspiración se realiza a

través de ventiladores colocados en los orificios de zona superior del edificio.

El fondo del foso donde se encuentran los residuos se debe construir con una leve inclinación que dirija los líquidos producidos por los residuos hacia un sistema encargado de recogerlos. Así mismo, debe haber instalada una bomba sumergible encargada de realizar el drenaje hacia fuera del foso.

El foso debe ser hermético para impedir las filtraciones de los líquidos sobre el terreno, debe tener un tamaño acorde al almacenamiento de máximo 4 días de la capacidad de la planta y debe construirse de hormigón armado.

En caso de que existiese la posibilidad de la llegada de algún tipo de residuo demasiado grande se dispondrá en esta nave de descarga una zona de especial para ello, en la que se situará el camión y realizará el vaciado de residuos directamente sobre una tolva encargada de abastecer a un sistema instalado para la reducción de volumen de dichos residuos. Los cuales, una vez triturados, pasarán al foso.

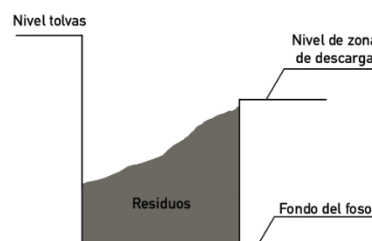


Ilustración 3. Esquema foso (16).

4.4.1.3. Extracción de los residuos del foso

Cuando los residuos han sido mezclados y quedan de manera uniforme dentro del foso se realiza la extracción de los mismos mediante el uso de un puente grúa con cuchara.

Por medio del puente grúa se suministra los residuos a las tolvas de los hornos, se conserva libre las zonas utilizadas para la descarga de los camiones y se mezcla y homogeneiza los residuos del foso.

Dentro de las plantas de incineración siempre se busca la máxima uniformidad posible ya que esto ofrece un funcionamiento más estable.

4.4.2. Proceso de incineración

En el proceso de la incineración de residuos la combustión puede generarse en suspensión, en una parrilla o sobre un lecho fijo. En este proyecto se ha decidido el uso de parrillas ya que son las más adecuadas para residuos grandes y heterogéneos.

Además, las parrillas permiten el flujo del aire de combustión a través de ellas hasta llegar a los residuos.

4.4.2.1. Tipos de parrillas

A continuación, se explica brevemente los tipos más destacados.

Parrilla de balancines

Este tipo de parrillas realizan un movimiento ascendente y descendente generado por el giro de su eje horizontal de forma que los residuos se agitan y avanzan. A la vez que los residuos se van desplazando se produce a través de las aberturas de las rejillas la incursión del aire primario de la combustión.

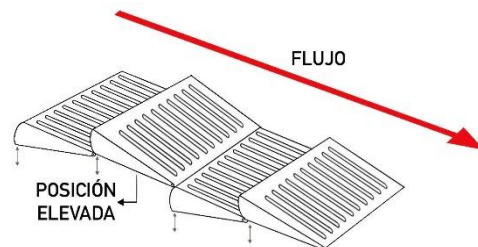


Ilustración 4. Representación parrilla de balancines (16).

Parrillas fijas y móviles

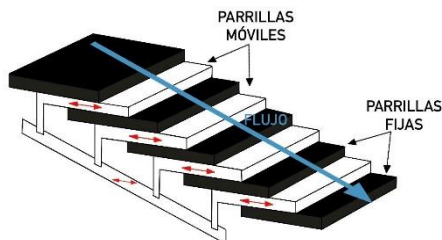


Ilustración 5. Representación parrillas fijas y móviles (16).

Se trata de una serie de parrillas situadas horizontalmente y que intercala parrillas fijas y móviles. Estas se colocan una sobre otras formando una especie de escalera.

Su funcionamiento es muy simple. Las parrillas móviles se encuentran unidas entre sí por una placa cuya única función es la de mantener dichas parrillas unidas para que se desplacen simultáneamente y horizontalmente. Mientras

se desarrolla dicho movimiento se genera el empuje de los residuos generando así la agitación y el desplazamiento deseado. En este modelo el aire primario de Inmaculada Concepción Campins Benítez. Transformación y valorización energética de los residuos urbanos.

la combustión será incorporado a través de un chorro de forma paralela a las parrillas.

Sistema Martín

Este sistema de parrillas es similar al anterior, pero en este caso existen parrillas fijas y otras encargadas de vibrar. Además, en este sistema el aire primario procedente de la combustión circula a través de las parrillas, no es necesario incorporar ningún chorro.

Parrilla de rodillos (TNEE)

Este modelo se compone de cilindros iguales y colocados paralelos entre sí con una pendiente de entre 20 y 30 °.

En este sistema el aire primario se inyecta a través de los cilindros.

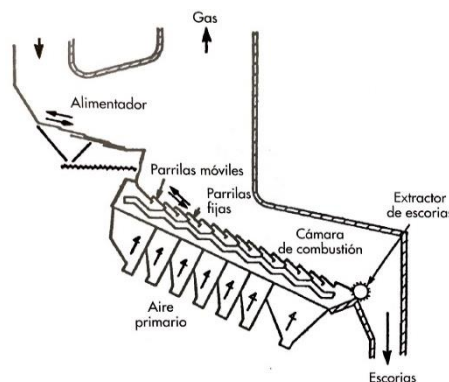


Ilustración 6. Representación sistema Martín (16).

4.4.2.2. Tipos de incineradores

Los incineradores se pueden clasificar según la naturaleza física de los residuos más usuales como:

Clase	Naturaleza física de los residuos	Residuos típicos	Particularidades de las emisiones gaseosas
I	Gas o líquido	-Aire contaminado con disolventes -Gas de vertedero -Venteo de tanques de hidrocarburos -Ciertos disolventes (cetonas)	Normalmente no se requiere tratamiento
II	Gas, líquido o sólido	-PCB -Pesticidas clorados -Gases no condensables H ₂ , SH ₂	Gases ácidos. Se deben lavar y neutralizar
III	Gas, líquido o sólido	-Nitratos orgánicos -Trinitrotolueno (TNT) -Ácido cianhídrico (CNH)	Presencia abundante de NO _x (Óxidos de Nitrógeno)
IV	Gas o líquido	-Sales orgánicas -Aguas saladas (CINa, NO ₃ Na, ...) -Residuos con catalizadores	Gases especiales
V	Sólidos	-Residuos infecciosos -Residuos industriales	Gases especiales. Partículas

Tabla 2. Tipos de incineradores según su naturaleza física (16).

Inmaculada Concepción Campins Benítez. Transformación y valorización energética de los residuos urbanos.

En este proyecto se explicarán los correspondientes a las clases II, III y V ya que son los aplicados en residuos sólidos.

Incineradores clase II

Como se indica en la tabla anterior, este modelo de incineradores puede trabajar con residuos gaseosos, líquidos y sólidos. Este tipo permite la presencia de ácidos en los gases procedentes de los residuos y que posteriormente son emitidos al exterior. Estos gases es necesario que se traten y neutralicen antes de producir su emisión.

Al mismo tiempo pueden diferenciarse dos tipos:

- Tipo 1. En este tipo el sistema de incineración se compone de una cámara de combustión seguida de un enfriamiento de gases. Tras esto se colocará un lavador de gases, una chimenea de tiro forzado y junto a todo lo anterior irán instalados además los sistemas de control. Tanto la cámara de combustión como el lavador serán adecuados para su tarea. Siendo la cámara prevista de un recubrimiento refractario y el lavador resistente a los ácidos. A esto se debe añadir un sistema de seguridad que impida que los gases puedan acceder a altas temperaturas en los tanques de tratamiento. Normalmente se suele trabajar con temperaturas altas, aunque estas dependen principalmente de los residuos que se traten.
- Tipo 2. Cuando se emplean residuos con un alto PCI cabe la posibilidad de usar instalaciones de recuperación de calor, como puede ser el uso de calderas de vapor. En los casos en los que se emplean calderas se suele colocar tras esta una torre compuesta por una zona de lavado seguida de una zona de enfriamiento.

Incineradores clase III

Al igual que los incineradores de clase II estos se pueden emplear en residuos sólidos, líquidos y gaseosos. Este modelo de incineradores se aplica cuando se producen grandes cantidades de NO_x en la combustión. El primer motivo por el que se forma NO_x es la reacción entre el nitrógeno perteneciente a los residuos y el oxígeno del comburente, el segundo es la alta temperatura. Al estar trabajando a altas temperaturas y durante tiempos prolongados todo el nitrógeno que se presenta en forma de óxidos de nitrógeno se emite en forma de NO₂.

Al igual que ocurría en la clase anterior existen varios tipos:

- Tipo 1. Este modelo está provisto de una cámara de combustión equipada con un quemador de baja emisión de NO_x. Tras esto iría colocada una chimenea de tiro forzado y junto a esto los sistemas de control.
- Tipo 2. Este tipo es fundamentalmente igual que el anterior, pero habría que añadirle un intercambiador de calor situado a la salida de los gases, suele tratarse de una caldera.

- Tipo 3. Este modelo es similar al anterior, aunque se emplea cuando la producción de NOx es muy elevada. Para atenuar el problema de los gases se instala una segunda cámara de combustión a la cual acceden los gases de salida de la primera una vez han sido enfriados.
- Tipo 4. En este sistema los NOx que se puedan producir se transforman en nitrógeno molecular a través del CO y H₂ generados en una atmósfera reductora. Una porción del aire de combustión se añade mientras se produce el enfriamiento y en la segunda cámara de combustión (cámara de reoxidación) para quitar el CO y el H₂ sobrantes.

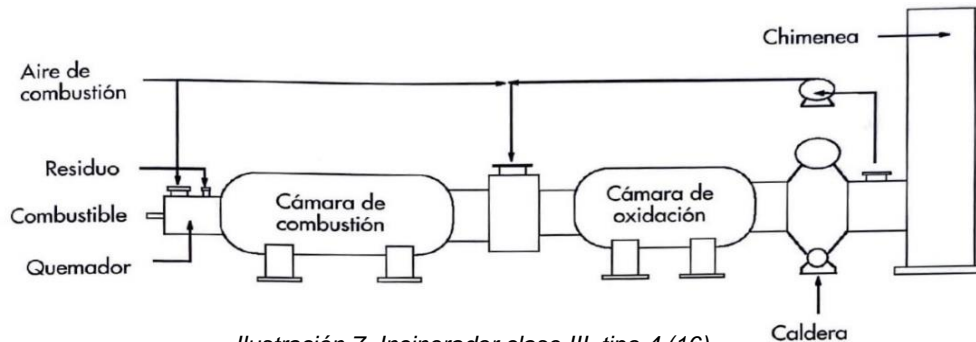


Ilustración 7. Incinerador clase III, tipo 4 (16).

Tras la reoxidación los gases se dirigen a la caldera donde se aprovechan parte de ellos. Finalmente, los gases son evacuados a través de una chimenea.

Incinerado clase V

Esta clase de incineradores fueron creados para deshacerse de los residuos sólidos. Está formado por un primer reactor en el que se vaporiza y gasifica el residuo y un segundo que se encarga de obtener la temperatura necesaria para eliminar los residuos con la ayuda de un quemador.

Como en las anteriores clases podemos diferenciar varios tipos:

- Tipo 1. Este modelo se compone de una cámara de combustión en la cual se halla un quemador encargado de empezar la combustión, compuertas para eliminar las cenizas y un canal que se comunica con la cámara de postcombustión. En esta última cámara reside un quemador para la postcombustión, una chimenea para evacuar los gases y los sistemas de control.

La primera cámara produce unos gases con temperaturas entre 750 y 900 °C. Además, se ha diseñado para que los gases circulen con baja velocidad, de esta forma disminuye el arrastre de las partículas sólidas. En la segunda cámara (o de postcombustión) se añade aire y se produce la oxidación de todos los inquemados.

- Tipo 2. Este tipo es semejante al anterior, solo que la primera cámara es de mucho mayor tamaño y, además, se coloca en pendiente para que resulte más sencilla la eliminación de las cenizas. Dicha pendiente no será necesariamente muy acusada ya que este tipo de incineradora permite una alta producción lo que implica un mayor empuje de las cenizas. El aumento de tamaño posibilita una mejor distribución del aire, una mejor calidad de combustión y una recuperación del calor.

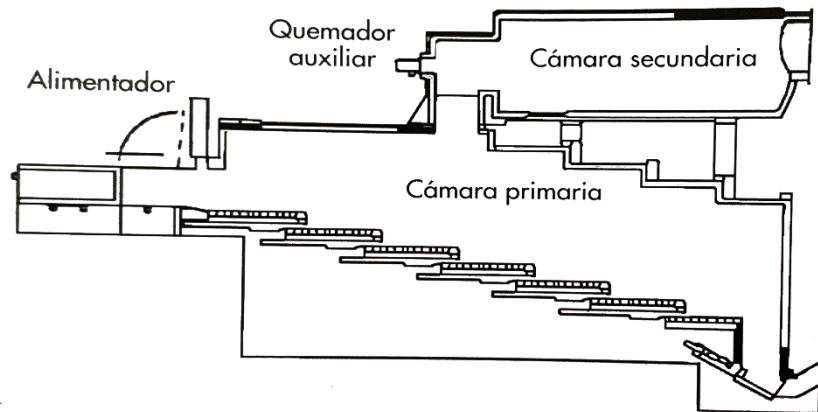


Ilustración 8. Esquema de incinerador clase V, tipo 2 (16).

4.4.2.3. La combustión en una incineradora de RSU

Las unidades incineradoras suelen estar diseñadas para trabajar completamente cargada, aunque el sistema acepta sobrecargas puntuales de hasta un 110 % sin perder calidad en la incineración.

El sistema que se decida usar para el proceso buscará que se puedan mover adecuadamente los residuos con el fin de favorecer la entrada de aire para la combustión. Además, los sistemas actuales cuentan con componentes electrónicos que controlan los parámetros relativos a la combustión.

Por otra parte, los hornos encargados de realizar la combustión cuentan con quemadores auxiliares para tareas puntuales como el encendido de los hornos hasta la temperatura deseada, regular de la producción de vapor, etc.

En este tipo de plantas incineradoras el horno se enfría usando los tubos de la caldera, es decir, están integrados.

A la hora de diseñar un horno se deben de tener en cuenta los siguientes requisitos:

- La combustión de los residuos se inicia a través del calor que recibe de los gases calientes y de las paredes radiantes.
- Se debe realizar la incineración sin acumulación de las cenizas en las paredes del horno.
- Se instalarán ventiladores de aire primario y aire secundario (aire inyectado para complementar al primario). Los ventiladores se dispondrán de forma independiente para así adecuar el caudal.

- La mezcla de los gases de combustión es fuerte debido al empleo de los ventiladores comentados previamente. Esto se realiza de esta forma con el fin de prevenir así la corrosión y la suciedad que pudiese producirse en las áreas encargadas de transmitir el calor.
- Tiene que haber un precalentador de aire con vapor para asegurar el secado de los residuos.

4.4.2.4. Abastecimiento de aire de combustión

A la hora de suministrar el aire para el proceso de combustión se emplean dos sistemas. Uno de los sistemas empleado para el aire primario y otro para el aire secundario. Entre ambos sistemas deben ser capaces de abastecer aire por encima de la exigencia requerida para combustión.

Como se mencionó anteriormente, el aire primario es introducido junto al combustible. Este aire se toma de la zona superior del foso de residuos y al ser aspirado sirve de ayuda para conservar unas buenas condiciones en las zonas de trabajo de descarga de residuos.

La parrilla donde se realiza la combustión se alimenta en varias de sus secciones de aire primario con un caudal controlado.

Respecto al sistema de aire secundario, este toma el aire del ambiente por medio de un ventilador y lo suministra a una alta velocidad en la parte superior del horno. La idea de aportar el aire a dicha velocidad es que se generen turbulencias en búsqueda de realizar una combustión íntegra.

Como norma general el aire secundario no se calienta. Sin embargo, el aire primario sí que sufre un calentamiento por parte de un precalentador.

4.4.2.5. Control de la incineración

Se instalará un mecanismo de control de la combustión con el fin de verificar que se mantienen los siguientes indicadores:

- Nivel de oxígeno. Para que la combustión se realice homogéneamente el nivel de oxígeno debe ser constante.
- Velocidad de liberación de calor. Para que la caldera tenga un caudal lo más uniforme posible se debe expulsar el calor en el horno lo más constante posible.
- Evitar la corrosión. Para que no ocurra corrosión las condiciones del horno y de la caldera deberán ser estables.

Con este sistema de control lo que se busca es asegurar una correcta combustión mediante la variación de los parámetros nombrados y posterior comprobación de los resultados obtenidos.

4.4.2.6. Proceso de extracción de escorias

Una vez ha sido realizada la incineración de los residuos es necesario extraer la escoria resultante del proceso. Para ello se recoge los residuos generados durante la combustión a través de un conducto con pendiente que desemboca en un recipiente previsto para ello. Además, el recipiente se encontrará lleno de agua por lo que a medida que caen los residuos se irán enfriando.

Al entrar en contacto los residuos con el agua se producirá una evaporación de esta por lo que se instalará un sensor que mida el nivel de agua y accione una válvula cuando se encuentre por debajo del nivel deseado. Por otro lado, el vapor de agua que se genera pasará al horno.

Dentro del recipiente de agua suele encontrarse un cilindro hidráulico que se encarga de empujar las escorias a través de un conducto de acero. De esta forma la escoria sale con la humedad necesaria para no generar emisiones de polvos.

4.4.2.7. Tratamiento de las escorias

Una vez que las escorias han sido recogidas es necesario realizar una separación entre metales y escorias. Esto se realiza a través de un separador magnético y tras esto se realiza una criba vibrante.

Finalmente es usual que se encuentre instalada una prensa de chatarra para preparar balas y ahorrar tanto espacio para el almacenamiento como para el transporte.

4.4.3. Elementos y funcionamiento de los sistemas de recuperación energética

De la incineración se transmite calor por parte del horno. Este calor se aprovecha para producir vapor sobrecalentado en la caldera. La caldera realiza en estos casos un par de acciones interconectadas. La primera se trata de enfriar los gases generados durante la combustión y, la segunda, relacionada con la transmisión de calor de los gases a un líquido, suele ser agua. Este líquido al absorber el calor pasa a ser vapor dentro de la propia caldera.

Para diseñar la caldera adecuada se deberán tener en cuenta las características exigidas por el vapor. Estas características necesarias (presión y temperatura) vendrán definidas por las estipulaciones energéticas y las restricciones operativas locales.

A su vez, debe considerarse las características del gas de combustión (ensuciamiento, potenciales de corrosión y erosión). Estas particularidades dependen en gran medida del contenido de los residuos. Puede ocurrir que existan altas concentraciones de sustancias corrosivas en el gas. Si esto ocurre las técnicas de recuperación de energía se ven afectadas puesto que habría que evaluar nuevamente cual sería la más óptima. Ya que si los elementos son muy

corrosivos la caldera podría sufrir altos niveles de corrosión. Para evitar eso podría recurrirse a la disminución de las presiones de vapor para estos residuos. Usualmente los sistemas de recuperación de calor suelen estar compuestos por:

- Zona radiante. Se transfiere el calor por radiación proveniente de la zona del horno donde se sitúa la llama.
- Zona convectiva. En esta zona se encuentran los tubos provenientes de la caldera situados perpendicularmente a la dirección del flujo. En esta sección se produce vapor saturado y se recupera gran parte del calor disponible.
- Zona del economizador. Esta sección se sitúa tras la zona convectiva. En esta área se trabaja generalmente a una temperatura inferior para elevar la temperatura del agua que servirá posteriormente para abastecer la caldera hasta aproximadamente el punto de ebullición.
- Zona del sobrecalentador. Esta área se emplea para calentar de forma suplementaria al vapor generado en la zona de convección del horno. Se puede situar tras la zona convectiva o antes de esta. Se decidirá su posición dependiendo del flujo de masa y la cantidad de energía que se busque eliminar de la corriente de gas.

En las incineradoras de residuos es habitual la presencia de altos niveles de polvo en los gases de combustión. La presencia de estas cenizas genera un riesgo puesto que producen una elevada contaminación de las superficies encargadas de realizar la transferencia de calor. En consecuencia, se obtendrá un menor rendimiento de la transferencia de calor. Debido a este motivo resulta indispensable mantener dicha superficie siempre lo mejor limpia posible. La limpieza podrá realizarse tanto de forma automática como manual. Se realiza mediante aire comprimido, chorros de agua, con agitadores u ondas de ultrasonido, entre otras.

4.4.4. Tipos de caldera

Los más comunes son:

- Piro-tubulares. Los gases calientes pasan por dentro de los tubos y mientras estos están sumergidos en agua.
- Acuotubulares. Actúa de la forma opuesta a la nombrada previamente. En este caso es el agua quien transita por el interior de los tubos y los gases o vapores quien lo hacen por el exterior. Además, este modelo se puede emplear de forma vertical, horizontal o con distintas mezclas.

Lo más usual es emplear calderas acuotubulares como calderas de recuperación en plantas de incineración puesto que proporcionan niveles de potencia más elevados y permiten trabajar a temperaturas mayores.

Estas calderas se dividen en tres partes importantes, según su orden de paso sería:

- Sobrecalentador o recalentador. Es quien se encarga de aumentar la temperatura del vapor de agua.
- Evaporador. Aquí es donde el agua pasa de estado líquido a vapor de agua por lo que se considera la parte principal de la caldera.
- Economizador. Se trata de la parte final de la caldera. En esta zona se produce la transmisión de calor de los gases al agua para elevar la temperatura de esta.

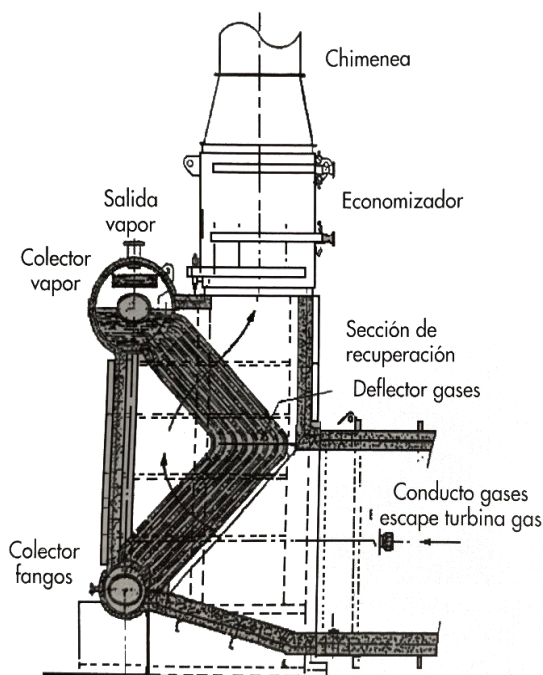


Ilustración 9. Esquema de una caldera de recuperación para una incineradora (16).

Actualmente se emplean calderas de recuperación que incorporan el área de convección en horizontal puesto que de esta forma resulta más sencillo su mantenimiento.

Con el fin de evitar que los gases arrastren partículas y erosionen los tubos con ellas se usa una velocidad baja de los gases en su circulación. Esta velocidad deberá encontrarse entre 3 y 6 m/s. Respecto a la circulación del agua esta se realiza de forma natural, circula desde la zona superior, donde se condensa el vapor, hasta la zona inferior.

La zona donde se produce el intercambio de calor por convección siempre será en zonas con temperaturas por debajo de 650° y debe de existir separación entre los ejes de los tubos para evitar que se acumule la ceniza y estas impidan el paso.

Por otro lado, la parte convectiva de la caldera, situada de forma horizontal como se explicó previamente, cuenta con un sistema de golpeo que garantiza su funcionamiento durante periodos largos de tiempo sin necesidad de parar la caldera ni el horno para su limpieza.

4.4.5. Utilidades de la energía recuperada

Las aplicaciones fundamentales que se utilizan de la energía traspasada a la caldera son:

Inmaculada Concepción Campins Benítez. Transformación y valorización energética de los residuos urbanos.

- Generación y suministro de agua caliente, tanto en forma de vapor como agua caliente.
- Generación y suministro de electricidad.
- Mezcla de los dos anteriores.

Usualmente tanto el vapor como el calor se emplea para sistemas de calefacción, para procesos industriales y, a veces, como sistema de refrigeración y aire acondicionado.

Por otro lado, la electricidad se provee tanto a la red de distribución nacional como para utilización propia en la instalación.

4.4.5.1. Generación y suministro de electricidad

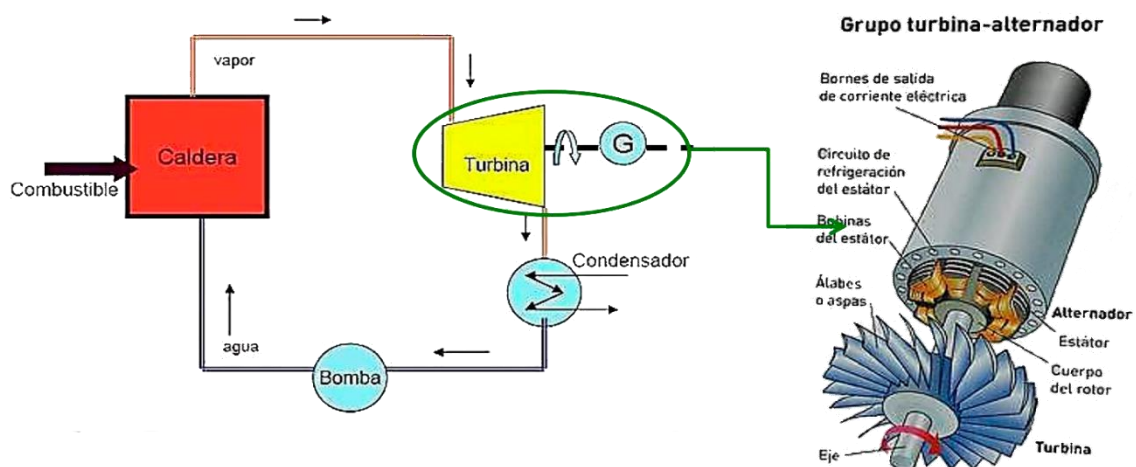


Ilustración 10. Esquema de una central eléctrica convencional y del grupo turbina-alternador (36).

Una vez que el vapor abandona la caldera este pasa a circular a través de una o varias turbinas de vapor.

Las turbinas son máquinas motoras; es decir, consumen energía a la vez que generan trabajo. En este caso se tratan de turbinas de vapor las cuales son accionadas por la presión ejercida por parte del vapor sobre la tobera y los álabes. La turbina consta de un estátor, compuesto de álabes guías fijos, seguido de un rotor, formado una corona de álabes móviles. De esta forma, el vapor ingresa a la turbina por el estátor y es dirigido por los álabes fijos hacia el rotor. El movimiento generado en el rotor se trasmite sobre el eje en el que se encuentra unido. Esta energía mecánica se transforma en energía eléctrica gracias al alternador.

El alternador consta de dos partes. La primera hace referencia a un rotor (parte móvil) y la segunda a un estátor (parte fija). El rotor lo forman una serie de bobinas eléctricas a través de la cual circula corriente eléctrica continua, generando un campo magnético rotatorio. El rotor se halla conectado al mismo eje que el rotor de la turbina lo que produce su movimiento en el interior del estátor. De esta forma se induce en el estátor la denominada fuerza

electromotriz. Esta a su vez genera una corriente eléctrica alterna la cual puede distribuirse para usarla en la propia instalación o transportarse a las centrales eléctricas.

4.5. Biomasa

Otro modo de proporcionar una valorización a los residuos es a través de la biomasa. Acorde a la Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, se define biomasa como (17): “la fracción biodegradable de los productos, residuos y desechos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal, de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos, incluidos los residuos industriales y municipales de origen biológico”.

Mediante el uso de la biomasa se puede producir energía para calefacción, refrigeración, generación de electricidad, etc.

Para obtener energía eléctrica proveniente de la biomasa es necesario tener presente los complejos procesos que se precisan puesto que la biomasa cuenta con un bajo poder calorífico y un alto porcentaje de humedad. Por estos motivos son necesarias centrales particularmente diseñadas para biomasa. Este tipo de centrales cuentan con calderas y hornos de mayor tamaño que cualquier otra central encargada de producir energía mediante el uso de combustibles convencionales.

La biomasa puede transformarse en calor o electricidad a través de varios procesos. Se puede diferenciar principalmente dos grupos: procesos termoquímicos y procesos bioquímicos.

4.5.1. Procesos termoquímicos

De este tipo de procesos se obtienen productos volátiles como gases y vapores condensables y productos sólidos. Dentro de este grupo de procesos se encuentran la pirólisis, la gasificación y la combustión.

4.5.1.1. Pirólisis

A través de este proceso las moléculas hidrocarbonadas (cadena de átomos de carbono unidos entre sí y estos a su vez unidos a átomos de hidrógeno) de la biomasa pasan a formar moléculas más sencillas y de menor tamaño. Esto ocasiona la generación de tres productos: gases no condensables (producto gaseoso), una mezcla de hidrocarburos condensables (producto líquido) y un residuo negro de carbón (producto sólido). Acorde a la temperatura y velocidad a la que se realice el proceso de pirólisis se obtendrá una cantidad y composición de estos productos u otra.

Inmaculada Concepción Campins Benítez. Transformación y valorización energética de los residuos urbanos.

El producto líquido resultante tras la pirólisis es un fluido negro alquitranado que cuenta con hasta un 20 % de agua.

El producto sólido se compone generalmente por carbono y ceniza inorgánica de la biomasa.

El producto gaseoso se compone de gases como el dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, etano y etileno.

Respecto a la pirólisis, esta se considera como una etapa previa a la gasificación. Suele ser un proceso rápido sobre todo si se tratan de reactores bien mezclados.

El producto esencial que se obtiene de la pirólisis es el carbón vegetal. Este carbón se emplea como combustible sólido y al ser ligero permite un transporte mucho más sencillo que la biomasa original. Además, se debe tener en cuenta que su poder calorífico también es superior al de la biomasa.

4.5.1.2. Gasificación

A través de este proceso se realiza una transformación de la biomasa obteniéndose un gas combustible con poder calorífico.

Mientras que para la pirólisis tener un medio de reacción es innecesario, ya que acontece en un medio inerte o en vacío, para la gasificación se precisa de un agente gasificante (vapor de agua, aire u oxígeno). En este caso se necesita un agente gasificante para que se encargue de la reordenación de la estructura molecular de la biomasa para así transformar la biomasa sólida en gases combustibles.

El proceso de gasificación suele efectuarse a temperaturas elevadas, normalmente superiores a los 800 °C, obteniéndose como resultado un gas combustible constituido por dihidrógeno (H_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y algunas impurezas.

Tras esto se realiza una separación entre el gas combustible y las impurezas. De esta división se logra un gas formado en su mayoría de H_2 y CO que recibe el nombre de syngas o gas sintético.

Al introducir la biomasa en el gasificador se produce un proceso de secado y tras esto una pirólisis. Posteriormente ocurren las diversas reacciones entre los componentes presentes (agentes gasificantes, vapor de agua y productos sólidos, líquidos y gaseosos resultantes de la pirólisis).

Una vez realizada la gasificación se puede emplear el gas obtenido para generar energía térmica, para producir vapor en una caldera o si se acondiciona adecuadamente podría emplearse en un motor de combustión interna. Tanto de la caldera de vapor como del motor de combustión podría obtenerse energía eléctrica procedente de la energía mecánica, como se explicó en el caso de las plantas WTE.

4.5.1.3. Combustión de la biomasa

Consiste en una serie de reacciones químicas exotérmicas entre la biomasa (combustible) y el oxígeno (comburente). De este proceso se obtienen los gases de combustión (o productos gaseosos) y los productos sólidos (cenizas y componentes inquemados).

El proceso de la combustión puede dividirse generalmente en 4 fases o etapas básicas:

- Secado. Puesto que la biomasa puede contener elevados niveles de humedad es necesario en algunas ocasiones realizar un proceso de secado previo. Para ello, se comienza con la evaporación del agua superficial o externa y, posteriormente, se evapora la humedad interna.
- Pirólisis o desvolatilización. Una vez se obtiene una biomasa totalmente seca se realiza la descomposición térmica de dicha biomasa en compuestos condensables (como alquitranes) gases y residuos de carbono sólido.
- Combustión de los volátiles. Estos se componen de los compuestos condensables y los gases. Estos volátiles se oxidan y con ello producen una alta liberación de calor ya que, las reacciones de oxidación son muy exotérmicas. Gracias a ello se consigue una sostenibilidad en el proceso de combustión.
- Combustión de los residuos de carbono sólido. Se produce simultáneamente con la fase anterior, pero la combustión es aún más exotérmica.

Este proceso es el más empleado de los tres ya que posibilita su uso tanto para uso doméstico (cocción, calefacción) como industrial.

4.5.2. Procesos bioquímicos

Durante este proceso se realiza una descomposición de la biomasa producida por microorganismos. Por tanto, la transformación bioquímica sucede a través de transformaciones químicas y biológicas derivadas de procesos bioquímicos de microorganismos.

Usualmente se usan este tipo de procesos cuando se tiene biomasa con gran cantidad de humedad. Los procesos bioquímicos pueden separarse en dos: anaeróbicos y aeróbicos.

4.5.2.1. Digestión anaeróbica

En este proceso destaca la carencia de oxígeno. Durante su desarrollo se genera una mezcla de gases como resultado de la transformación de la biomasa. Esta mezcla de gases se denomina como biogás.

Inmaculada Concepción Campins Benítez. Transformación y valorización energética de los residuos urbanos.

Los microorganismos que efectúan este proceso suelen pertenecer a los residuos de forma natural y en su mayoría son bacterias. Por ende, en este proceso se pueden destacar un par de elementos destacables que son:

- Capacidad de depuración. Se posibilita la eliminación de un residuo reduciendo así su impacto ambiental. Asimismo, se produce durante el proceso lodo residual. Este lodo es en muchas ocasiones un magnífico abono orgánico.
- Capacidad de generar combustibles.

La digestión anaeróbica se produce en cuatro fases.

- Fase 1, hidrólisis. Esta fase se realiza de forma sencilla y se obtiene elementos de cadena más corta de las moléculas más largas de proteínas, lípidos e hidratos de carbono pertenecientes a la biomasa.
- Fase 2, acidogénesis. Durante esta etapa se desarrolla la transformación bacteriana de los compuestos obtenidos en la primera fase en compuestos intermedios con un peso molecular más pequeño.
- Fase 3, acetogénica. Está definida por un grupo de bacterias anaeróbicas. Estas bacterias aumentan rápidamente y no son muy sensibles a los cambios ambientales. Esto implica que el cambio producido de moléculas durante esta fase, principalmente en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, comience muy pronto.
- Fase 4, metanogénica. Se trata de la etapa más difícil. Esta etapa se genera, al igual que la fase anterior, por bacterias anaeróbicas, pero con un desarrollo más pausado y sensible a los cambios ambientales. Debido a estas características se trata de la fase más delicada y, además, restringe la velocidad de todo el proceso.

Lo que se busca con este tipo de digestiones es la obtención de un producto gaseoso (biogás) fundamentalmente formado por metano y dióxido de carbono.

4.5.2.2. Fermentación alcohólica

Este procedimiento se fundamenta en la transformación de los azúcares más sencillos en etanol (o alcohol etílico) y dióxido de carbono en presencia de microorganismos. Usualmente se realiza este proceso tomando en cuenta condiciones anaeróbicas.

De este procedimiento se obtienen dos productos destacables: el bioalcohol y una masa proteica. El bioalcohol se puede emplear como biocombustible (bioetanol) una vez ha sido purificado. Por otro lado, las levaduras generan una masa proteica muy útil para la fabricación de piensos.

Usualmente de este tipo de fermentaciones se obtiene un bioalcohol que cuenta con un porcentaje en volumen de entre 14 y 18 % de alcohol. A causa de esto, se necesita la realización de una purificación del bioalcohol para su aplicación

como biocombustible. Tras esta purificación se obtiene el bioetanol (un alcohol etílico de alta pureza), este se emplea actualmente en los combustibles para la fabricación de un aditivo antidetonante que sustituye a ciertas sustancias tóxicas o mezclado junto a la gasolina para mejorar las emisiones contaminantes generadas en la combustión.

4.5.3. Biocombustibles

Además de obtener energía también se obtienen elementos como los biocombustibles que ayudan a la valorización de la biomasa y al medioambiente.

Acorde a la Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (17) se entiende por biocombustibles o biocarburantes a: “los combustibles líquidos destinados al transporte y producidos a partir de biomasa”.

Los principales biocombustibles obtenidos de la biomasa son: el biodiésel, el bioetanol y el biogás. Igualmente se obtienen otros biocarburantes como el biometanol, el biobutanol o el biohidrógeno.

4.5.3.1. Introducción al biodiésel

Según la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (7) se define el biodiésel como: “éster metílico producido a partir de un aceite vegetal o animal de calidad similar al gasóleo, utilizado como biocarburante”.

Para la generación de biodiésel se usa principalmente aceites como materia prima. Para ello se emplean particularmente el aceite de colza, de girasol, de palma y de soja. Aunque realmente se podría emplear cualquier biomasa que tenga en su composición alguna grasa como los aceites de pescado, los aceites de frituras usados, la grasa de los animales, etc.

Para poder emplear este biocombustible en la automoción se necesita establecer procesos técnicos y económicamente viables teniendo en cuenta que tenga el menor impacto medioambiental posible y que tampoco interfiera en el sector alimenticio. A esto habría que sumarle la aplicación de materias primas que sean pertenecientes a la zona. Algunas materias primas principales son:

Aceites vegetales convencionales o tradicionales (1º generación)

Se consideran biocarburantes de primera generación a aquellos que se adquieren de los cultivos agrícolas empleados para la alimentación. Y de segunda generación a aquellos obtenidos fundamentalmente de biomasa vegetal pero que no procede de cultivos destinados a la alimentación.

Como se nombró previamente, las principales materias primas son:

Aceite de colza



Ilustración 11. Cultivo de colza (41).

Es una planta bien aclimatada a los ambientes fríos. Se cultiva a nivel mundial siendo Canadá, China e India los principales productores.

El aceite de colza está formado fundamentalmente por ácidos expuestos a continuación, pero antes es necesario conocer algunas definiciones para poder comprender dichos ácidos.

Ácido graso monoinsaturado. Acorde a la definición establecida en Wikipedia (18): “son aquellos ácidos grasos de cadena carbonada que poseen una sola insaturación en su estructura, es decir, poseen un solo doble enlace carbono-carbono (C=C)”.

Ácido graso poliinsaturado. Según la definición publicada en Wikipedia (19): “son ácidos grasos que poseen más de un doble enlace entre sus carbonos”.

A continuación, se exponen los ácidos que componen el aceite de colza.

- Ácido erúcico (C22:1). Es el ácido más presente dentro del aceite de colza formando entre el 45 y 54 % del mismo. Se trata de un ácido graso monoinsaturado compuesto por una cadena de 22 átomos de carbono.
- Ácido linoleico (C18:2). Ocupa entre el 10 y 19 % del aceite de colza. Y su composición se basa en un ácido graso poliinsaturado con una cadena de 18 átomos de carbono con dos dobles enlaces.
- Ácido linolénico (C18:3). Forma entre el 5 y 9 % del aceite de colza. Está formado por un ácido graso poliinsaturado con una cadena de 18 átomos de carbono con tres dobles enlaces.

Aceite de girasol



Ilustración 12. Cultivo de girasoles (42).

Este aceite proviene de una planta con buena capacidad de adaptación a climas cálidos o templados. Se produce mundialmente sobre todo en países como Rusia, Ucrania, Argentina e India.

Este aceite está formado por un 62 % de ácidos grasos poliinsaturados, 25 % de ácidos grasos monoinsaturados y 12 % de ácidos grasos saturados, es decir, sin doble enlaces de carbono.

Aceite de palma



Ilustración 13. Cultivo de palma (43).

Este cultivo es común en zonas que cuentan con climas tropicales. Mundialmente son cultivados principalmente en Malasia e Indonesia.

Su aceite se divide en dos tipos, el aceite palmítico procedente de la parte carnosa del fruto y el aceite láurico originario de la semilla de la palma.

Su estructura está formada en las mismas cantidades de ácidos tanto saturados como no saturados. Cerca del 40 % es de ácido oleico, 10 % de ácido linoleico, 44 % de ácido palmítico y un 5 % de ácido esteárico (ácido graso saturado de 18 átomos de carbono).

Además de estos aceites mencionados existen otras alternativas para la producción de biodiésel. Los aceites de fritura usados tienen un buen pronóstico a su favor ya que permite ahorrar el dinero empleado para el tratamiento de este aceite como residuo contaminante y no es necesario tener un cultivo para producirlo.

Otra opción son las microalgas ya que estas pueden crecer rápidamente. Aunque se necesitarían sistemas que tuviesen la capacidad de lograr altos rendimientos de biomasa y aceites.

4.5.3.2. Producción de biodiésel

Obtención de biodiésel a través de procesos químicos

En este caso el biodiésel se consigue a través de la reacción entre los triglicéridos (molécula de glicerol, un tipo de alcohol, unida a 3 moléculas de ácidos grasos) proveniente de los aceites vegetales o de las grasas animales, un alcohol en exceso y un catalizador, habitualmente hidróxido de sodio (NaOH). Dando como resultado de esta reacción el biodiésel y la glicerina como subproducto.

En general, los catalizadores son sustancias encargadas de modificar la velocidad de la reacción química sin interferir en el equilibrio de ella. Pueden acelerar la reacción si son positivos y desacelerarla si son negativos.

Para la obtención del biodiésel se puede realizar una catálisis homogénea o bien, una catálisis heterogénea.

➤ Catálisis homogénea

De acuerdo con el artículo de Verónica Pinos (20): “la catálisis homogénea se produce en una sola fase líquida o gaseosa; es decir, catalizador y reactivos se encuentran en la misma fase”.

Dentro de esta pueden ser:

Catálisis básica o alcalina: esta catálisis dispone de ventajas que hacen que se empleen en la industria de forma preferente. Dichas ventajas son:

1. Permite conseguir altas conversiones en condiciones moderadas.
2. Se trata de la producción más rápida.
3. Al no emplear catalizadores ácidos resulta menos corrosiva para los equipos.
4. Permite el empleo de reactores más pequeños ya que se necesita menos exceso de alcohol, por lo tanto, la inversión en reactores es menor.
5. El catalizador es más barato que los catalizadores ácidos.

A pesar de estas cualidades para poder obtener unos resultados adecuados se necesitará que los aceites o grasas provenientes de la materia prima dispongan de la menor cantidad de ácidos grasos libre, gomas e impurezas posibles. Esto se debe a que un alto contenido de ácidos grasos libres genera la inactivación del catalizador básico ya que este reaccionaría con dichos ácidos libres.

Catálisis ácida: al contrario que la catálisis básica la catálisis ácida permite trabajar con materias primas que contengan una alta cantidad de ácidos grasos libres. De hecho, los catalizadores ácidos se recomiendan en este tipo de materias primas.

El uso de este tipo de catalizadores también cuenta con una serie de inconvenientes. Entre ellos se encuentran el aumento del tiempo de reacción, el incremento de la concentración de catalizador o la temperatura para conseguir unas transformaciones adecuadas. También se debe tener en cuenta que al tratarse de un catalizador ácido el nivel de corrosividad de los equipos aumenta.

➤ Catálisis heterogénea

Según el artículo de Verónica Pinos (20) : “la catálisis heterogénea ocurre en sistemas de reacción polifásicos (varias fases), la reacción se produce en la interfase. El catalizador, generalmente, es un sólido y los reactivos gases o líquidos. Este tipo de catálisis tiene como ventaja el poder recuperar el catalizador pues al estar en una fase diferente a los reactivos, se le puede separar al final de la reacción con relativa facilidad. La catálisis heterogénea es la más utilizada en la industria”.

Para la producción de biodiésel se busca conseguir procesos más sencillos y medioambientalmente sostenibles a través del empleo de catalizadores heterogéneos. Esto se debe a que:

- Se puede reutilizar el catalizador. Al tratarse de un catalizador sólido se pueden separar de los productos de forma sencilla mediante cualquier proceso destinado a la separación de fases líquido-sólido.
- Se produce una disminución de tratamiento de aguas residuales. Esto se debe a que al realizar una separación del catalizador respecto del medio de la reacción se reducen las etapas de lavado.

Inmaculada Concepción Campins Benítez. Transformación y valorización energética de los residuos urbanos.

- Los resultados de la reacción son de alta calidad. Como se ha expuesto previamente los resultados de la reacción son el biodiésel y la glicerina. Al ser ambos de buena calidad resulta sencillo cumplir con los requisitos establecidos para su comercialización.

4.5.3.3. Introducción al bioetanol

Acorde a la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (7) se define bioetanol como: “el etanol producido a partir de la biomasa”.

Queda mejor definido en el libro energía de la biomasa y biocombustibles (21) siendo su definición la siguiente: “Bioetanol es el alcohol etílico o etanol (C_2H_5OH) que ha sido obtenido a partir de materias primas ricas en azúcares (remolacha, caña de azúcar, etc.), en almidón (algunos cereales) o de biomasa de carácter lignocelulósico por fermentación y posterior destilación para su aprovechamiento energético”.

En general el bioetanol puede ser anhidro si tiene cerca de un 0,5 % de agua o hidratado si este porcentaje está próximo al 5 %.

Por otro lado, el bioetanol se puede emplear como combustibles en motores que accionen el encendido mediante chispa o de ciclo Otto. Para ello se encuentran dos vías:

- Vía directa. El bioetanol actúa directamente como único combustible o se mezcla en determinadas proporciones con gasolina para su uso en los motores.
- Vía indirecta. Se emplea como aditivo de la gasolina. Para que esto ocurra se transforma el bioetanol en Etil Tert-Butil Éter (bio-ETBE) que reemplaza al Metil Tert-Nutil Éter (MTBE) que previamente sustituía al tetraetilo de plomo, este último se sustituyó debido a que era inmensamente contaminante. Además, al emplear aditivos como bioetanol permite lograr la mejora de la combustión de la gasolina a la vez que disminuye las emisiones contaminantes.

Puesto que el bioetanol se trata de un combustible proveniente de la biomasa se considera un combustible renovable. Además, a diferencia de los combustibles fósiles el bioetanol es una fuente ilimitada.

Por otro lado, al emplear gasolina mezclada con bioetanol se colabora a la disminución de la contaminación. De hecho, empleando una mezcla E10 (10 % de etanol) se disminuye en torno a un 25 % de las emisiones de CO frente a la gasolina pura y próximo al 4 % de emisiones de gases de efecto invernadero. Debido a esto deportes de motor como la fórmula 1 van añadiendo cada vez más porcentaje de etanol a sus combustibles.

Como se ha comentado en la vía indirecta, el bioetanol al transformarse en ETBE sustituye al MTBE y, en consecuencia, al tetraetilo de plomo. Gracias a esto se evitan posibles contaminaciones de aguas tanto superficiales como subterráneas.

Además de estas ventajas medioambientales también dispone de algunas ventajas técnicas en su uso en los combustibles. Estas ventajas son:

- Al usar bioetanol se ayuda al arranque de los vehículos en climas fríos ya que este tiene propiedades anticongelantes.
- El etanol ofrece menos resistencia a la detonación que la gasolina y, además, proporciona una mejor combustión cuando se tiene altas relaciones de compresión.

En entre otras cosas, el empleo de bioetanol ayuda a obtener un autoabastecimiento de combustible lo que implica una menor dependencia de suministros petrolíferos del resto de países.

A pesar de todos los beneficios que ofrece el bioetanol también existen algunas desventajas.

Primeramente, el bioetanol actualmente cuenta con un alto coste de producción.

Por otro lado, su uso hace ascender los niveles de emisiones de óxidos de nitrógeno durante su combustión.

Además, si quisiese emplearse el etanol como combustible puro sería necesario transformar los motores de forma que la relación de compresión aumentase y también sería necesario modificar la relación de la mezcla combustible/aire empleada.

Respecto a las materias primas empleadas para la obtención de bioetanol se podría hablar de tres grupos fundamentales:

- Cultivos azucarados. Este grupo se compone de materia prima la cual contiene los hidratos de carbono como monosacáridos (glucosa, fructosa) o disacáridos (sacarosa). Son un ejemplo de ello la remolacha, la caña de azúcar o los zumos de frutas.
- Cultivos amiláceos. Destacan los cereales ricos en almidón como pueden ser el trigo, la cebada o el centeno. También serían un ejemplo los tubérculos con alto porcentaje de almidón como las patatas o boniatos.
- Cultivos lignocelulósicos. Se trata de aquellos materiales compuestos principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina.

4.5.3.4. Producción de bioetanol

Para producir bioetanol se parte de materia prima rica en carbohidratos ya que estos hidratos fermentan con el efecto de levaduras generando fundamentalmente etanol a la vez que desprende CO₂ y calor. De esta Inmaculada Concepción Campins Benítez. Transformación y valorización energética de los residuos urbanos.

fermentación se obtiene como beneficio dos productos básicos. Estos productos son una disolución acuosa de etanol y una masa proteica que se emplea para los piensos.

Para realizar una fermentación adecuada se precisa de un ambiente en el que los microorganismos puedan crecer y reproducirse mientras acaban con los sustratos. Como resultado de esto se obtiene una biomasa microbiana.

La obtención de etanol partiendo del azúcar se realiza mediante la llamada glucólisis. Acorde con un artículo publicado en la web del Instituto Nacional del Cáncer (22) queda definida la glucólisis como: “proceso en el cual las células, en las reacciones enzimáticas que no necesitan oxígeno, descomponen parcialmente la glucosa (azúcar). La glucólisis es uno de los métodos que usan las células para producir energía. Cuando la glucólisis se vincula con otras reacciones enzimáticas que usan oxígeno, se posibilita una descomposición más completa de la glucosa y se produce más energía”.

Durante este proceso se deben ir evaluando y controlando fundamentalmente los siguientes parámetros:

- Temperatura. Se debe considerar la temperatura óptima para el crecimiento de los microorganismos. Además, también se deberá disponer de un sistema adecuado para la refrigeración que permita mantener dicha temperatura. Esto se debe a que durante el proceso de fermentación se libera calor.
- Nutrientes. Es un factor clave para el correcto crecimiento microbiano. Si no existen los nutrientes que requieren los microorganismos estos no realizarán una fermentación adecuada.

4.5.3.5. Introducción al biogás

Según la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (7) se define biogás como: “combustible gaseoso producido a partir de la biomasa y/o a partir de la fracción biodegradable de los residuos y que puede ser purificado hasta alcanzar una calidad similar a la del gas natural, para uso como biocarburante, o gas de madera”.

El biogás está compuesto en términos generales de metano (CH_4), y dióxido de carbono (CO_2).

El biogás tiene un amplio campo de aplicaciones pudiendo ser materia prima de otros compuestos químicos y combustible para muchos otros casos. Este se puede emplear en los casos en los que se utilice gas natural siempre y cuando primero exista un proceso de purificación. Algunas de sus aplicaciones son:

- Generación de vapor y calor. En los países que cuentan con el desarrollo necesario generan calor para la cocina en plantas de pequeño tamaño.

Para poder emplear los quemadores convencionales se realiza una sencilla configuración de relación entre combustible y aire.

- Generación de electricidad. Para este caso lo más empleado es la combustión del biogás mediante el uso de motores de combustión interna alternativa. También se pueden emplear turbinas de gas o microturbinas.
- Combustible para vehículos. En este caso se precisa de una purificación previa del biogás hasta obtener una calidad similar a la del gas natural. A la hora de transportar el biogás existen dos opciones:
 - Biogás comprimido (BGC). Se realiza a temperatura ambiente y a 200 kg/cm² de presión. Se utilizan sobre todo en vehículos ligeros.
 - Biogás Licuado (BGL). Se realiza a -160 °C. Se usa tanto en vehículos ligeros como pesados.

Las materias primas fundamentales son:

- Residuos ganaderos. Comprende desde restos de alimentos hasta pelos o plumas de animales. Usualmente se tratan estos residuos mediante el uso de una digestión anaeróbica.
- Lodos producto del tratamiento de aguas residuales urbanas.
- Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU). Para usar estas fracciones para la producción de biogás se necesita obtener una alta pureza de estos residuos ya que de no ser así la planta no tendría un correcto funcionamiento.
- Residuos agrícolas y residuos orgánicos de la industria agroalimentaria.

4.5.3.6. Producción de biogás

Antes de comenzar con los diferentes procesos y tecnología disponible para obtener el biogás se precisa tener una idea general de cómo es el funcionamiento de la digestión anaeróbica.

La digestión anaeróbica o biometanización queda definida resumidamente como el proceso biológico a través del cual se produce la fermentación de los residuos orgánicos. Al hablar de la biometanización de RSU se pueden destacar tres etapas principales.

- Etapa 1. Se separa y prepara la fracción orgánica perteneciente a los RSU.
- Etapa 2. Es aquí donde se realiza la incorporación de agua y nutrientes, se ajusta la temperatura y el pH. En esta etapa ocurre la digestión anaeróbica en los digestores acondicionados para ello.
- Etapa 3. Una vez transcurre el proceso y se genera el biogás se procede a la captura y almacenamiento del mismo. A su vez se realiza la deshidratación de los fangos y se retiran estos fangos del digestor.

Según su régimen de operación pueden ser:

Inmaculada Concepción Campins Benítez. Transformación y valorización energética de los residuos urbanos.

- Régimen discontinuo, en este tipo de régimen la biomasa se encuentra suspendida.
- Régimen continuo, en este tipo de régimen la biomasa puede estar suspendida, adherida o ser de sistemas múltiples.

A continuación, se explicarán algunos tipos de digestores existentes y relativos a los regímenes.

Digestor discontinuo de mezcla perfecta

Sus propiedades fundamentales son:

- Como su nombre indica se trata de un reactor accionado por ciclos, es decir, funciona con un régimen discontinuo.
- La concentración es uniforme tanto para el sustrato como para los microorganismos.
- Al tratarse de un régimen discontinuo la biomasa se encuentra suspendida lo que implica que al vaciar el reactor los microorganismos son expulsados junto al lodo que ha sido previamente digerido.

Dentro de este digestor se encuentra un sistema que sirve como agitador.

Este tipo de digestores son los sencillos y baratos. Se usa principalmente cuando se dispone de una gran cantidad de residuos sólidos (>200 g/L).

El suministro de sustrato se realiza de manera discontinua lo que genera que sea necesario vaciar el digestor por completo una vez finaliza la fermentación y tras esto volver a reponer el sustrato.

Digestor continuo de mezcla perfecta

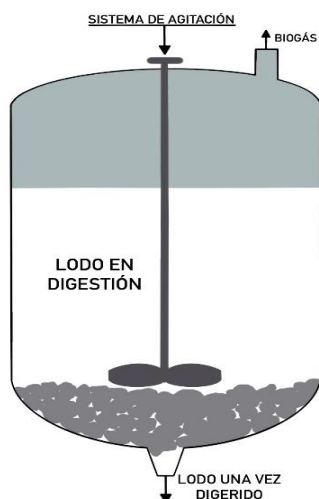


Ilustración 14. Digestor continuo de mezcla perfecta (21).

Este reactor es muy similar anterior, siendo su diferencia más significativa el hecho de funcionar de manera continua.

Se trata de reactores sencillos y relativamente baratos. Aunque sus producciones de gas son bajas debido a que la biomasa anaeróbica, es decir, activa es limitada.

Digestor de contacto (proceso anaeróbico de contacto, PAC)

Este tipo de digestor es similar al empleado en el tratamiento de aguas residuales. El digestor tipo PAC se compone de un reactor anaeróbico, en él se encuentra el cultivo suspendido, seguido de un desgasificador para terminar con un sistema

encargado de realizar la separación de los residuos sólidos. Tras estos se vuelven a introducir los microorganismos dentro del sistema.

Se emplea un desgasificador entre el reactor y sistema de separación para extraer las posibles burbujas de biogás que pudiesen encontrarse adheridas al lodo.

Se utiliza este tipo de digestores cuando se trabaja con influentes (residuos que alimentan el digestor) que cuentan con una carga orgánica elevada como las aguas residuales de azucareras, cerveceras, etc. Y para influentes que contienen una alta carga de sólidos suspendidos.

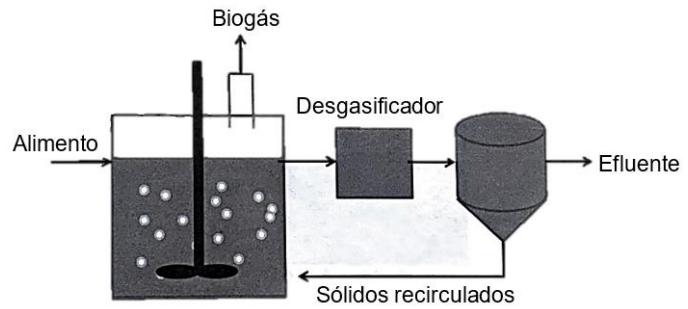


Ilustración 15. Esquema proceso PAC (21).

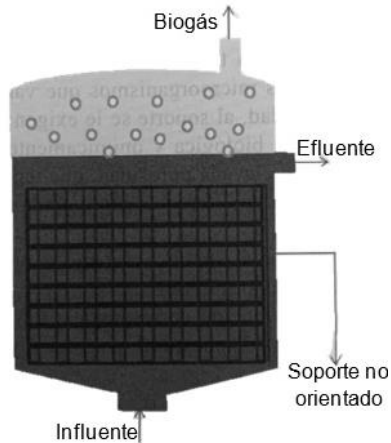


Ilustración 16. Reactor de filtro anaeróbico de flujo ascendente (21).

Digestor anaeróbico de flujo ascendente

En estos tipos de reactores se dispone de un material inerte en el que se sustentan los microorganismos dando lugar a una capa de biomasa ligada a dicho material inerte. Se suele usar materiales cerámicos o plásticos como soporte ya que son los que cumplen de forma más efectiva los requerimientos exigidos. Los soportes pueden encontrarse fijos o no.

En el caso del filtro anaeróbico se trata de un reactor con soportes fijos pero colocados de forma aleatoria. Este tipo de digestores funciona en régimen continuo y se alimenta desde su

parte inferior y asciende recorriendo todo el reactor hasta abandonar el mismo por la zona superior de este.

En estos reactores los microorganismos se adhieren al material inerte formando gránulos. Al incrustarse y crecer estos gránulos en las mallas del soporte se consigue un alto porcentaje de microorganismos.

Al producirse la alimentación desde el nivel más bajo y junto a la producción del biogás se consigue una agitación de manera natural.

Cuenta con una gran ventaja a la hora de ahorrar espacio ya que necesitan menor volumen de reacción y a su vez genera una elevada cantidad de biogás.

Por otro lado, es difícil de eliminar el exceso de biomasa a la vez que resulta necesario ya que se puede producir una obstrucción. Además, no debe alimentarse con residuos que dispongan muchos sólidos suspendidos por el mismo motivo.

Filtro de película fija

Se trata de un digestor similar al anterior exceptuando que en este reactor la biomasa se encuentra adherida a filtros orientados, no colocados al azar. Además, en este tipo de digestores el flujo va desde una zona superior a una inferior no ascendentemente como se ha comentado antes. Este sentido del flujo se debe a que al tratarse de un flujo descendente se consigue un transporte de la biomasa adherida y se previene el taponamiento de los conductos.

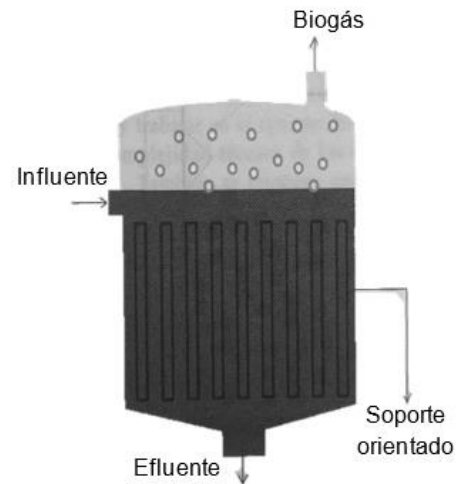


Ilustración 17. Digestor de película fija (21).

4.6. Economía circular

4.6.1. Introducción a la economía circular

Generalmente está implantado un modelo lineal de producción que consiste en usar materias primas y recursos para crear un producto y deshacerse de él una vez que termina su vida útil. De esta forma se trata tanto la materia prima como los recursos de forma indefinida a la vez que se generan grandes cantidades de residuos que finalmente terminan en vertederos.

Teniendo en cuenta el ritmo actual de demanda las materias primas existentes no podrán mantener dicho ritmo exigido en un futuro próximo. Por este motivo, junto a la lucha contra la gran generación de residuos, la Plataforma Europea sobre la Eficiencia en el Uso de los Recursos se posiciona a favor de la economía circular y busca su implantación.

La llamada economía circular se define según el citado Kirchherr et al. en el documento de Gestión de Residuos y economía circular (23) como: “un sistema económico que se basa en modelos de negocio que sustituyen el concepto de “fin de vida” por la reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de materiales en procesos de producción/ distribución y consumo, operando así a nivel micro (productos, empresas, consumidores), nivel meso (parques eco-industriales) y nivel macro (ciudad, región, nación y más), con el objetivo de lograr un desarrollo sostenible, que implica crear calidad ambiental, prosperidad económica y la equidad social, en beneficio de las generaciones actuales y futuras”.

4.6.2. Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos

En la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008 (2) se establece una jerarquía de residuos que servirá de orden de prioridades en la legislación y la política sobre la prevención y la gestión de los residuos que acorde al artículo 4 es la siguiente:

- a) “Prevención.
- b) Preparación para la reutilización.
- c) Reciclado.
- d) Otro tipo de valorización, por ejemplo, la valorización energética.
- e) Eliminación”.

Como se observa, en esta jerarquía prima el desarrollo de los objetivos que ayudan a reducir la producción de nuevos residuos.

Para cumplir con dichos propósitos los gobiernos deben instaurar procedimientos para la gestión de residuos como pueden ser el Sistema de Depósito, Devolución y Retorno (SDDR) o los Sistemas Integrados de Gestión (SIG).

La ley 22/2011 de 28 de julio (1) dice textualmente en el artículo 11 que “de acuerdo con el principio de quien contamina paga, los costes relativos a la gestión de los residuos tendrán que correr a cargo del productor inicial de residuos, del poseedor actual o del anterior poseedor de residuos de acuerdo con lo establecido en los artículos 42 y 45.2”. Y además en su artículo 17 dice que: “el productor u otro poseedor inicial de residuos, para asegurar el tratamiento adecuado de sus residuos, estará obligado a:

- a) Realizar el tratamiento de los residuos por sí mismo.
- b) Encargar el tratamiento de sus residuos a un negociante, o a una entidad o empresa, todos ellos registrados conforme a lo establecido en esta Ley.
- c) Entregar los residuos a una entidad pública o privada de recogida de residuos, incluidas las entidades de economía social, para su tratamiento.

Dichas operaciones deberán acreditarse documentalmente”.

Por tanto, las empresas podrán delegar estas obligaciones a los sistemas de gestión de residuos nombrados previamente (SIG).

El SIG se basa principalmente en tres puntos:

- Compromiso empresarial: es la empresa quien se encarga económicamente del funcionamiento del SIG.
- Compartir responsabilidad administrativa: para un correcto funcionamiento del SIG se precisa una coordinación entre los locales para que cuando se realice la recogida selectiva de residuos se pueda producir un transporte y una división de los mismos en las plantas oportunas.
- Colaboración ciudadana: a través de la adecuada separación de envases en casa y su correspondiente depósito en los contenedores pertinentes.

A nivel nacional existen algunos SIG conocidos como son Ecoembes (se encarga de plásticos, latas, briks y envases de papel y cartón), Ecovidrio (encargado de los envases de vidrio) o SIGRE (gestiona los envases y restos de medicamentos a nivel doméstico).

Por otro lado, también se debe considerar el uso del SDDR complementariamente al SIG. Este sistema se basa en pagar previamente por los envases que se van a usar y recuperar dicho dinero una vez que se devuelven dichos envases. Una vez se recogen estos envases vacíos pueden ocurrir dos casos.

- Caso 1, reutilización. El envase pasa por un proceso de lavado y rellenado del mismo producto.
- Caso 2, reciclaje. Los envases de un solo uso se recogen y reciclan convenientemente.

En los sistemas SDDR los envases no sufren desperfectos como sí que puede ocurrir en los vidrios recogidos por el sistema SIG. Además, los envases sufren mucho menor deterioro puesto que al recogerlos y depositarlos en su planta de tratamiento correspondiente no sufren ningún tipo de contaminación como puede ocurrir al depositar los envases vacíos en contenedores erróneos.

Por otro lado, al no recibir el dinero del envase hasta que no se devuelve el comprador se ve comprometido con la devolución de los mismos.

Según se nombra en el documento de Gestión de Residuos y economía circular (23) en países como Australia al implementar el SDDR han conseguido disminuir entre un 49 % y 78 % de envases en los fondos marinos.

A la hora de implementar un SIG es necesario evaluar los sistemas de recogida existentes en ese destino. Por ejemplo, en España se emplea principalmente el uso de contenedores tanto enterrados como superficiales, la recogida de puerta por puerta y, finalmente, los puntos limpios.

En cuanto a la retirada puerta a puerta, los desechos son divididos y ordenados por los propios residentes. Tras esto se colocan en contenedores, bolsas, sacos, etc. Y se depositan junto a las viviendas de los residentes. Una ventaja de este sistema es que la distancia que se debe recorrer es menor.

Por otro lado, existen estudios como el Seyrin et al. (2015) citado en el documento de Gestión de Residuos y economía circular (23) en el que se muestran valores que apuntan a una mejora en cuanto a las tasas de reciclaje se refiere. Además de disminuir los gastos generados por la separación y clasificación de los residuos una vez llegan a la correspondiente planta de tratamiento.

Sin embargo, entre sus desventajas se encuentra una mayor producción de emisiones contaminantes puesto que son más puntos de recogida.

Respecto a la recogida en contenedores la forma de recogida de los residuos es más sencilla. En ella son los usuarios quienes acuden a los contenedores a Inmaculada Concepción Campins Benítez. Transformación y valorización energética de los residuos urbanos.

depositar los residuos. Con ello se aumenta la distancia entre las viviendas y la zona de recogida respecto al sistema anterior. Pero se reducen las emisiones generadas por los camiones de recogida ya que se disminuyen los puntos de recogidas.

Aunque este sistema también presenta algunas desventajas ya que se precisa de una zona en un espacio público para la ubicación de los contenedores. Asimismo, pueden producirse negligencias por parte de los usuarios que depositan residuos voluminosos, muebles y demás fuera de los propios contenedores produciendo en ocasiones malos olores y plagas.

En relación a los puntos limpios o verdes se tratan de grandes espacios destinados a la recolección de ciertos residuos específicos que no se pueden desechar en otros sistemas de recogida como pueden ser electrodomésticos, muebles, etc.

Por tanto, para implementar la llamada economía circular es necesario un sistema adecuado de recolección que permita clasificar, reutilizar y reciclar todos los residuos que se generan. Para la implementación de este tipo de economía se deben valorar los siguientes puntos:

- La economía circular proporciona independencia respecto de la materia prima y energía, genera empleos y disminuye los costes puesto que se reutiliza lo que ya se ha generado.
- Permite invertir en innovación tanto para la producción de nuevos artículos como para el progreso de la tecnología. Además de permitir incluso la modificación de los modelos actuales de consumo.
- Se produce la coordinación entre industrias ya que lo que un proceso industrial desecha puede servir como materia prima de otro proceso.
- La reducción de costes. Esto conllevaría una disminución del precio de venta que puede llegar a traducirse en mayor cantidad de consumo.

Por otro lado, también deben estudiarse los posibles inconvenientes como son:

- La falta de financiación para implantar la economía circular.
- La prohibición de ciertos países que no permiten la importación de residuos. Esto genera dificultades en la Europa debido a que cuenta con un bajo nivel de reciclaje.
- El modelo actual de productos dedicado especialmente a ciertos productos genera dificultades a la hora de su reutilización, reparación y reciclado.

4.7. Análisis de resultados

4.7.1. Análisis económico

Realizar la instalación de una planta incineradora de RSU implica una inversión inicial de igual magnitud que la necesaria en una planta térmica capaz de producir electricidad. Esto se debe a que son plantas muy similares en las que su principal diferencia es la materia prima empleada.

Esta inversión abarcaría el coste del terreno, de los hornos, de las calderas, de la propia obra y demás elementos necesarios.

Además, la planta contará con una serie de gastos fijos (principalmente gastos del personal y gastos administrativos) y unos gastos variables (gastos de mantenimiento, tratamientos de residuos, luz, agua, combustible, etc.).

Por otro lado, el tipo de residuo afectará también en la propia economía. Ya que, si por ejemplo existen residuos con gran cantidad de humedad será necesario un tratamiento previo de secado.

No obstante, contará con ingresos provenientes de la venta energética y la incineración de residuos.

Si se decide emplear métodos de valorización como la incineración entre sus fines se buscará obtener beneficios con la producción de energía. Aunque también deben considerarse los gastos que pueden suponer los impactos ambientales si no se siguen los requisitos técnicos exigidos.

Aún con estos gastos y como se indica en el estudio realizado acerca de la planta incineradora de Cantabria (24): “Beneficio= 13.393.084 €/año - 7.620.196 €/año = 5.772.888 €/año. A la vista de los resultados obtenidos podemos ver que además de las ventajas ya comentadas sobre la incineración de residuos se obtiene un alto beneficio económico”. Es decir, que pese a la inversión necesaria y los costes que acarrea se trata de una alternativa viable. De hecho, en el propio estudio se demuestra como a los 7 años de su puesta en servicio han recuperado la inversión inicial.

Además, a medida que aumenta el uso de una planta de incineración se reducen sus costes. De modo que las plantas que dispongan de alta capacidad contarán también con un alto nivel de empleabilidad para disminuir costes.

Respecto a la biomasa además de los costes de inversión para la adquisición del terreno, construcción de la planta y demás debe considerarse que al tratarse de una materia prima que en ocasiones proviene de cultivos destinados a ella, particularmente, no se puede establecer un precio exacto ya que este dependerá de la recolección de los cultivos, de los inconvenientes que hayan sufrido (heladas, sequía, etc.) y la lejanía de estos de las plantas de tratamientos de la biomasa.

A pesar de esto y según el estudio sobre la Economía Española de la biomasa (25): “las instalaciones de biomasa existentes en España contribuyen a evitar un Inmaculada Concepción Campins Benítez. Transformación y valorización energética de los residuos urbanos.

coste equivalente a 334 millones de euros en emisiones de CO₂, tanto por sustitución de combustibles fósiles como por evitación de vertido (especialmente de deyecciones ganaderas) y evitan un coste equivalente a 150 millones de euros destinados a la extinción de incendios”.

Asimismo, de acuerdo el proyecto básico de una planta de biomasa (26) se pueden obtener anualmente grandes beneficios de la planta: “Beneficio total = Beneficio anual - costes operación y mantenimiento – coste de la biomasa = 3.770.165,86 € - 315.000 € - 954.710,4 € = 2.500.455,46 €”.

De hecho, en el mismo proyecto se comprueba como se recuperaría la inversión en menos de un año y medio y como se obtiene su Valor Actual Neto (VAN) positivo. Esto demuestra que el proyecto cuenta con una viabilidad alta a la vez que lo hace seguro económicamente.

4.7.2. Valorización de impactos

4.7.2.1. Impacto ambiental

Acorde al libro tratamiento y valorización energética de los recursos (16) se define el impacto ambiental de una actividad industrial como: “la diferencia entre la situación ambiental durante un periodo del proceso (al finalizarlo o en un momento intermedio) y el instante inicial”. Mediante la evaluación de los impactos se logra identificar, predecir y evitar los efectos sobre el medio ambiente.

Cuando se realiza un estudio del impacto ambiental se busca:

1. Evitar los desperfectos ocasionados por las actividades desarrolladas ya que subsanarlos podrían suponer un alto precio tanto a nivel económico como en el bienestar social.
2. Tener acceso a datos que ayuden a instaurar en la toma de decisiones los posibles efectos causados sobre el entorno.
3. Exponer la información de manera global sobre los impactos producidos por la actividad desarrollada sobre el medio ambiente.
4. Hacer partícipe a todos los organismos tanto públicos como privados para que se comprometan con el medio ambiente.

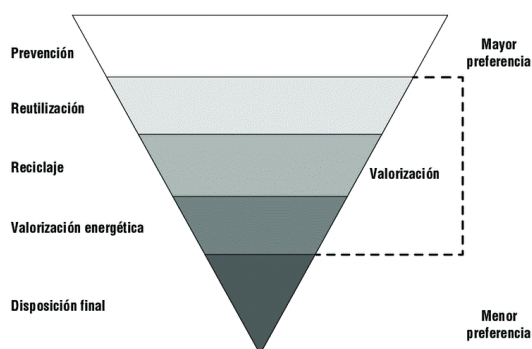


Ilustración 18. Jerarquía del tratamiento de residuos (47).

Incineradora de residuos

De acuerdo a la ilustración 18 la incineración de los residuos proporciona una valorización energética de aquellos residuos que no se han podido valorizar materialmente. De esta forma se ayuda también a la disminución de residuos destinados a vertederos.

El impacto principal causado por este tipo de procesos es ocasionado por los gases de combustión y las cenizas volantes. Para luchar contra esto se realizan exhaustivos tratamientos de los gases y manejo de las cenizas como residuos peligrosos.

La incineración permite recuperar energía mediante el tratamiento térmico a la vez que ayuda a reducir el transporte de los residuos ya que las plantas pueden situarse bastante más cerca de los centros urbanos que los vertederos.

Mientras se realice la incineración correctamente su uso será recomendable para deshacerse de los RSU ya que mejora las condiciones medioambientales a la vez que disminuye el impacto ocasionado por los vertederos.

Las plantas de incineración presenta impactos ambientales semejantes a muchos procesos industriales, en algunos casos incluso menores. De modo que se pueden controlar siempre que se gestione de manera adecuada respecto al entorno. A pesar de estos impactos las plantas incineradoras no son particularmente plantas contaminantes.

Entre otras cosas, la Directiva 2010/75/UE (13) regula las emisiones máximas permitidas a la atmósfera generadas por las instalaciones de incineración de residuos estableciendo unos valores límite de emisión admisible.

Si se diesen condiciones ideales (homogeneidad de residuos, temperatura, tiempo y exceso de oxígeno) dentro de la cámara de combustión durante la incineración los residuos la materia orgánica se transformaría en dióxido de carbono y agua. No obstante, los RSU no son homogéneos. Por el contrario, suelen ser de orígenes dispersos lo que permite la posibilidad de fracciones de residuos incombustibles ocasionando que ciertos residuos se emitan a la atmósfera.

Realmente el único residuo que precisa de trato específico es las cenizas volantes ya que se deben reunir, guardar y tratar como residuos peligrosos.

Las sustancias tóxicas más importantes emitidas a la atmósfera son:

- Partículas. Se trata de ceniza muy fina que se arrastra con los humos.
- Ácidos y otros gases (HCl, HF, HBr, HI, NO_x, SO₂, etc.). El cloruro de hidrógeno (HCl) suelen provenir de materiales como el PVC. Este compuesto, al igual que el fluoruro de hidrógeno (HF), es muy soluble en agua lo cual puede afectar en el desarrollo de las plantas. Respecto a los óxidos de nitrógeno (NO_x), estos pueden ocasionar efectos tóxicos, ácidos y de calentamiento global dependiendo del tipo de óxido que sea.
- Metales pesados (Hg, Cd, Tl, Ni, Pb, etc.).
- Composiciones de carbono (CO, hidrocarburos, etc.). El monóxido de carbono (CO) se produce por la combustión incompleta de los compuestos de carbono. Para que la incineración sea de calidad los niveles de CO deben ser muy bajos. Cuando pasa a la atmósfera se oxida con el tiempo produciendo CO₂.

A fin de respetar los niveles máximos establecidos por la legislación se instalan distintos sistemas de control como son los filtros de mangas (sobre todo para filtrar partículas de metales pesados y cenizas) y el lavado de gases (se suele emplear para disminuir las emisiones de gases ácidos), aunque se pueden aplicar más sistemas de vigilancia.

Asimismo, controlar la temperatura a la que se realiza la combustión, el tiempo que se mantienen los gases de la misma a una temperatura por encima de 850 °C y el nivel apropiado de oxígeno que se suministra en dicho proceso, ayudan a reducir las cantidades de monóxido de carbono que se emiten a la atmósfera.

Biomasa

Mientras que con el uso de los combustibles fósiles se emiten altos niveles de CO₂ la biomasa cuenta con un balance de CO₂ que se podría considerar prácticamente cero. Es decir, la materia orgánica de la que proviene la biomasa absorbe durante el proceso de fotosíntesis aproximadamente la misma cantidad de dióxido de carbono que se emite posteriormente durante el proceso de combustión de la propia biomasa o de los biocombustibles obtenidos de ella. De esta forma el uso de la biomasa ayuda a luchar contra el cambio climático.

Además, la biomasa cuenta con porcentajes de azufre muy próximos a cero. Gracias a esto se consigue que las emisiones de dióxido de azufre (SO_x) sean nulas; es decir, se logra disminuir la producción de la llamada lluvia ácida.

Sin embargo, a la hora de producir biocombustibles se pueden producir impactos nocivos si no se emplean los criterios ambientales y tecnológicos apropiados. Estos impactos se pueden asociar fundamentalmente a la producción agrícola.

En ocasiones se realiza la transformación de las zonas naturales, como bosques, de forma directa o indirecta ya que se busca alcanzar una mayor extensión para los llamados cultivos energéticos a través de los que se obtienen la materia prima para los biocombustibles.

Por otro lado, para lograr alcanzar una alta producción se emplean pesticidas y fertilizantes. El uso de los fertilizantes ayuda al aumento de las emisiones de gases invernaderos tanto durante su producción como en su utilización en la que suelen liberar óxido nitroso (N₂O), uno de los gases perteneciente a los gases de efecto invernadero.

De igual manera, los pesticidas pueden llegar a contaminar el agua y el propio suelo de cultivo. Todo esto siempre dependerá de las capacidades del medio para absorber dichas sustancias, de si se emplean correctamente o no, de la categoría del producto que se administre y, en definitiva, si se cumple o no con la normativa sobre este tipo de productos agroquímicos.

De forma general se puede concluir que la biomasa es una energía limpia y colabora con la disminución de la huella de carbono. Aunque su impacto

ambiental se debe estudiar de forma individualizada a cada caso según sea el tipo de biomasa, su origen o en que se emplee.

4.7.2.2. Impacto socioeconómico

La implementación de plantas incineradoras puede producir controversia ya que se ha generado una imagen negativa en torno a ella. Como ocurre en el pueblo de Alcalá de Guadaíra donde los vecinos se han situado en contra de la instalación de la misma como exponen el diario El Topo (27) y el blog alwadi-ira (28).

Entre sus preocupaciones existentes destacan la transformación de zonas verdes como la Dehesa Nueva y la contaminación del aire.

Sin embargo, como se ha comentado previamente en el apartado de impacto ambiental, mientras se instalen los sistemas de control adecuados y se respete la normativa vigente acerca de las emisiones máximas permitidas a la atmósfera no debería suponer ningún tipo de problema para la salud.

Además, como se menciona en el periódico europapress (29) la planta permitiría una incineración de hasta 197.000 toneladas de residuos con el fin de obtener energía de ellos.

Entre otras cosas, en el diario El Topo (27) también dice: “estos colectivos denuncian también que la incineración supondría una competencia desleal contra las empresas de reciclaje, capaces de generar, según estas fuentes, hasta 39 veces más puestos de trabajo”. Sin embargo, lamentablemente no todos los residuos generados actualmente pueden reciclarse. De modo, que por mucho que instalasen más plantas de reciclaje los residuos seguirían acabando en vertederos y el problema sería el mismo.

Asimismo, el ayuntamiento de Alcalá se opone a la instalación de la planta incineradora.

Sin embargo, existen impactos socioeconómicos positivos son:

- Generación de empleos tanto durante la construcción de la misma como en su posterior funcionamiento.
- Aumento de los ingresos fiscales del propio ayuntamiento.
- Obtención de energía sin dependencia de otros países.

Y otros posibles impactos no tan positivos como son:

- La contaminación visual si se sitúa próxima a barrios residenciales, lo cual puede ocasionar sensación de pérdida de calidad de vida.
- La posible necesidad de pagar el canon por explotar los recursos naturales si se sitúa la planta en zonas naturales, como ocurriría en la Dehesa de Alcalá de Guadaíra.

- La posibilidad de sufrir una devaluación de terrenos y edificios próximos a la planta.
- La alta inversión inicial.

Por otro lado, como se indica en el estudio sobre la Economía Española de la biomasa (25): “la biomasa es la energía que mayor número de empleos genera y mantiene por MW instalado (incluyendo construcción y en operación y mantenimiento de las instalaciones). No solo en la propia instalación, sino también fuera de ella, al estar gran parte de esos empleos vinculados con el suministro de combustibles biomásicos a las instalaciones”.

Esto podría ayudar a combatir la llamada ‘España vaciada’ que suele darse en las zonas más rurales.

Además, la biomasa permitiría así crear situaciones que fueran estables y con vistas de futuro para la población. Y, a su vez, estaría contribuyendo al cambio hacia una energía más limpia y hacia la economía circular.

5. Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros

Con el desarrollo industrial se ha aumentado la producción de residuos hasta alcanzar niveles insostenibles teniendo en cuenta la gestión de los mismos llevada a cabo hasta el momento. Para mejorar esta situación se deben emplear alternativas que ayuden a optimizar el uso y gestión tanto de los recursos como de los materiales.

Asimismo, para obtener una mayor incursión en la economía circular se debe producir un cambio de mentalidad en todos los niveles de la sociedad. Desde la gente de a pie para que recicle y reutilice, en la medida de lo posible, los residuos generados en sus hogares como los empresarios que generan cientos de kilos de residuos durante la producción de sus productos.

Un buen ejemplo de este cambio de mentalidad son países como Alemania donde en los supermercados existen máquinas que te devuelven un porcentaje del dinero que te costó el producto al introducir en ella envases como botellas de plástico o vidrio. De esta forma los ciudadanos además de contar con un aliciente participan de forma activa en la economía circular y ayudan a reducir así la producción de envases.

Sin embargo, cuando se tratan de residuos que no son reciclables se deben buscar otras opciones para gestionarlos. En estos casos se puede recurrir a los tratamientos de RSU como las plantas de incineración explicadas durante el presente proyecto. De esta forma se reduce la fracción de residuos que terminan en los vertederos a la vez que se obtienen beneficios de ellos como puede ser la generación de energía térmica o eléctrica y la reducción de las distancias necesarias para el transporte de los propios residuos.

Asimismo, existen residuos no reciclables que no disponen de un poder calorífico inferior suficiente como para someterlos a la incineración. Es, por ejemplo, el caso de la materia orgánica. En estas ocasiones se pueden revalorizar mediante otro tipo de procesos como se explicó previamente en el apartado relacionado con la biomasa.

En ambas alternativas planteadas durante el proyecto se llega a una conclusión similar respecto a la situación ambiental. Para poder implementarlas es necesario que se empleen de manera adecuada las tecnologías existentes que se encargan de reducir lo máximo posible el impacto ambiental a la vez que se cumplen con las normativas estipuladas para ello.

Para finalizar, cabe destacar que los residuos es un problema que afecta a todos por igual. Por ello y para que el impacto sea el menor posible en todos los ámbitos (social, económico, ambiental, etc.) se deben buscar alternativas sostenibles e intentar que la población se implique en las propuestas existentes. Además de implementar la reducción, reutilización y reciclaje de residuos siempre que sea posible.

Recomendaciones y mejoras

Con el objetivo claro de obtener la valorización de la mayoría de residuos se debe buscar:

- La aplicación de las 3 R's (reducción, reutilización y reciclaje) en los residuos generados. A ser posible se intentará que los productos cumplan las tres fases durante su vida útil.
- Que los residuos sean reciclables con el fin de que la menor parte posible acabe en vertederos o incineradoras.
- Que tras el cese de los vertederos y tras un tratamiento adecuado se realice la reforestación de la zona para poder reaprovecharla mediante su uso para otras actividades.
- Incentivar a la población para que participe de forma activa en las etapas de recuperación de los residuos.
- Concienciar a las futuras generaciones acerca de la importancia del reciclaje tanto en los centros educativos como desde sus hogares.

Trabajos futuros

- Optimización de una planta incineradora de residuos de parrillas y sus posibles alternativas.
- Transformación, optimización y eficiencia de un motor de combustión impulsado por biocombustibles.
- Realización del diseño y la implementación de ambas plantas y comparación entre ellas.

6. Bibliografía

1. Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. *Boletín Oficial del Estado (BOE)*. [En línea] 9 de abril de 2022. [Citado el: 15 de Mayo de 2022.] <https://www.boe.es/buscar/pdf/2022/BOE-A-2022-5809-consolidado.pdf>.
2. Unión Europea. *Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. Diario Oficial de la Unión Europea*.
3. Real Decreto 553/2020, de 2 de junio, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado. *Boletín Oficial del Estado (BOE)*. [En línea] 19 de Junio de 2020. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2020/BOE-A-2020-6422-consolidado.pdf>.
4. Decreto 131/2021, de 6 de abril, por el que se aprueba el Plan Integral de Residuos de Andalucía. Hacia una Economía Circular en el Horizonte 2030. *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (BOJA)*. [En línea] 9 de Abril de 2021. [Citado el: 29 de Mayo de 2022.] https://www.juntadeandalucia.es/eboja/2021/66/BOJA21-066-00005-5852-01_00189744.pdf.
5. Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. *Boletín Oficial del Estado (BOE)*. [En línea] 11 de diciembre de 2013. [Citado el: 18 de marzo de 2022.] <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-12913-consolidado.pdf>.
6. Europea, Diario Oficial de la Unión. DECISIÓN DE EJECUCIÓN (UE) 2018/1147 DE LA COMISIÓN. *por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) en el tratamiento de residuos, de conformidad con la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo*. [En línea] 10 de agosto de 2018. [Citado el: 18 de marzo de 2022.] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018D1147&from=ES>.
7. —. DIRECTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. [En línea] 23 de abril de 2009. [Citado el: 18 de marzo de 2022.] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=ES>.
8. DIRECTIVA (UE) 2018/851 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos. [En línea] 30 de mayo de 2018. [Citado el: 18 de marzo de 2022.] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=ES>.

9. Europea, Diario Oficial de la Unión. Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. [En línea] 11 de Diciembre de 2018. [Citado el: 27 de Abril de 2022.] <https://www.boe.es/doue/2018/328/L00082-00209.pdf>.
10. Real Decreto 208/2022, de 22 de marzo, sobre las garantías financieras en materia de residuos. *Boletín Oficial del Estado (BOE)* . [En línea] 22 de Marzo de 2022. [Citado el: 4 de Abril de 2022.] <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/22/208/dof/spa/pdf>.
11. Real Decreto 205/2021, de 30 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1085/2015, de 4 de diciembre, de fomento de los biocarburantes, y se regulan los objetivos de venta o consumo de biocarburantes para los años 2021 y 2022. [En línea] 31 de Marzo de 2021. [Citado el: 6 de Abril de 2022.] <https://www.boe.es/boe/dias/2021/03/31/pdfs/BOE-A-2021-5034.pdf>.
12. Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes. *Boletín Oficial del Estado (BOE)*. [En línea] 17 de Febrero de 2006. [Citado el: 19 de Abril de 2022.] <https://www.boe.es/buscar/pdf/2006/BOE-A-2006-2779-consolidado.pdf>.
13. Europea, Diario Oficial de la Unión. Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación). [En línea] 24 de Noviembre de 2010. [Citado el: 19 de Mayo de 2022.] <https://www.boe.es/doue/2010/334/L00017-00119.pdf>.
14. Smith, Niall. Verisk Maplecroft. [En línea] 2 de Julio de 2019. [Citado el: 23 de Febrero de 2022.] <https://www.maplecroft.com/insights/analysis/us-tops-list-of-countries-fuelling-the-mounting-waste-crisis/>.
15. Sbarato, Rubén Darío. *Aspectos Generales de la Problemática de los Residuos Sólidos Urbanos*. Córdoba : Encuentro Grupo Editor, 2009. 978-987-1432-38-7.
16. Castells, Xavier Elias. *Tratamiento y valorización energética de residuos*. España : Fundación Universitaria Iberoamericana., 2005. 84-7978-694-9.
17. Europea, Diario Oficial de la Unión. DIRECTIVA (UE) 2018/2001 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO RELATIVA AL FOMENTO DEL USO DE ENERGÍA PROCEDENTE DE FUENTES RENOVABLES. [En línea] 11 de Diciembre de 2018. [Citado el: 29 de Marzo de 2022.] <https://www.boe.es/doue/2018/328/L00082-00209.pdf>.
18. Wikipedia. [En línea] [Citado el: 14 de Abril de 2022.] https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_graso_monoinsaturado.

19. Wikipedia. [En línea] [Citado el: 14 de Abril de 2022.] https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_graso_poliinsaturado.
20. Vélez, Verónica Pinos. Cápsula | ¿Sabes qué es y para qué sirve la catálisis? *Universidad de Cuenca*. [En línea] 13 de Septiembre de 2019. [Citado el: 19 de Abril de 2022.] <https://www.ucuenca.edu.ec/component/content/article/233-espanol/investigacion/blog-de-ciencia/1289-quimica?Itemid=437#:~:text=La%20cat%C3%A1lisis%20homog%C3%A9nea%20se%20produce,l%C3%ADquidos%2C%20conformando%20una%20ola%20fase..>
21. Martín Lara, María Ángeles y Calero de Hoces, Mónica . *Energía de la BIOMASA y biocombustibles*. Granada : Editorial Universidad de Granada, 2020. 978-84-338-6697-4.
22. Instituto Nacional del Cáncer de los Institutos Nacionales de la Salud de EEUU. [En línea] [Citado el: 22 de Abril de 2022.] <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/glucolisis>.
23. Seguí, Luis, Medina, Rubí y Guerrero, Hilda. Gestión de residuos y economía circular. *EAE Business School*. [En línea] Septiembre de 2018. [Citado el: 1 de Mayo de 2022.] https://www.diarioabierto.es/wp-content/uploads/2018/09/Gestion_residuos_EAE.pdf.
24. Torre, Nora Torre. Análisis de ciclo de vida (ACV) y estudio económico de una planta de incineración de residuos sólidos urbanos (RS). *Universidad de Cantabria*. [En línea] Julio de 2013. [Citado el: 2022 de Junio de 6.] <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/2749/357024.pdf;sequence=1>.
25. Estudios sobre la Economía Española. . *Biomasa en España. Generación de valor añadido y análisis prospectivo*. [En línea] APPA Renovables y BIOPLAT, Enero de 2020. [Citado el: 4 de Junio de 2022.] <https://documentos.fedea.net/pubs/eee/eee2020-01.pdf>.
26. Criado, Victor Murciano. Proyecto básico de una planta de biomasa. *Escuela técnica superior de ingenieros de minas y energía*. [En línea] 30 de Septiembre de 2014. https://oa.upm.es/32723/1/PFC_V%C3%ADctor_Murciano_Criado.pdf.
27. Unión Local del SAT de Alcalá de Guadaíra. Contra la incineración de basura en Alcalá de Guadaíra. *El Topo*. [En línea] <https://eltopo.org/contra-la-incineracion-de-basura-en-alcala-de-guadaira/>.
28. ecologista, Sociedad. Vecinos y entidades sociales de Alcalá defienden la Dehesa Nueva. *alwadi-ira*. 2022.

29. Adelante pide que el Parlamento muestre su oposición a la incineradora de residuos de Alcalá de Guadaíra (Sevilla). [En línea] 29 de Septiembre de 2020. [Citado el: 03 de Junio de 2022.] <https://www.europapress.es/andalucia/sevilla-00357/noticia-adelante-pide-parlamento-muestre-oposicion-incineradora-residuos-alcala-guadaira-sevilla-20200929122918.html>.
30. Fernández, Pablo Mancebo. Valorización energética de RSU. Trabajo Fin de Máster. Bilbao : Universidad del País Vasco., 2018/19.
31. Cabildo Miranda, M^a Pilar, y otros. *Reciclado y tratamientos de residuos*. Madrid : Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2008. 978-84-362-5504-1.
32. Fernández Viña, Javier y Varias Rodríguez, Elisabet. Recicla.me.info. [En línea] <https://www.recicla.me/info/gestion-de-residuos-2/incineracion/>.
33. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía. [En línea] 9 de abril de 2021. [Citado el: 18 de marzo de 2022.] https://www.juntadeandalucia.es/boja/2021/66/BOJA21-066-00005-5852-01_00189744.pdf.
34. COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES. *Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular*. [En línea] 2 de diciembre de 2015. [Citado el: 18 de marzo de 2022.]
35. Lostaunau, Luis Milla. *Calderas y Turbinas de Vapor para la Generación de Energía Eléctrica*. Lima, Perú : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2007.
36. Mártil, Ignacio. IES Ostippo. [En línea] 30 de Septiembre de 2016. [Citado el: 29 de Marzo de 2022.] <http://iesostippo.es/electricidad/index.php/2-principal/210-como-se-obtiene-la-energia-electrica>.
37. Camacho, Santiago López. Planta de Incineración de Residuos Sólidos Urbanos a partir de una Tecnología de Parrilla. Trabajo Fin de Máster. Sevilla : Universidad de Sevilla., 2018.
38. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2020-2029*. [En línea] [Citado el: 29 de Marzo de 2022.] <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/97635ef3-es/index.html?itemId=/content/component/97635ef3-es>.
39. *Energía obtenida a partir de biomasa*. Cerdá, Emilio. DOI: 10.32796/cice.2012.83.6036, Madrid : Universidad Complutense de Madrid, 2012.
40. Vicente, Antonio Madrid. *La biomasa y sus aplicaciones energéticas*. Madrid : A. MADRID VICENTE EDICIONES, 2021. 978-84-96709-89-8.

41. Grupo Borau. [En línea] [Citado el: 6 de Abril de 2022.] <https://borauhermanos.com/datos-sobre-el-cultivo-de-colza-en-huesca/>.
42. Grupo Borau. [En línea] [Citado el: 14 de Abril de 2022.] <https://borauhermanos.com/el-girasol-otra-alternativa-para-la-rotacion-de-cultivos/>.
43. Earth Observing System. [En línea] [Citado el: 14 de Abril de 2022.] <https://eos.com/es/blog/cultivo-de-palma-de-aceite/>.
44. Martínez, Luis Barberá. *Biometanización en plantas industriales avanzadas. Generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos*. Madrid : Bellisco Ediciones, 2011. 978-84-92970-17-9.
45. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Gobierno de España. Mejoras Técnicas Disponibles de referencia Europea para Incineración de Residuos. [En línea] 2011. [Citado el: 5 de Mayo de 2022.] https://prtr-es.es/Data/images/MTD_Incineracion_residuos_ES.pdf.
46. Incineración y gasificación, diferencias y similitudes. *Greene*. [En línea] 5 de Marzo de 2015. [Citado el: 13 de Mayo de 2022.] <https://greene.es/incineracion-y-gasificacion-diferencias-y-similitudes/>.
47. Ossio, Felipe, y otros. ResearchGate. [En línea] Abril de 2020. https://www.researchgate.net/publication/340350099_CAPITULO_IX_Politicas_municipales_estandarizadas_para_el_manejo_sustentable_de_residuos_de_construccion_y_demolicion.
48. González, Yeni Carolina Díaz. Impacto Ambiental generado a partir de biodiésel de aceite de palma. *Universidad Libre, Bogotá*. [En línea] 2012. [Citado el: 23 de Mayo de 2022.] <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7141/DiazGonzalezYeniCarolina2012.pdf?sequence=1>.
49. Quintero González, Julián Rodrigo y Quintero González, Laura Estefanía. Biomasa: métodos de producción, potencial energético y medio ambiente. [En línea] 31 de Agosto de 2015. [Citado el: 23 de Mayo de 2022.] <https://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/reiv3/article/view/109/108>.
50. Martín Cabrera, Adrián Miguel. *Valorización energética de los residuos municipales de la isla de Tenerife, Trabajo Fin de Máster*. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2019.
51. Greenpeace. La incineración de residuos en cifras. Análisis socio-económico de la incineración de residuos municipales en España. [En línea] Julio de 2010. [Citado el: 04 de Junio de 2022.] <https://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/contaminacion/100720.pdf>.

52. **Análisis económico de la gestión de residuos urbanos.** Riera, Pere y García, Loli. Nº21, Valencia : Revista valenciana d'estudis autonòmics, Vol. Extraordinario XXIII reunión de estudios regionales.
53. Luque, Enrique Figueroa. Estudio técnico-económico para la implantación de una planta de generación eléctrica a partir de biomasa en Andalucía. *Universidad de Sevilla.* [En línea] 2013/14. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70586/fichero/Trabajo+fin+de+M%C3%A1ster+Enrique+Figueroa+Luque.pdf>.
54. Real Decreto 661/2007, de 25 mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. *Boletín Oficial del Estado (BOE).* [En línea] 26 de Mayo de 2007. [Citado el: 6 de Junio de 2022.] <https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-10556-consolidado.pdf>.
55. Ley 40/1994, de 30 de diciembre de ordenación del Sistema Eléctrico Nacional. *Boletín Oficial del Estado (BOE).* [En línea] 31 de Diciembre de 1994. [Citado el: 4 de Junio de 2022.] <https://www.boe.es/boe/dias/1994/12/31/pdfs/A39362-39386.pdf>.
56. Decisión de la Comisión de 18 de diciembre de 2014 por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. *Boletín Oficial del Estado (BOE).* [En línea] 30 de diciembre de 2014. [Citado el: 23 de Febrero de 2022.] <https://www.boe.es/doue/2014/370/L00044-00086.pdf>.