

**UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA**

Master Universitario en Eficiencia Energética



**TRABAJO FINAL DE MÁSTER**

ESTUDIO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA  
PROVENIENTE DE LA PODA DE ESPECIES VEGETALES Y RESIDUOS  
ORGÁNICOS GENERADOS EN LOS CAMPUS UNIVERSITARIOS DE LA  
ULPGC

**Autora:** Estefanía Roque Vega

**Tutor:** Dr. José Jaime Sadhwani Alonso

**Fecha:** Julio 2018

## AGRADECIMIENTOS

A mi tutor, el doctor José Jaime Sadhwani Alonso por su paciencia, motivación y criterio. Al resto de profesorado del Máster por transmitir con pasión sus conocimientos.

A mis estimados compañeros, ha sido un privilegio conocerlos y haber compartido juntos toda esta experiencia.

Gracias a todas las personas que colaboraron de alguna manera en este Trabajo Fin de Máster; por su atención, amabilidad y disponibilidad a la hora de resolver mis dudas y facilitarme información previa a la elaboración de este estudio.

Gracias a todas las personas que, de una manera u otra, han sido claves en mi vida profesional, y por extensión, en la personal.

Y por encima de todo, y con todo mi afecto, gracias a los míos por estar incondicionalmente acompañándome durante este viaje. Gracias Fabiola, Clemente, Juan, resto de familiares y amigos. Gracias a los que vienen y a los que ya no están.

## RESUMEN

El presente trabajo estudia el potencial energético de la biomasa proveniente de la poda de especies vegetales y residuos orgánicos, generados en las instalaciones de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

La primera parte introduce la problemática y analiza la situación actual en materia de valorización energética.

En la segunda, se define el concepto y tipos de biomasa. Se realiza una búsqueda bibliográfica sobre las tecnologías existentes para la conversión de biomasa en energía y se analizan los residuos y sus aplicaciones, haciendo hincapié en el ámbito regional.

La siguiente parte incluye la delimitación de la zona de estudio y los cálculos que cuantifican los residuos y la cantidad de energía generada, utilizando diferentes métodos y tecnologías.

Finalmente se evalúan los resultados obtenidos en relación a los aspectos ambientales, energéticos, económicos, tecnológicos e innovadores.

## ABSTRACT

This paper studies the energy potential of biomass derived from the pruning of vegetable species and organic waste produced throughout the facilities of the University of Las Palmas de Gran Canaria.

The first section introduces the existing problems and analyzes the current situation regarding energy valuation.

The second section defines the concept of biomass and its types. It includes a bibliographic search of the technology available for the conversion of biomass into energy as well as an analysis of the waste and its uses, emphasizing the regional scope.

The following section sets the limits of the area of study and the calculations that quantify the waste and the energy generated. This is done using different methods and technologies.

Last, an evaluation of the results regarding environmental, energy, economic, technological and innovative aspects is presented.

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
1.1. ANTECEDENTES.....	13
1.2. OBJETO DEL ESTUDIO .....	13
1.3. MARCO NORMATIVO.....	14
1.4. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN MATERIA DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA.....	16
<b>CAPÍTULO 2. BIOMASA: FUNDAMENTO Y APLICACIONES .....</b>	<b>21</b>
2.1. CONCEPTO DE BIOMASA .....	21
2.2. TIPOS DE BIOMASA.....	21
2.3. USOS DE LA BIOMASA.....	23
2.3.1. APLICACIONES TÉRMICAS .....	24
2.3.2. APLICACIONES ELÉCTRICAS.....	24
<b>CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>26</b>
3.1. TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN DE BIOMASA EN ENERGÍA .....	26
3.2. DEFINICIÓN Y APLICACIONES DE LOS RESIDUOS EN ESTUDIO.....	27
3.2.1. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	28
3.2.2. LODOS DE DEPURADORAS.....	28
3.2.3. DEYECCIONES GANADERAS.....	30
3.2.4. RESIDUOS FORESTALES Y VEGETALES.....	31
3.3. FRONTERA DEL CONOCIMIENTO .....	31
3.3.1. COMBUSTIBLES FÓSILES VS. BIOMASA .....	31
3.3.2. VERTEDERO VS. INCINERACIÓN .....	31
3.3.3. TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN TÉRMICA DE LOS RSU .....	32
3.3.3.1. CASO DE ESTUDIO 1: SIRUSA.....	33
3.3.3.2. CASO DE ESTUDIO 2: AEB AMSTERDAM .....	38
3.3.4. BIOMETANIZACIÓN O DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	46
3.3.4.1. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LODOS DE DEPURACIÓN .....	46
3.3.4.2. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE ESTIÉRCOL.....	49
3.4. CONSIDERACIONES.....	51
<b>CAPÍTULO 4. RESIDUOS EN CANARIAS .....</b>	<b>52</b>
4.1. GENERACIÓN DE RESIDUOS .....	52
4.2. COMPOSICIÓN DE LAS BASURAS URBANAS.....	53

4.3.	VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA.....	54
4.4.	RESIDUOS DE PODA. PALMERA CANARIA.....	57
<b>CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA .....</b>		<b>60</b>
5.1.	DATOS GLOBALES ULPGC.....	60
5.2.	ÁREA DE ACTUACIÓN .....	61
5.3.	ZONAS VERDES .....	64
5.3.1.	SUPERFICIE AJARDINADA.....	64
5.3.2.	INVENTARIO DE ESPECIES .....	65
5.3.3.	CARACTERÍSTICAS DE LA PODA .....	66
5.4.	DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS .....	66
5.4.1.	RSU TOTALES .....	66
5.4.1.1.	RSU ZONAS VERDES .....	68
5.4.1.2.	RSU CONTENEDORES .....	70
5.4.2.	LODOS DE DEPURADORAS.....	72
5.4.3.	DEYECCIONES GANADERAS.....	73
5.4.4.	TABLA RESUMEN .....	76
5.5.	INCINERACIÓN .....	77
5.5.1.	CÁLCULO DE LA HUMEDAD .....	77
5.5.2.	COMPOSICIÓN Y CAPACIDAD ENERGÉTICA DE LOS RSU.....	78
5.5.3.	DETERMINACIÓN DE ENERGÍA BRUTA DISPONIBLE .....	80
5.5.4.	POTENCIAL ENERGÉTICO.....	82
5.6.	DIGESTIÓN ANAEROBIA .....	84
5.6.1.	LODOS DE DEPURADORA .....	84
5.6.1.1.	PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS .....	84
5.6.1.2.	COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS.....	85
5.6.1.3.	PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA NETA.....	85
5.6.2.	DEYECCIONES GANADERA.....	86
5.6.2.1.	PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS .....	86
5.6.2.2.	COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS.....	87
5.6.2.3.	PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA NETA.....	87
5.6.3.	CO-DIGESTIÓN.....	88
<b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....</b>		<b>93</b>
6.1.	RESULTADOS.....	93
6.2.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ATENDIENDO A.....	94

6.2.1.	ASPECTOS AMBIENTALES.....	94
6.2.1.1.	PLANTA DE INCINERACIÓN DE RSU.....	94
6.2.1.2.	PLANTA DE DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	95
6.2.2.	ASPECTOS ENERGÉTICOS.....	97
6.2.3.	ASPECTOS ECONÓMICOS.....	98
6.2.4.	ASPECTOS TECNOLÓGICOS.....	101
6.2.5.	ASPECTOS INNOVADORES.....	103
6.3.	CONCLUSIONES.....	103
6.4.	LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....	104
	BIBLIOGRAFÍA.....	105
	ANEXOS.....	108
	ANEXO I. ESQUEMA PLANTA SIRUSA	
	ANEXO II. ESQUEMA PLANTA WFPP DE AEB AMSTERDAM	
	ANEXO III. MAPAS DE LAS ZONAS AJARDINADAS	
	ANEXO IV. INVENTARIO DE ESPECIES VEGETALES	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actualización mediante elaboración propia del marco normativo en materia de residuos .....	16
Tabla 2. Ficha técnica de la Planta de Valorización Energética SIRUSA (SIRUSA, 2018) .....	33
Tabla 3. Datos de las plantas AEB Amsterdam (AEB Amsterdam, 2018).....	39
Tabla 4. Histórico de datos de las plantas AEB Amsterdam (AEB Amsterdam, 2018) .....	39
Tabla 5. Histórico de generación de RSU en Canarias 2004-2015 (ISTAC, 2018).....	52
Tabla 6. Histórico de generación de RSU en Canarias por tipología 2010-2015 (ISTAC, 2018) .....	53
Tabla 7. Personal de la ULPGC. Curso 2017/2018 (ULPGC, 2018).....	60
Tabla 8. Alumnos en la ULPGC. Curso 2017/2018 (ULPGC, 2018).....	60
Tabla 9. Alumnos en los Campus de Lanzarote y Fuerteventura (ULPGC, 2018).....	60
Tabla 10. Superficie de las zonas verdes .....	65
Tabla 11. Inventario de especies por familia y campus .....	65
Tabla 12. Paños de césped distribuidos por campus.....	66
Tabla 13. Distribución del calendario académico.....	67
Tabla 14. Cálculo del total de residuos.....	67
Tabla 15. Composición media de los residuos domésticos de la isla de Gran Canaria. Año 2010 (Gobierno de Canarias, 2010).....	67
Tabla 16. Cantidades de RSU totales según tipología .....	68
Tabla 17. Cantidad de residuos recogidos en las zonas verdes entre los años 2013-2017.....	69
Tabla 18. Previsión de residuos esperados en las zonas verdes .....	69
Tabla 19. Cantidades de RSU en las zonas verdes según tipología.....	70
Tabla 20. Cantidades de RSU procedentes de la recogida en contenedores según tipología .....	70
Tabla 21. Comprobación de las cantidades de RSU procedentes de la recogida en contenedores .....	71
Tabla 22. Previsión de caudal suministrado .....	72
Tabla 23. Previsión de caudal de aguas residuales .....	72
Tabla 24. Cálculo de los ratios de producción de lodo a partir del volumen de agua tratada .....	73
Tabla 25. Cálculo de la producción de lodo .....	73
Tabla 26. Inventario de animales existentes en el Campus de Montaña de Cardones .....	74
Tabla 27. Previsión de deyecciones ganaderas .....	76
Tabla 28. Resumen cantidad anual de residuos de incineración.....	76
Tabla 29. Resumen cantidad anual de residuos digestión anaerobia .....	77
Tabla 30. Contenido típico en humedad de las diferentes fracciones que componen los RSU (Sadhvani Alonso, 2015).....	77
Tabla 31. Contenido de humedad de la muestra.....	78
Tabla 32. Cálculo de composición de la muestra para diagrama de Tanner.....	79
Tabla 33. PCI considerados (Fuentes varias, ver tabla).....	81
Tabla 34. Resumen cantidad diaria de residuos incineración .....	81
Tabla 35. Energía bruta disponible (kcal/h) .....	82
Tabla 36. Valores de rendimiento de la maquinaria, pérdidas de calor y consumo de la propia estación .....	82
Tabla 37. Cálculo de la energía bruta generada y la energía neta disponible. Método 1.....	83
Tabla 38. Cálculo de la tasa de calor y la eficacia del sistema. Método 1.....	83
Tabla 39. Cálculo de ratios: kW generados /kg de residuo.....	83
Tabla 40. Ratios extraídos de plantas de incineración en funcionamiento: kWh generados /kg de residuo .....	83
Tabla 41. Cálculo de la energía generada. Método 2.....	84
Tabla 42. Cálculo de los ratios de producción de biogás a partir de la cantidad de lodos de EDAR .....	84
Tabla 43. Cálculo de la producción de biogás a partir de lodos de EDAR.....	85
Tabla 44. Cálculo de la energía neta generada a partir lodos de EDAR.....	86
Tabla 45. Cálculo de la producción de biogás a partir de deyecciones ganaderas.....	86
Tabla 46. Cálculo de la producción de energía bruta a partir de deyecciones ganaderas .....	88
Tabla 47. Resumen de la cantidad de residuos y del potencial energético .....	93

Tabla 48. Consumo orientativo global de las instalaciones de la ULPGC .....	98
Tabla 49. Aporte de la energía generada a la factura eléctrica del ámbito de actuación .....	98
Tabla 50. Tipos de costes e ingresos en una planta incineradora de RSU (Sadhvani Alonso, 2015) .....	99
Tabla 51. Cálculo del ahorro en la factura eléctrica del ámbito de estudio .....	100
Tabla 52. Cantidad necesaria de combustibles fósiles .....	102
Tabla 53. Potencia instalada y generación de energía eólica y solar fotovoltaica en Canarias. Años 2013-2017 (Red Eléctrica de España, 2018).....	102
Tabla 54. Potencia instalada necesaria de energía eólica y solar fotovoltaica .....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plantas de conversión de residuos en energía en Europa. Año 2015 (Confederation of European Waste-to-Energy Plants, 2018).....	16
Figura 2. Generación de residuos domésticos por habitante en Europa. Año 2015 (Eurostat, 2018).....	17
Figura 3. Tratamiento de residuos municipales en 2015 EU 28 + Switzerland + Norway and Iceland (Confederation of European Waste-to-Energy Plants, 2018).....	18
Figura 4. Residuos de competencia municipal tratados en España según tipo de instalación. Año 2015 (MAPAMA, 2015).....	18
Figura 5. Producción de energía primaria a partir de biogás en los países de la UE a finales de 2016 (en ktep), con las respectivas cuotas de cada subsector (EurObserv'ER, 2018).....	19
Figura 6. Producción primaria de biogás en la UE (en ktep) en 2015 y 2016 (EurObserv'ER, 2018).....	20
Figura 7. Posibilidades de tratamiento y valorización de los RSU (Elías Castells, 2013).....	27
Figura 8. Balance de masas de la planta SIRUSA (Rubio Martín, 2013).....	33
Figura 9. Esquema de la Planta de Valorización Energética SIRUSA (Sadhvani Alonso, 2015).....	34
Figura 10. Esquema de la WFPP de AEB Amsterdam (AEB Amsterdam, 2018).....	40
Figura 11. Valores de las emisiones de la WFPP vs límites holandeses (AEB Amsterdam, 2018).....	44
Figura 12. Balance de masas de la WFPP (AEB Amsterdam, 2018).....	46
Figura 13. Cuadro resumen de los principales datos de gestión de las plantas de tratamiento (Herrero Mallén, Fernández, Bescós Roy, & López de Torres, 2014).....	51
Figura 14. Composición media de los residuos en Gran Canaria. Año 2001 (Gobierno de Canarias, 2001).....	53
Figura 15. Composición media de los residuos en Gran Canaria. Año 2010 (Gobierno de Canarias, 2010).....	54
Figura 16. Comparativa Campañas 2001-2010 (Gobierno de Canarias, 2010).....	54
Figura 17. Datos del 2017 relativos al tratamiento y producción eléctrica de la planta de biometanización del Complejo Ambiental de Zonzamas, Lanzarote (Lanzarote Recicla, 2018).....	55
Figura 18. Situación en 2015 por CCAA respecto al % de las operaciones computables para la consecución del objetivo del 50% de preparación para la reutilización y reciclado de los residuos domésticos y similares, en 2020 (MAPAMA, 2015).....	56
Figura 19. Cantidades de residuos generados y tratados en 2015, desglosadas por CCAA (MAPAMA, 2015).....	57
Figura 20. Mapa Campus del Obelisco (ULPGC, 2018).....	61
Figura 21. Mapa Campus de montaña de Cardones (ULPGC, 2018).....	62
Figura 22. Mapa Campus de San Cristóbal (ULPGC, 2018).....	62
Figura 23. Mapa Campus de Tafira (ULPGC, 2018).....	63
Figura 24. Infografías Campus de Taliarte (ULPGC, 2018).....	63
Figura 25. Mapa Rectorado y NESA (ULPGC, 2018).....	64
Figura 26. Evolución mensual de la cantidad de residuos recogidos en las zonas verdes entre los años 2013-2017.....	69
Figura 27. Contenedores edificio de Ingenierías.....	71
Figura 28. Imágenes de la visita a la Granja. Facultad de Veterinaria.....	74
Figura 29. Generación de nitrógeno y deyecciones para cada tipo de plaza de ganado y fase productiva (Generalitat de Catalunya, 2004).....	75
Figura 30. Diagrama de Tanner (Sadhvani Alonso, 2015).....	79
Figura 31. Componentes del biogás en función del sustrato utilizado (Campos, Bonmatí, Teira, & Floats, 2001).....	85
Figura 32. Componentes del biogás a partir de residuos ganaderos (Unións Agrarias-UPA, 2012).....	87
Figura 33. Caracterización relativa para la co-digestión de diferentes residuos orgánicos (Campos, Bonmatí, Teira, & Floats, 2001).....	89
Figura 34. Plantas de co-digestión de residuos ganaderos y lodos de tratamiento de aguas (Agencia Andaluza de la Energía, 2011).....	90
Figura 35. Esquema instalación tipo de una planta de digestión anaerobia (Generalitat de Catalunya, 2004).....	91
Figura 36. Diagrama de flujo de una planta de biogás agroindustrial (MAPAMA, 2010).....	92

Figura 37. Reducción de malos olores de purines de cerdo mediante digestión anaerobia (Campos, Elías, & Floats, 2005)..... 96

Figura 38. Emisiones de compuestos volátiles durante compostaje aerobio y durante la maduración después de digestión anaerobia, expresado en gramos por tonelada de residuo (Campos, Elías, & Floats, 2005) ..... 96

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

La generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y su mala gestión constituyen un gran problema medioambiental en Canarias que se ve agravado debido al carácter insular del territorio. Los grandes volúmenes de residuos generados y los problemas de eliminación provocados por la falta de suelo para la ubicación de vertederos controlados o para la implantación de plantas incineradoras, constituyen los condicionantes más importantes de este problema.

Por esta razón es necesario una gestión de residuos integral de todo el proceso que contemple desde la prevención hasta la eliminación, incluyendo la preparación para la reutilización, el reciclado y otro tipo de valorización como es la energética. A partir de la valorización energética se puede reducir el volumen de los residuos y, consecuentemente, la cantidad de estos que se acumulan exponencialmente año tras año en los vertederos de las islas.

### 1.2. OBJETO DEL ESTUDIO

El Trabajo Fin de Máster (TFM) se centra en la realización de un estudio del potencial energético de la biomasa proveniente de la poda de especies vegetales y residuos orgánicos, generados en los distintos Campus y Edificios Universitarios ubicados en la isla de Gran Canaria (GC), y pertenecientes a la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC).

Los objetivos específicos de este TFM son:

- Estudiar la posibilidad de valorizar energéticamente la biomasa disponible en los residuos generados dentro del ámbito de estudio, entre los que se encuentran: los RSU, los lodos de depuradora, las deyecciones ganaderas, los residuos forestales y vegetales (en especial los residuos de poda de la palmera canaria), a los que a día de hoy no se les está dando ningún uso y finalizan en vertedero.
- Producir energía eléctrica a través de combustibles de coste cero, generados por la propia actividad académica y educativa en los distintos edificios, y por los tratamientos silvícolas usuales en el mantenimiento de las especies forestales-vegetales que ornamentan los distintos Campus Universitarios.
- Disminuir el volumen de los residuos generados en el ámbito de estudio.

En cuanto a los objetivos generales:

- Beneficiar a la sociedad, contribuyendo en los campos de:
  - Energía, seguridad y modelos energéticos seguros, sostenibles y eficientes.

- Acción sobre el clima, eficiencia recursos y materias primas.
- Diversificar las fuentes y procesos de obtención de energía con el fin de disminuir la dependencia a las energías no renovables.
- Ayudar a la consecución de los objetivos propuestos en las distintas Directivas Europeas en materia de gestión de residuos.

### 1.3. MARCO NORMATIVO

Europa aboga por políticas que reduzcan la eliminación de los residuos a través de vertederos, algunos países incluso prohíben la entrada a vertedero de cualquier fracción orgánica combustible. Existen Directivas Comunitarias que regulan la valorización de los residuos, las cuales una vez transpuestas al ordenamiento jurídico español, se convierten en legislación de obligado cumplimiento. Los pilares de la gestión de residuos se sustentan en dos leyes. Por un lado la Directiva marco de residuos de 2008, y por el otro, la Directiva relativa al vertido de residuos de 1999 (ambas transpuestas a la legislación española).

La Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008. (Directiva marco de residuos), transpuesta en la Ley 22/2011 de 28 de julio de residuos y suelos contaminados, establece la siguiente jerarquía de prioridades en la legislación y políticas sobre prevención y gestión de residuos:

1. Prevención
2. Reutilización
3. Reciclado
4. Otro tipo de valorización (por ejemplo energética)
5. Eliminación

La valorización energética de residuos es un proceso mediante el cual los vertidos se someten a ciertos tratamientos, de forma que se reduce su volumen y se generan unas pequeñas cantidades de residuos y, a su vez, energía proveniente de los materiales contenidos. Esta energía obtenida es equiparable en muchas ocasiones y dependiendo del residuo a los combustibles convencionales.

Esta alternativa aumenta año tras año su presencia e implantación. El doble objetivo final es el mismo en todos los casos: (Condorchem Envitech, 2018)

- Encontrar una forma más eficiente de gestionar los residuos.
- Obtener una nueva fuente de abastecimiento energético, que contribuya a reducir la dependencia energética.

Las plantas de aprovechamiento energético de biomasa están reguladas por diversas normativas. Por un lado, desde el punto de vista de la potencia térmica, todas aquellas instalaciones de combustión, cuya potencia térmica nominal sea igual o superior a 50 MW, están sometidas a la legislación del Real Decreto 430/2004 (que deroga al Real Decreto 646/1991), que establece los límites de emisión de agentes contaminantes como el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y las partículas. Todas aquellas instalaciones industriales de combustión, de potencia térmica nominal inferior a 50 MW, están reguladas por el Decreto 833/75 y Real Decreto 102/2011, relativo a la mejora de la calidad del aire (que deroga al RD 1613/85). En este último tipo de instalaciones resulta relevante también la Directiva 2015/2193/UE sobre la limitación de las emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de las instalaciones de combustión medianas, a la espera de la transposición española.

Entre la normativa más importante a nivel europeo, nacional y canario, cabe mencionar:

COMUNITARIA	ESTATAL	AUTONÓMICA
Directiva 2008/98/CE sobre residuos.	Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados.	Ley 1/1999 de residuos de Canarias.
Directiva 2008/1/CE sobre prevención y control integrado de la contaminación.	Real Decreto Legislativo 1/2016, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación. Deroga la Ley 16/2002 prevención y control de la contaminación.	Decreto 112/2004 procedimiento y requisitos de autorizaciones de gestión de residuos y registro de gestores de Canarias.
Directiva 2000/76/ actualizada mediante la Directiva 2010/75/UE sobre emisiones industriales.	Real Decreto 9/2005 actividades potencialmente contaminantes del suelo.	Decreto 147/2007 crea el inventario de suelos contaminados y regula su régimen jurídico.
	Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.	
Directiva 1999/31/CE del Consejo de 26 de abril de 1999 relativa al vertido de residuos.	Real Decreto 1481/2001 regula la eliminación de residuos mediante depósito en el vertedero.	
Directiva 86/278/CEE, protección del medio ambiente y de suelos en el uso de lodos de EDAR (Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales).	Real Decreto 1310/1990 y la Orden AAA/1072/2013 regulan la utilización de lodos de EDAR en el sector agrario.	Decreto 65/2001 regula el contenido y funcionamiento del registro de productores de lodos de EDAR.
	Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.	
Directiva 91/676/CEE protección de las aguas contra contaminación por nitratos.	Real Decreto 261/1996 protección de las aguas contra contaminación por nitratos.	Código de Buenas Prácticas Agrarias.
		Decreto 49/2000 determina las masas de agua contaminadas por nitratos.
Directiva 2009/28/CE fomento del uso de energías renovables.	Real Decreto-Ley 9/2013 medidas para garantizar la estabilidad del sistema eléctrico. Deroga al Real Decreto 661/2007.	

	Orden IET/1491/2013 peajes a la energía eléctrica y tarifas y primas de instalaciones en régimen especial.	
Reglamento SANDACH: Reglamento (CE) nº 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales)	Real Decreto 1528/2012, de 8 de noviembre, por el que se establecen las normas aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano, que deroga al Real Decreto 1429/2003, de 21 de noviembre, por el que se regulan las condiciones de aplicación de la normativa comunitaria en materia de subproductos de origen animal no destinados al consumo humano	

Tabla 1. Actualización mediante elaboración propia del marco normativo en materia de residuos (Gobierno de Canarias, 2013)

### 1.4. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN MATERIA DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA

El número total de plantas incineradoras con recuperación de energía en Europa en el año 2015 era de 485, repartidas según muestra la *Figura 1*.

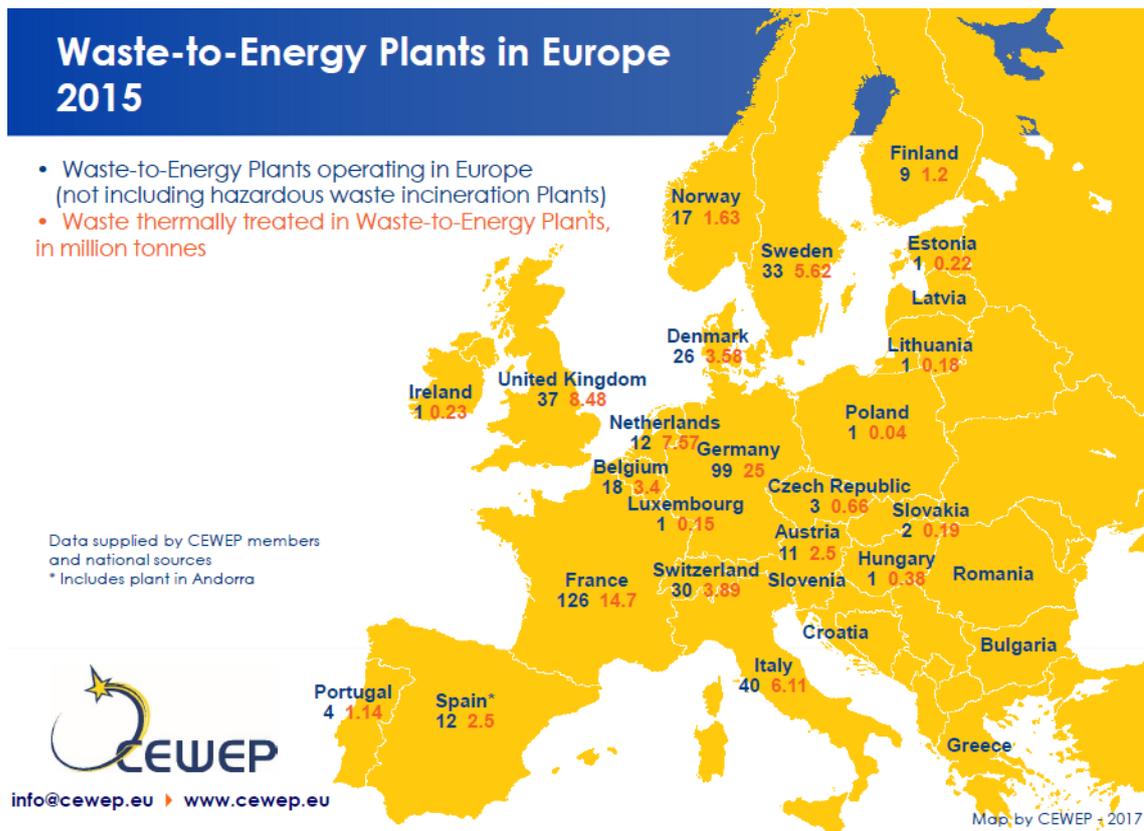


Figura 1. Plantas de conversión de residuos en energía en Europa. Año 2015 (Confederation of European Waste-to-Energy Plants, 2018)

La gestión de los residuos se ha convertido en uno de los principales desafíos que debe enfrentar la sociedad actual, debido fundamentalmente a su generación creciente y su gran impacto ambiental, social y económico.

En España, cada ciudadano genera un kilo y medio de basura al día aproximadamente (Residuos Sólidos Urbanos), a lo que habría que sumar los residuos asociados a la actividad industrial (Residuos Industriales).

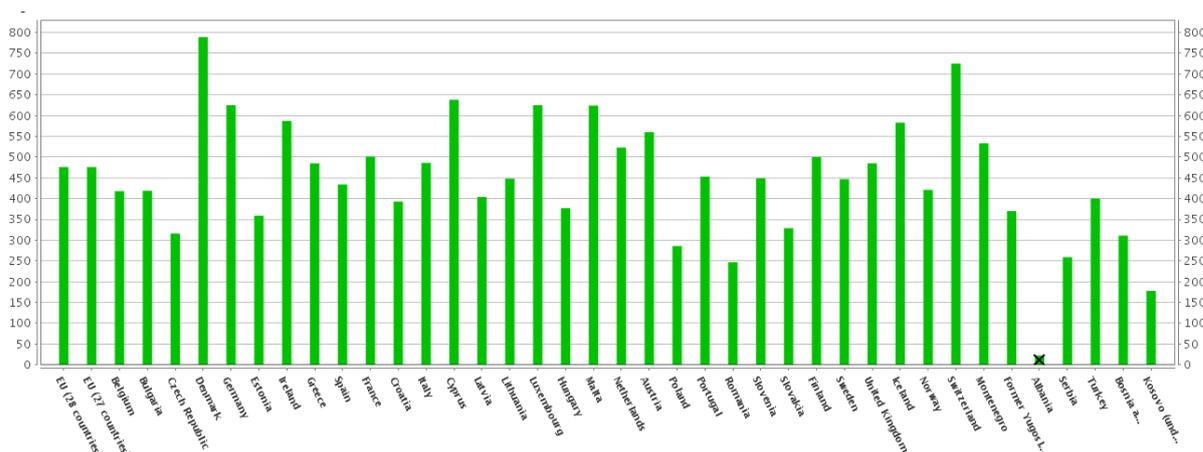


Figura 2. Generación de residuos domésticos por habitante en Europa. Año 2015 (Eurostat, 2018)

En su mayoría estos residuos son destinados a vertederos, opción que representa la vía de gestión menos recomendable tanto a nivel ambiental como en lo relativo a la presión que esto ejerce sobre el territorio. La implantación de otras vías de gestión posibles, como son el reciclaje o la valorización material o energética, ha ido creciendo en los últimos años, aunque continúan aun representando unos niveles muy por debajo de la media de la Unión Europea (UE).

Sin embargo, esta situación puede ir cambiando en los próximos años gracias al impulso iniciado desde Europa para reducir al mínimo la eliminación de los residuos en vertederos y aumentar al máximo posible el uso de las otras vías más sostenibles.

En España, el aprovechamiento energético de los residuos es aún una práctica mucho menos utilizada que en el resto de Europa (sólo un 12% de los residuos urbanos) y por tanto, presenta un amplio margen de desarrollo. En otras palabras, existe un importante potencial en la valorización energética de los residuos de nuestro país el cual, en caso de aprovecharse, contribuiría significativamente en el perfeccionamiento de la gestión de los residuos y generaría una aportación muy relevante dentro del mix energético español que se traduciría en una mejora, dado el alto grado de dependencia energética externa.

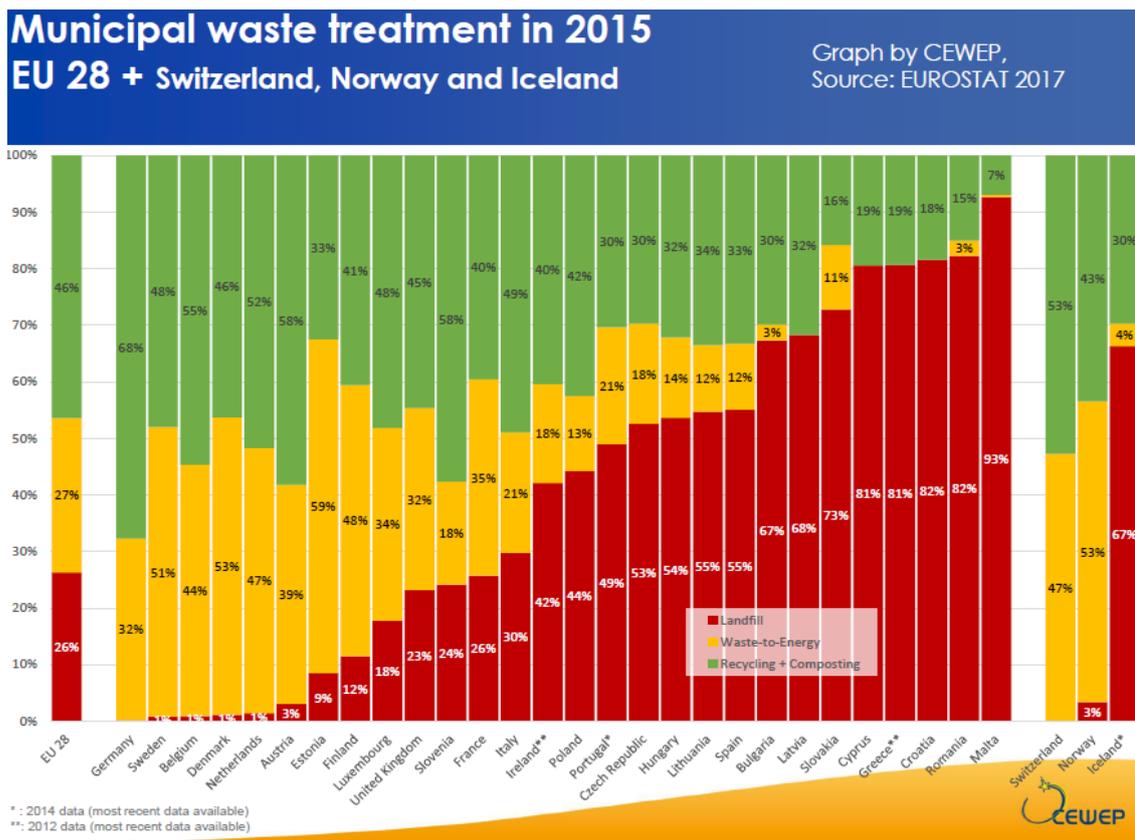


Figura 3. Tratamiento de residuos municipales en 2015 EU 28 + Switzerland + Norway and Iceland (Confederation of European Waste-to-Energy Plants, 2018)

RESIDUOS DE COMPETENCIA MUNICIPAL TRATADOS SEGUN TIPO DE INSTALACIÓN. 2015		
Instalaciones de tratamiento de residuos	Nº de instalaciones	Entrada (t/año)
Instalaciones de clasificación de envases	92	592.353
Instalaciones de triaje	5	1.046.861
Instalaciones de compostaje de fracción orgánica recogida separadamente	42	437.141
Instalaciones de triaje y compostaje	68	7.857.097
Instalaciones de triaje, biometanización y compostaje de fracción orgánica recogida separadamente	8	255.831
Instalaciones de triaje, biometanización y compostaje	22	3.063.228
Instalaciones de incineración	10	2.487.174
Vertederos	126	12.072.498

Figura 4. Residuos de competencia municipal tratados en España según tipo de instalación. Año 2015 (MAPAMA, 2015)

Si nos centramos en la producción de biogás, países como Alemania, Reino Unido e Italia llevan la delantera situándose en cabeza al contar con cifras notablemente superiores al resto de países que conforman la UE.



Country	2015				2016*			
	Landfill biogas	Sewage sludge biogas <sup>1)</sup>	Others biogas from anaerobic fermentation <sup>2)</sup>	Total	Landfill biogas	Sewage sludge biogas <sup>1)</sup>	Others biogas from anaerobic fermentation <sup>2)</sup>	Total
Germany	94.0	451.7	7 306.6	7 852.4	84.6	461.5	7 410.2	7 956.3
United Kingdom	1 450.8	327.8	473.8	2 252.4	1 400.4	345.6	660.9	2 406.9
Italy <sup>3)</sup>	369.0	53.5	1 448.9	1 871.5	400.1	58.0	1 570.8	2 028.9
Czech Republic	27.1	40.0	546.2	613.4	25.4	41.5	534.0	601.0
France	355.0	31.7	152.3	539.0	350.0	35.0	194.6	579.6
Netherlands	19.5	55.3	252.2	327.0	16.4	57.5	250.5	324.4
Austria	4.4	11.3	284.3	300.1	3.1	11.7	294.0	308.9
Poland	50.8	96.6	81.5	228.8	51.0	100.0	121.8	272.8
Belgium	25.7	24.1	176.9	226.7	26.8	25.2	184.6	236.6
Spain	140.6	70.4	50.6	261.6	124.1	62.1	44.6	230.8
Sweden <sup>4)</sup>	16.1	59.9	90.7	166.7	15.0	61.0	97.6	173.5
Slovakia	3.4	14.8	130.5	148.6	3.4	14.7	130.0	148.1
Denmark	4.2	21.8	125.6	151.6	3.4	17.7	101.8	122.9
Finland <sup>4)</sup>	27.9	15.5	59.9	103.2	28.0	15.0	64.5	107.5
Greece	69.9	15.9	5.6	91.4	72.5	16.6	12.6	101.7
Latvia	8.4	2.0	77.4	87.8	7.8	2.6	79.5	89.9
Hungary	13.9	20.3	45.5	79.7	13.9	20.4	46.2	80.5
Portugal	71.2	2.6	8.8	82.6	68.2	3.0	9.2	80.3
Ireland	41.0	8.0	5.6	54.6	40.3	8.5	7.5	56.3
Croatia	5.1	3.4	27.5	36.0	6.0	4.1	32.8	43.0
Slovenia	5.0	2.4	22.2	29.7	3.7	2.2	24.3	30.2
Bulgaria	5.0	14.0	0.0	19.0	9.0	19.0	0.0	28.0
Lithuania	8.5	7.5	16.0	32.0	8.2	7.0	8.2	23.4
Luxembourg	0.0	1.6	16.1	17.7	0.0	2.3	17.6	19.9
Romania	1.0	0.1	17.0	18.1	1.0	0.1	17.0	18.1
Cyprus	0.0	0.0	11.5	11.5	0.0	0.0	11.7	11.7
Estonia	11.6	1.5	0.0	13.1	10.7	0.0	0.0	10.7
Malta	0.1	1.0	0.5	1.6	0.0	1.2	0.5	1.8
<b>EU 28</b>	<b>2 829.1</b>	<b>1 354.8</b>	<b>11 433.8</b>	<b>15 617.8</b>	<b>2 773.0</b>	<b>1 393.5</b>	<b>11 927.1</b>	<b>16 093.6</b>

1) Urban and industrial. 2) Decentralised agricultural plant, municipal solid waste methanisation plant, industrial methanisation plant, centralised co-digestion plant. 3) A biomethane production by thermal processes has been included in the "other biogas (biomethane)" category in Italy, Finland and Sweden. \* Estimate. Note: When the information was not yet available, the breakdown between the different types of biogas was estimated by EurObserv'ER for the year 2016 according to the breakdown of the year 2015. Source: EurObserv'ER 2017

Figura 6. Producción primaria de biogás en la UE (en ktep) en 2015 y 2016 (EurObserv'ER, 2018)

## **CAPÍTULO 2. BIOMASA: FUNDAMENTO Y APLICACIONES**

### **2.1. CONCEPTO DE BIOMASA**

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, define biomasa como: “La fracción biodegradable de los productos, deshechos y residuos 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 industriales y municipales».

Dentro de esta definición se engloban diversas fuentes energéticas que comparten algunas características, pero que a su vez, utilizan distintas tecnologías para su aplicación y producción energética.

### **2.2. TIPOS DE BIOMASA**

El observatorio que mide el progreso realizado por las energías renovables en cada sector y en cada estado miembro de la Unión Europea (EurObserv'ER barometer), aporta datos lo más actualizados posible (Cerdá, 2012). Dentro de la bioenergía o biomasa en sentido amplio, se distinguen cuatro fuentes energéticas:

- 1) Biomasa sólida.
- 2) Biogás.
- 3) Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU).
- 4) Biocarburantes (también llamados biocombustibles líquidos).

Estas cuatro fuentes energéticas constituyen lo que conocemos como biomasa y se definen a continuación (Cerdá, Caparrós, & Ovando, 2008):

#### **Biomasa sólida**

De acuerdo con la terminología que utiliza el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), el aprovechamiento térmico o eléctrico de la materia orgánica de origen vegetal o animal, excluyendo los biocarburantes, el biogás y los residuos sólidos urbanos, constituye la energía de la biomasa sólida. Dependiendo del origen y composición de cada uno de los materiales y residuos utilizados, la biomasa sólida se divide en:

- a) Primaria: formada por cultivos energéticos, que son cultivos de especies vegetales destinados específicamente a la producción de biomasa para uso energético. Entre las especies agrícolas para producción de biomasa lignocelulósica podemos citar el

cardo, el sorgo, la brassica carinata o la colza etíope, entre otras. Entre las especies forestales leñosas se pueden citar, entre otras, el chopo, el sauce, el eucalipto. Y finalmente, el miscanthus entre las especies de pastos.

- b) Residual o secundaria: residuos forestales (como los generados en operaciones de limpieza o poda), residuos agrícolas leñosos (como podas de olivos, viñedos y frutales), residuos agrícolas herbáceos (como la paja de cereales de invierno o el cañote del maíz), residuos de industrias forestales y agrícolas (astillas, cortezas, serrín, huesos de aceitunas, cáscaras de frutos secos, cascarilla de arroz, etc.) (Cerdá, 2012)

### **Biogás**

Se denomina metanización al proceso de fermentación anaeróbica de los componentes orgánicos de los residuos. Dicha fermentación es producida por bacterias que se desarrollan en ambientes carentes de oxígeno. Durante el proceso de transformación de la materia orgánica, llamado digestión, dichas bacterias producen un gas denominado por su origen biogás.

El biogás se obtiene a partir de distintos tipos de depósitos. Puede proceder de la metanización natural de los RSU depositados en los vertederos (desgasificación de vertederos) o puede ser producida en digestores anaerobios (metanización voluntaria). La digestión anaerobia puede aplicarse, entre otros, a excedentes de cosechas, cultivos energéticos, residuos agrícolas, residuos ganaderos (como purines o estiércol), lodos procedentes de EDAR o efluentes industriales. Estos residuos se pueden tratar de forma independiente o conjunta (co-digestión). El biogás resultante de aguas residuales urbanas y efluentes industriales generalmente es producido en las mismas plantas depuradoras. Los residuos agrícolas y ganaderos pueden ser tratados en pequeñas plantas de biogás a nivel de granja o grupo de granjas.

La composición del biogás, dependiendo del sustrato y del tipo de tecnología utilizada, puede ser la siguiente: 50-70% de metano ( $\text{CH}_4$ ), 30-40% de anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) y una cantidad inferior al 5% de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y otros gases. El biogás puede tener diferentes usos: generación de calor y electricidad en una caldera, generación de electricidad en motores y turbinas, pilas de combustible previa realización de una limpieza de  $\text{H}_2\text{S}$  y otros contaminantes de las membranas, introducción en una red de transporte de gas natural previa purificación y agregación de los aditivos necesarios, material de base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como el metanol o el gas natural licuado, e incluso como combustible de automoción. (Cerdá, 2012)

## **FORSU**

La Directiva de la Unión Europea 2008/98/CE define como «biorresiduo» al residuo biodegradable de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedente de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y establecimientos de consumo al por menor, y residuos comparables procedentes de plantas de transformación de alimentos. Su transformación en energía se realiza por incineración.

La valorización energética de los RSU reduce las emisiones de gases de efecto invernadero mediante dos vías: a través de la generación de energía térmica y/o eléctrica en sustitución de combustibles fósiles, y evitando emisiones de metano en vertederos.

Cabe señalar que no todos los residuos que se incineran permiten la recuperación de energía. Actualmente, la mayor parte de las plantas de incineración de residuos recuperan la energía procedente de la incineración, pero la realidad es que no todas lo hacen. De hecho, al referirse a los posibles destinos de los RSU, se distingue entre incineración con recuperación de energía e incineración sin recuperación.

## **Biocarburantes**

Se denominan biocarburantes a los combustibles líquidos de origen biológico que por sus características físico-químicas resultan adecuados para sustituir a la gasolina o al gasóleo, bien sea de manera total, en mezcla con estos últimos o como aditivo.

Los biocarburantes más utilizados en la actualidad son el bioetanol, que sustituye a la gasolina, y el biodiésel, que sustituye al gasóleo. El bioetanol se obtiene mediante la fermentación de los azúcares presentes en plantas como la caña de azúcar o la remolacha, o mediante la hidrólisis y la fermentación del almidón obtenido del maíz y otros cereales. El biodiésel se obtiene tras someter a los aceites vegetales (soja, palma, girasol o colza, principalmente) a un proceso industrial de transesterificación. La mayor parte del biodiésel y cerca de un 80% del bioetanol producidos en el mundo se utilizan como combustibles para transporte. El resto sirve como insumo en la fabricación de bebidas alcohólicas y en otras industrias como la farmacéutica.

### **2.3. USOS DE LA BIOMASA**

La energía producida con biomasa se puede usar para calefacción, refrigeración y producción de agua caliente en el sector doméstico (viviendas unifamiliares, comunidades de vecinos, barrios o municipios enteros), calor para procesos industriales y generación de electricidad. Es decir, las fuentes energéticas provenientes de biomasa pueden tener tanto aplicaciones térmicas como eléctricas.

Los usos y aplicaciones más comunes son: (IDAE, 2007)

### **2.3.1. APLICACIONES TÉRMICAS**

La producción térmica sigue una escala de usos que comienza con las calderas o estufas individuales utilizadas tradicionalmente en los hogares. En un segundo escalón se sitúan las calderas diseñadas para un bloque o edificio de viviendas, equiparables en su funcionamiento a las habituales de gasóleo C o gas natural, que proveen a las viviendas de calefacción y agua caliente. En un tercer escalón aparecen las redes de calefacción centralizada (district heating), muy extendidas en el centro y norte de Europa. La red de calor y agua caliente llega no sólo a urbanizaciones y otras viviendas residenciales sino también a edificios públicos, centros deportivos, complejos comerciales e incluso industrias. Estas centrales térmicas requieren instalaciones exclusivas, debido al mayor tamaño tanto de las calderas como de los silos de almacenamiento. Estas instalaciones también permiten la distribución de frío para la climatización de viviendas y otros edificios en verano.

Asimismo, en algunos casos también pueden cubrirse las necesidades térmicas de ciertas industrias con calderas de biomasa. Como es el caso de las industrias agroforestales que normalmente aprovechan sus residuos para la producción de calor y, en ocasiones, se acompaña de producción eléctrica (cogeneración con biomasa).

### **2.3.2. APLICACIONES ELÉCTRICAS**

La producción de electricidad a partir de biomasa sólida precisa de sistemas complejos, dado el bajo poder calórico de esta fuente energética, su alto porcentaje de humedad y su gran contenido de volátiles. Para ello se necesitan centrales específicas con grandes calderas, con volúmenes de hogar mayores que si utilizaran combustibles convencionales, que conllevan inversiones elevadas y reducen su rendimiento. Todo ello, unido a la dificultad de aprovisionamiento de la biomasa, hace que tenga menor peso la biomasa eléctrica que la biomasa para usos térmicos en el cómputo global de esta energía.

Sin embargo, la aplicación eléctrica de la biomasa sólida contribuye a la estabilidad de la red de distribución, dada su capacidad para proporcionar al sistema eléctrico garantía de suministro a cualquier hora del día, independientemente de las diferentes condiciones meteorológicas (sol, viento o lluvia). Se trata, por tanto, de una energía renovable con un carácter gestionable lo que la distingue de otras fuentes renovables.

En general, para cualquier combustible, la generación de electricidad típicamente tiene una eficiencia de conversión directa del 35%, lo cual significa que el 35% del contenido en energía primaria es convertido en electricidad (energía final). La producción de calor tiene una eficiencia de conversión directa del 85%. Una planta de cogeneración genera a la vez calor y electricidad (por cada unidad de electricidad da dos unidades de calor). La cogeneración con biomasa permite acercar la

generación eléctrica y térmica a los centros de producción, reduciendo pérdidas de transporte y evitando la construcción de nuevas plantas de energía convencional que suministren esa demanda eléctrica y térmica.

## **CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE**

### **3.1. TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN DE BIOMASA EN ENERGÍA**

Hay que diferenciar entre procesos termoquímicos (combustión, pirólisis y gasificación) y procesos bioquímicos (digestión anaerobia). (Cerdá, 2012)

#### **Combustión de biomasa**

Se trata de un proceso en el que el carbono y el hidrógeno contenidos en el combustible reaccionan con el exceso de oxígeno para formar CO<sub>2</sub> y agua y liberar calor. Los procesos de combustión son bien conocidos y existe una amplia variedad de tecnologías comerciales adaptadas a las características de la biomasa y a la escala de sus aplicaciones.

Una alternativa para la producción de energía a partir de biomasa es la co-combustión en centrales térmicas de carbón convencionales ya en funcionamiento. Se trata de una tecnología de desarrollo relativamente reciente, consistente en la sustitución de parte del carbón empleado en la central, generalmente entre el 2 y el 20% en energía, por biomasa. Aunque es un porcentaje pequeño, debido al gran tamaño de las centrales, el resultado final es la producción de una muy importante cantidad de energía eléctrica con este combustible renovable. Además de la biomasa residual seca (residuos forestales, agrícolas, etc.) también se adapta a esta tecnología los cultivos energéticos. (Royo, Canalís, & Sebastián, 2007)

#### **Pirólisis**

Se trata de un proceso de descomposición de biomasa a través de una oxidación incompleta en ausencia de oxígeno que genera compuestos sólidos (carbón vegetal), líquidos y gaseosos aptos como materiales para distintas industrias o como combustibles. Las cantidades relativas de los tres productos que se obtienen dependen de la temperatura a la que se opere y del tiempo de residencia utilizado en el proceso.

#### **Gasificación de biomasa**

Ocurre cuando se produce una oxidación parcial de biomasa a través del calor. Ello produce un combustible compuesto por una mezcla de gases, rico en CO y en hidrógeno que tiene un contenido energético del orden del 10-45 % del valor calorífico del gas natural (dependiendo del tipo de biomasa y de si la gasificación tiene lugar con aire, oxígeno o calor indirecto). El gas obtenido puede ser enriquecido para obtener una mezcla de gases de mayor calidad llamada gas síntesis de biomasa o syngas.

## Digestión anaerobia

Es un proceso biológico en el que la materia orgánica (estiércol, purines, residuos agrícolas, lodos de aguas residuales, residuos urbanos sólidos o líquidos, residuos de la industria alimentaria etc.), mediante la acción de un consorcio de microorganismos específicos y en ausencia de oxígeno, se descompone en biogás (en el que entre el 50-70% es metano) y en digestato, que es una mezcla de productos minerales y compuestos de difícil degradación.

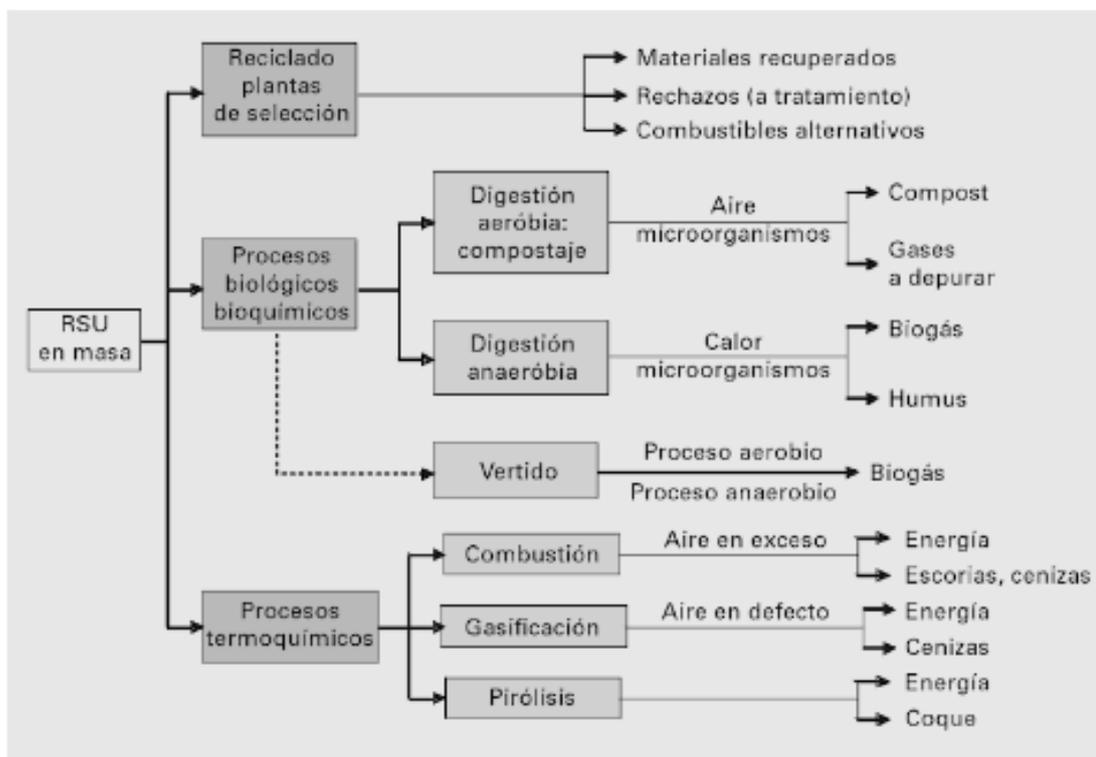


Figura 7. Posibilidades de tratamiento y valorización de los RSU (Elfas Castells, 2013)

### 3.2. DEFINICIÓN Y APLICACIONES DE LOS RESIDUOS EN ESTUDIO

Como se adelantaba en el capítulo introductorio, este documento estudia la posibilidad de valorizar energéticamente la biomasa disponible en los residuos generados por la propia actividad académica y educativa en los distintos edificios, y por los tratamientos silvícolas usuales en el mantenimiento de las especies forestales-vegetales que ornamentan los distintos Campus Universitarios de la ULPGC.

Entre los residuos susceptibles de ser valorizados energéticamente se encuentra:

- RSU.
- Lodos de depuradora.
- Deyecciones ganaderas.

- Residuos forestales y vegetales, haciendo especial hincapié en la palmera canaria (*Phoenix canariensis*), al tratarse del residuo más cuantioso generado en las actividades de mantenimiento y poda de las zonas verdes.

### **3.2.1. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Los Residuos Sólidos Urbanos, denominados Residuos Domésticos en la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados; son aquellos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas. Se consideran también residuos domésticos los similares a los anteriores generados en servicios e industrias.

Se incluyen también en esta categoría los residuos que se generan en los hogares de aparatos eléctricos y electrónicos, ropa, pilas, acumuladores, muebles y enseres así como los residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria.

Tendrán la consideración de residuos domésticos los residuos procedentes de limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, los animales domésticos muertos y los vehículos abandonados.

Los RSU cada vez se utilizan más como combustible para la producción de energía mediante procesos biológicos o térmicos. Desde el punto de vista energético, interesa remarcar los tres componentes principales de los RSU: (Sadhvani Alonso, 2015)

- Materia orgánica fermentable: restos procedentes de la limpieza o la preparación de los alimentos junto a la comida que sobra.
- Inertes y cenizas: metales, vidrios, cerámica, etc.
- Combustibles: papel, cartón, textil y plásticos.

### **3.2.2. LODOS DE DEPURADORAS**

Lodos de depuradoras se denomina al fango o sedimento acuoso en el que se concentran los sólidos sedimentados o decantados de un agua bruta o bien de un reactor biológico, en una EDAR. Existen dos tipos:

- Lodos o fangos primarios: evacuados de la decantación primaria. Se trata de lodos sin digerir con materia orgánica viva.
- Lodos o fangos secundarios: evacuados del decantador secundario. Se trata de lodos digeridos con materia orgánica inerte.

En la línea de fangos de la EDAR, estos lodos se mezclan y se llevan a los digestores. Las bacterias anaeróbicas descomponen la materia orgánica desprendiendo biogás que puede ser utilizado

en una planta de cogeneración termo-eléctrica. Posteriormente, los lodos se centrifugan y el producto resultante del secado denominado “torta” o “biosólido” es susceptible de ser tratado para reutilizar en agricultura (compost), construcción, etc.

En una EDAR los lodos o fangos generados pueden ser tratados como un residuo y depositados en vertedero por ejemplo, o pueden ser aprovechados para producir energía o como materia prima en distintos ámbitos. (AIN Energía, 2018)

El método de valorización energética de lodos más conocido es el del **biogás**. Existen además, otros métodos de aprovechamiento del biogás como por ejemplo su integración en la red de gas natural (siempre y cuando la calidad del mismo sea adecuada). Un proceso que ya se ha llevado a cabo a escala industrial en países como Alemania o Dinamarca. Otros métodos en estudio para el aprovechamiento del biogás son su uso como combustible en vehículos, su utilización como combustible auxiliar en centrales solares termoeléctricas o su aplicación en pilas de combustible.

Otra forma de valorización energética de los lodos es térmicamente mediante la **incineración**. Con este método se reduce el volumen de los lodos y puede obtenerse energía eléctrica mediante la instalación de una o varias turbinas de vapor, un método que ya está implantado en EDAR como las de Galindo (Vizcaya) o La Cartuja (Zaragoza).

La **gasificación** es otro proceso térmico utilizado para valorizar los fangos. En este proceso primero se realiza un secado de los lodos para acondicionarlos y después una pirólisis donde se descomponen de forma endotérmica los compuestos más volátiles. Por tanto, se necesita un aporte de energía adicional que puede proceder de un combustible auxiliar o de los lodos que se van a gasificar. Finalmente se produce la gasificación propiamente dicha donde se obtienen gases como el hidrógeno ( $H_2$ ) o el metano ( $CH_4$ ), que se pueden usar para producir energía.

También se ha hablado de la utilización de los lodos o fangos como materia prima, esto es posible tras realizar un secado térmico de los mismos tras el cual se obtiene un producto con **aplicaciones agrícolas** (compostaje) y que también se puede usar como **fuentes de energía**. Así mismo se pueden aprovechar los nutrientes retirados del agua, tales como nitrógeno y/o fósforo como **fertilizantes**.

La valorización energética de lodos en la industria cementera tiene las ventajas de poder usarlos para la producción de energía sustituyendo en parte a los combustibles fósiles, así como también presentan la posibilidad de introducirlos en el clinker directamente para quedar así embebidos en el cemento, procesos que son habituales en países como Francia o Suiza, estando también en estudio la aplicación de los lodos en la fabricación de ladrillos u hormigón.

### 3.2.3. DEYECCIONES GANADERAS

La definición de “estiércol” incluida en el Reglamento (CE) nº 1069/2009 es: “todo excremento u orina de animal de granja distinto a los peces de piscifactoría, con o sin lecho”. Por tanto, afecta a los estiércoles/camas de ganado bovino, purines de cerdo, y deyecciones de otras especies que se críen en granjas y sean valorizados en plantas de biogás, como por ejemplo la gallinaza (excremento de las gallinas). La diferencia entre purín y estiércol radica en que el primero está diluido con aguas pluviales y de limpieza de las instalaciones ganaderas mientras que el segundo se maneja como sólido debido a los materiales añadidos a las camas (paja, matorral, serrín etc.)

El estiércol es uno de los materiales más utilizados en compostaje. Este residuo ganadero se utiliza desde hace mucho tiempo como fertilizante orgánico, bien mediante su adición directa al suelo, bien tras un proceso de tratamiento físico (se suele desecar) o biológico (como es el compostaje). Los pequeños agricultores suelen decantarse por la primera opción, la adición directa al suelo. Este procedimiento suele realizarse mucho antes de que los cultivos estén en su fase de crecimiento vegetativo, para que haya tiempo de que se descomponga en el suelo y se liberen los nutrientes (en especial el nitrógeno).

Los pequeños agricultores suelen tener un número de ganado limitado pudiendo gestionar fácilmente el estiércol que producen. Cuando las explotaciones son más grandes, la cosa es más compleja. En este caso, se suelen usar algunos métodos y tecnologías para facilitar su gestión: (Compostando Ciencia, 2018)

- Aprovechamiento agrícola

Las deyecciones frescas (conocidas también como “purín“) suelen separarse en dos fases, una líquida (donde se concentran los minerales que se aprovechan en fertirrigación) y otra sólida (donde se concentra la mayor parte orgánica) que es la que se aprovecha para el compostaje. El compostaje es una metodología que sirve para tratar los residuos orgánicos y transformarlos en materia orgánica estable y útil para su uso como abono en agricultura. El proceso es principalmente microbiológico y se desarrolla en condiciones aeróbicas, es decir, los microorganismos aeróbicos (que necesitan oxígeno para crecer) son los principales protagonistas en la degradación de la materia orgánica.

- Aprovechamiento energético

El método más conocido para producir energía a partir de deyecciones ganaderas es la biometanización o digestión anaerobia. En esencia sigue el mismo proceso que la digestión aerobia, aunque en este caso, la microbiología que degrada la materia orgánica son los microorganismos anaeróbicos (que crecen en ausencia de oxígeno) dentro de un reactor. Este proceso genera el biogás que a su vez es utilizado para producir energía eléctrica y/o térmica.

### **3.2.4. RESIDUOS FORESTALES Y VEGETALES**

Tal y como se adelantaba en el *Capítulo 2* del presente documento, los residuos forestales y vegetales generados en operaciones de limpieza y poda entrarían en la tipología de biomasa sólida residual o secundaria y sus usos y aplicaciones son las recogidas en los *Apartados 2.3* y *3.1*.

No se ha encontrado información específica relativa a la valorización energética de los restos de poda de la palmera canaria, que como ya se ha mencionado se trata del residuo más cuantioso generado en las actividades de mantenimiento y poda de las zonas verdes en el ámbito de estudio.

### **3.3. FRONTERA DEL CONOCIMIENTO**

Se estudian en este apartado:

- Las conclusiones alcanzadas en la bibliografía científica consultada en cuanto a la comparación de combustibles utilizados, tecnologías de eliminación de residuos y tecnologías de valorización energética.
- Aplicaciones y casos de éxitos a través de la definición de distintas plantas de valorización energética que se encuentran en funcionamiento en la actualidad.

#### **3.3.1. COMBUSTIBLES FÓSILES VS. BIOMASA**

Desde hace siglos se emplea en el día a día de la humanidad combustibles fósiles como lo son el carbón, el petróleo y el gas natural, pero estos recursos son limitados y con ellos se contamina el medio ambiente. Esta problemática ha puesto de manifiesto la necesidad de buscar otros combustibles alternativos que cubran las necesidades energéticas de la sociedad. La energía procedente de la biomasa, como restos de plantas y otras materias orgánicas, es la forma de abastecimiento energético más antigua del hombre. En la actualidad existen diversas tecnologías para el aprovechamiento de estos recursos naturales.

Las aplicaciones energéticas de los tipos más comunes de biomasa reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> entre un 55 y un 98%, en comparación con los combustibles fósiles, aunque haya que transportar la materia prima a larga distancia, siempre que la producción de la biomasa no cause cambios en el uso de la tierra. Cuando se usan residuos forestales o agrícolas, los ahorros en gases de efecto invernadero están normalmente por encima del 80 % en comparación con los combustibles fósiles. (Cerdá, 2012)

#### **3.3.2. VERTEDERO VS. INCINERACIÓN**

En lo relativo a la eliminación de los residuos, la incineración y el vertedero son las tecnologías más utilizadas. Muchos han sido los estudios que se han llevado a cabo para esclarecer

cual es la mejor alternativa ambiental y energética. La respuesta parece estar clara, la incineración tiene un mejor desempeño ambiental y reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero; eso sí, a un costo notablemente más alto. Por el contrario, el relleno sanitario demuestra ser la mejor opción financiera, solo a corto plazo, ya que ésta opción requiere la necesidad de un vertedero de reemplazo mucho antes. (Assamoi & Lawryshyn, 2012)

En general, la incineración es preferible al vertido atendiendo al uso de energía, las emisiones de gases que contribuyen al calentamiento global y a los resultados totales ponderados incluidos en los estudios. (Finnveden, Johansson, Lind, & Moberg, 2005)

### 3.3.3. TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN TÉRMICA DE LOS RSU

Existen tres tecnologías principales para la conversión térmica de los RSU: caldera de incineración, reactor de pirólisis/gasificación, y reactor de gasificación con arco de plasma. Como ya se ha explicado, la diferencia entre las tecnologías estriba en el aporte del aire de combustión para su proceso. Sin embargo, mientras que la incineración con recuperación de energía es un proceso que cuenta con un gran número de instalaciones a nivel mundial, los otros dos son de reciente desarrollo. Nos centraremos, por tanto, en la incineración al tratarse de la tecnología más madura.

La eficiencia neta de una planta de incineración con generación de energía varía en el rango de 25% - 28%, dependiendo del tipo de sistema de enfriamiento de la planta y del consumo energético del sistema de limpieza de gases. Esta cifra es considerablemente menor a las eficiencias de plantas de generación eléctrica utilizando combustibles fósiles, básicamente por el menor poder calorífico de los RSU, al hecho de que se genera vapor a menores condiciones de presión y temperatura, y a la existencia de equipos de limpieza de gases que requieren de energía eléctrica para su funcionamiento.

En términos de eficiencia en la generación eléctrica, las plantas de incineración más eficientes se encuentran en el norte de Europa, donde nuevas plantas como AEB Amsterdam recuperan 0,7 MWh de electricidad por tonelada de RSU incinerada. Este índice se encuentra en promedio en 0,55 MWh/tn en Estados Unidos. (Comisión Federal de Electricidad e Instituto de Investigaciones Eléctricas, 2012)

Se analiza el caso práctico de una Planta de Incineración de RSU de Tarragona: la planta de SIRUSA (Servicios de Incineración de Residuos Urbanos S.A.).

En dicha planta, y como se puede observar en la *Figura 8*, por cada tonelada de RSU incinerado procedente de un área urbana y suponiendo una concentración elevada de plásticos, papel-cartón, materia orgánica y metales se obtienen: (Rubio Martín, 2013)

- 430 kW/h de energía eléctrica

- 230 kg de escorias
- 25 kg de chatarra
- 30 kg de cenizas en el vertedero



Figura 8. Balance de masas de la planta SIRUSA (Rubio Martín, 2013)

Se muestran a continuación las características principales y el esquema de funcionamiento de las dos plantas analizadas que reflejan los dos extremos, ratios de producción mínimo y máximo:

### 3.3.3.1. CASO DE ESTUDIO 1: SIRUSA

#### PLANTA DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA (SIRUSA, 2018)

Los residuos que SIRUSA trata anualmente siguen un estricto y riguroso control del proceso, que comienza en la fosa y finaliza cuando las escorias y las cenizas se recogen y se tratan para poder ser reutilizadas o gestionadas debidamente.

#### FICHA TÉCNICA

Extensión del solar	56.000 m <sup>2</sup>
Superficie edificada	3.500 m <sup>2</sup>
Capacidad de incineración aproximada	400 tn/día
Capacidad autorización ambiental	168.192 tn/año
Número de hornos	2
Carga mecánica para horno	9,6 tn/h
PCI actual	2.000 – 2.100 kcal/kg
Tiempo mínimo de incineración	2 segundos
Temperatura mínima de incineración	850 °C
Producción máxima de vapor	2 x 22,4 tn/h
Temperatura del vapor	360 °C
Presión del vapor	36 bares
Potencia del turboalternador	7,4 MW
Producción de energía	56.000 MWh
Venta de energía	44.500 MWh
Precio de la tonelada (sin canon) 2017	45,00 €/tn

Tabla 2. Ficha técnica de la Planta de Valorización Energética SIRUSA (SIRUSA, 2018)

ESQUEMA

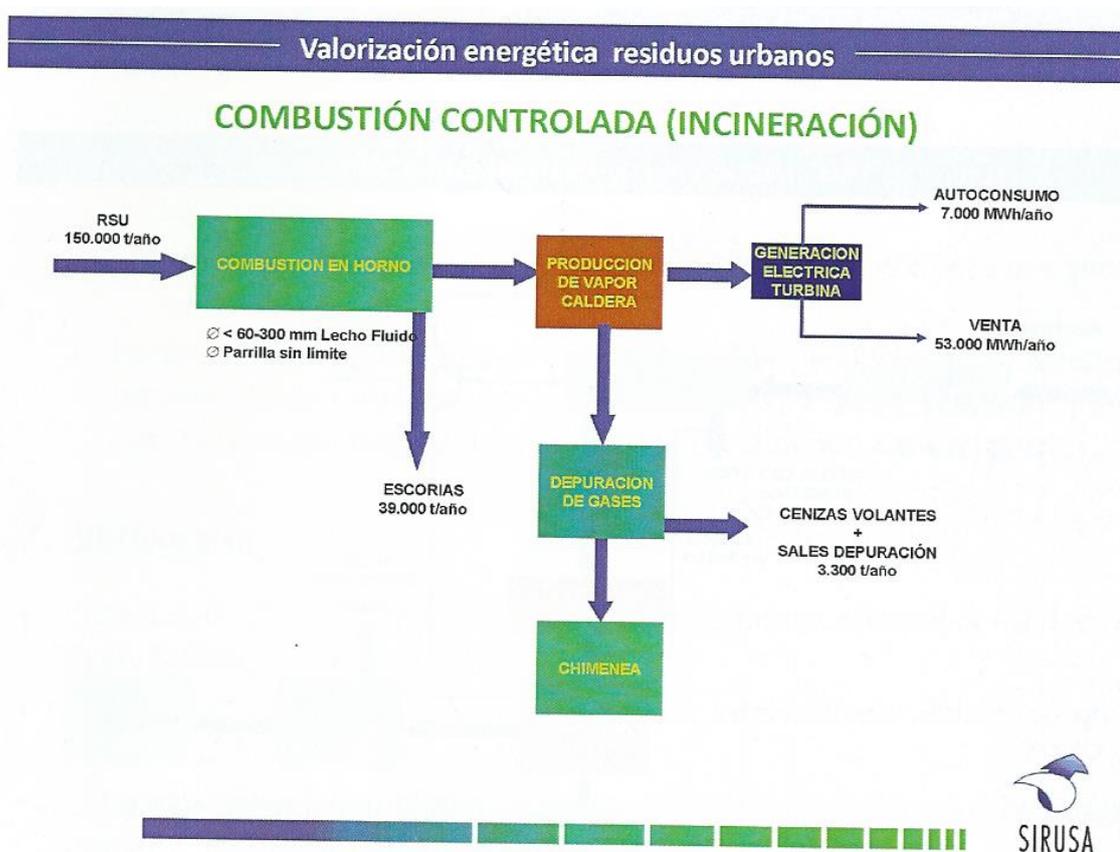


Figura 9. Esquema de la Planta de Valorización Energética SIRUSA (Sadhvani Alonso, 2015)

El esquema más detallado de la planta de valorización energética de SIRUSA queda recogido en el *Anexo I* del presente documento. Se describen a continuación las instalaciones que conforman la planta.

BÁSCULA

Los residuos sólidos urbanos llegan a la planta incineradora en camiones de recogida, de caja cerrada y compactadores de capacidad de carga de entre 10 y 15 toneladas. A la entrada de la planta se pesan en una báscula electrónica que, previa identificación del camión y mediante una credencial, autoriza el paso; al mismo tiempo, memoriza el peso neto para disponer de información estadística que permita la gestión, control y facturación.

Los camiones, una vez registrados, se dirigen a la plataforma de maniobra donde basculan la carga, por caída libre, en el interior de la fosa de almacenamiento de residuos.

FOSO

La fosa tiene un volumen de unos 2.000 m<sup>3</sup>, con una capacidad de almacenamiento aproximada de 850 toneladas. La fosa se mantiene en constante depresión, ya que el aire de

combustión se aspira de toda la nave, de esta manera se asegura que ninguna clase de malos olores o polvo se escape a la atmósfera.

### ALIMENTACIÓN DE LOS HORNOS

Para las tareas generales de transporte y movimientos interiores de basuras en el silo, así como para la carga de tolvas de alimentación a los hornos, se disponen dos puentes grúa equipados con una cuchara tipo pulpo, que permite la carga de unos 2,5 m<sup>3</sup> de residuos; cada carga deposita en la tolva sobre 1,2 toneladas.

El control de la grúa se efectúa desde la sala de mando, controlando la carga de los hornos mediante un monitor que visiona alternativamente las tolvas de entrada de residuos en los hornos.

La alimentación de los hornos se efectúa por vertido directo del contenido en el interior de las tolvas de carga. Una vez introducidos los residuos en las tolvas, caen por gravedad a un alimentador, dosificador de velocidad regulable, que de esta manera controla la carga a los hornos.

### HORNO

Ya en el interior, la combustión tiene lugar en un horno con parrillas rotativas. Los hornos están dotados de cámaras de combustión y post-combustión, para asegurar la completa incineración de los residuos.

Tal y como se fija en la normativa actual, los gases permanecen durante al menos 2 segundos, a una temperatura mínima de 850 °C. Esto asegura una combustión óptima y minimiza el nivel de inquemados en las escorias.

Hay dos quemadores auxiliares de seguridad en la cámara de post-combustión, que se conectan automáticamente cuando en esta cámara la temperatura baja de los mínimos requeridos.

La combustión se efectúa de forma que se garantiza la destrucción completa de los elementos contaminantes en los gases de salida.

A fin de conseguir estas condiciones, el horno tiene instaladas entradas de aire de combustión, aire primario y de aire secundario, ambas situadas de forma estratégica y en condiciones de presión y temperatura adecuadas.

### CALDERA

Los gases de combustión llegan a una temperatura de 950 °C a la entrada de la caldera de recuperación, que está dotada de una primera cámara de radiación que enfría los gases hasta una temperatura de 650 °C a 700 °C, así como unos paneles convectivos (o haces evaporadores) en los que

está el sobrecalentador y el economizador. Todo el sistema está convenientemente calculado para obtener los gases de salida a una temperatura de unos 220 °C.

Las calderas de recuperación, una para cada horno, generan vapor sobrecalentado a 36 bares de presión absolutos y 360 °C de temperatura.

### LAVADO DE GASES

Una vez liberada la parte más importante de la energía de los gases estos van a la parte de la planta donde serán depurados con los sistemas de tratamiento que se describen:

- Los contaminantes ácidos, como HCl, HF y SO<sub>2</sub>, son tratados mediante un agente alcalino como es el hidróxido de cal.
- El mercurio, las dioxinas y furanos son tratados mediante carbón activo.
- Finalmente las partículas (el polvo), son capturadas mediante un filtro de mangas.

Los gases, una vez depurados, son emitidos a la atmósfera con la ayuda de un ventilador de tiro forzado a través de una chimenea de 50 metros. La chimenea está formada por dos conductos (uno por cada horno) de manera que se mantiene constante la velocidad de salida de los gases, con independencia del número de hornos que estén en funcionamiento.

### TURBOALTERNADOR

Para la recuperación energética hay instalado un conjunto turboalternador de condensación. La potencia eléctrica generable, con un funcionamiento a plena carga de los dos hornos, es de 7.400 kW.

El ciclo térmico se cierra mediante el conjunto de motobombas, depósitos y una planta de desmineralización de agua que, convenientemente unido mediante tuberías de vapor condensado de agua, da lugar a un ciclo cerrado con unas pérdidas de agua mínimas.

La energía eléctrica excedente, tras el consumo propio, se envía a la red eléctrica, a la que se conecta automáticamente la instalación de generación de la planta; así, se produce la venta continua de los excedentes, que se contabilizan en contadores eléctricos (de acuerdo con el sistema de tarifas plan, valle y punta).

### CHIMENEA

La chimenea constituye un elemento de seguridad y de garantías ambientales. Con una altura de 50 metros, está formada por dos conductos, uno por cada horno, que mantiene constante la velocidad de salida de los gases y favorece su dispersión.

En cada conducto están los sensores que miden en continuo las emisiones. Los datos de emisión son controladas "online", mediante conexión directa a la red de control de emisiones industriales en Cataluña (XEAC), que cuenta con un estricto protocolo de comunicaciones.

Asimismo, se efectúan las determinaciones analíticas periódicas de emisiones en discontinuo por parte de laboratorios homologados.

La chimenea constituye un elemento de seguridad y de garantías ambientales. Con una altura de 50 metros, está formada por dos conductos, uno por cada horno, que mantiene constante la velocidad de salida de los gases y favorece su dispersión.

En cada conducto están los sensores que miden en continuo las emisiones.

### ESCORIAS Y CENIZAS

Las escorias son el producto resultante de los materiales no combustibles que se introducen en los hornos. El proceso de recuperación consiste en:

- Enfriarlos
- Separación de los materiales férricos
- Traslado a la planta de valorización de VECSA

En la planta de VECSA se separan y recuperan tanto materiales férricos como no férricos. El material resultante, tras su estabilización, se emplea como material de obra pública (construcción de carreteras, nivelación de terrenos y terraplenes, o restauración de áreas degradadas por actividades extractivas).

Las cenizas, también conocidas como cenizas volantes, son los residuos sólidos que se obtienen por precipitación electrostática, o por captación mecánica, del polvo que acompaña a los gases de combustión.

Actualmente se tratan mediante gestores autorizados por parte de la Administración, siendo su única salida la deposición en vertedero.

Las cenizas son un material del que está estudiando su utilización como componente de hormigones, estudios que se desarrollan con una subvención del CIDEM (Centro de Innovación y Desarrollo Empresarial) de la Generalidad de Cataluña, dado el potencial uso futuro de estos materiales.

## DENOX

La formación de los óxidos de nitrógeno es una consecuencia no deseada del proceso de combustión. La inyección de amoníaco en diversas zonas del horno provoca una reacción por la que estos compuestos ( $\text{NO}_x$ ), con el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), producen nitrógeno gas ( $\text{N}_2$ ).

### **3.3.3.2. CASO DE ESTUDIO 2: AEB AMSTERDAM**

La historia de AEB, empresa de residuos y energía (AEB Amsterdam, 2018), se remonta a principios del siglo XX con la planta de incineración de residuos Vuilverbranding Amsterdam Noord. Desde 1993 AEB ha dirigido la planta, la cual tiene una capacidad de procesamiento de más de 800.000 toneladas por año. Esta planta ha sido un éxito desde el día de su apertura, tanto en términos de rendimiento ambiental, tecnología y resultados comerciales. Su capacidad se está utilizando al máximo y los requisitos de emisiones se cumplen con margen de sobra. En los últimos años, la disponibilidad media ha sido de más del 94% y la eficiencia neta promedio de la electricidad ha sido de más del 22%. En 1998, AEB elaboró un plan maestro para desarrollar una planta avanzada de conversión de residuos en energía con una capacidad de incineración de aproximadamente 500.000 toneladas por año. Un principio básico innovador cuyo plan era “design for output”. El aumento de la eficiencia eléctrica y el desarrollo de nuevos productos a partir de los residuos fueron los principales objetivos. Esto ha resultado en el desarrollo de la Waste Fired Power Plant (WFPP) que aumentó la eficiencia eléctrica de última generación del 22% a 30%.

Desde el año 2007 en el complejo coexisten dos plantas de incineración:

#### **Waste-to-Energy Plant (AEC) – 3ª generación**

La planta de conversión de residuos en energía es una instalación de vanguardia y cuenta con cuatro líneas de incineración, principalmente para el procesamiento de residuos domésticos y lodos cloacales. La energía producida por la incineración de desechos se convierte en vapor para la generación de electricidad y calor.

#### **Waste Fired Power Plant (HRC) – 4ª generación**

El HRC es una instalación innovadora con un alto rendimiento energético neto de más del 30%. Las dos líneas de incineración se utilizan principalmente para procesar desechos industriales y lodos de fermentación de la planta de tratamiento de aguas residuales. En el HRC, la energía producida por la incineración también se convierte en vapor para la generación de electricidad y calor.

<b>Capacity</b>		<b>Per year</b>
Waste-to-Energy Plant (design)	2.400 tonnes/day	765.000 tonnes of waste
Waste-to-Energy Plant (2004)	2.800 tonnes/day	850.000 tonnes of waste + 25.000 tonnes of sludge
WFPP (design)	1.600 tonnes/day	530.000 tonnes of waste
AEB (total in 2008)	4.400 tonnes/day	1.400.000 tonnes of waste + 100.000 tonnes of sludge
<b>Energy (net delivery)</b>		
Waste-to-Energy Plant (design)	59 MW	450.000 MWh elect.
Waste-to-Energy Plant (2004)	67 MW	530.000 MWh elect. + 150.000 GJ heat
WFPP (design)	57 MW	420.000 MWh elect
AEB (total in 2008)	125 MW	1.000.000 MWh elect. + 250.000 GJ heat

Tabla 3. Datos de las plantas AEB Amsterdam (AEB Amsterdam, 2018)

	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>AEC and HRC production</b>					
Waste processed (tonnes)	1.303.213	1.326.597	1.354.027	1.407.843	1.385.488
Sludge processed (tonnes)	35.586	69.228	79.680	79.638	81.464
Electricity supplied (MWh)	756.818	890.049	959.969	967.473	957.894
Heat supplied (GJ)	284.690	414.351	373.906	436.646	561.446
Net energy performance (%) - AEC	23,01	21,34	22,65	23,89	24,50
Net energy performance (%) - HCR	21,55 <sup>1</sup>	30,25	30,73	31,21	30,86
Availability (%) - AEC	91,9	93,4	95,0	94,0	93,8
Availability (%) - HCR	89,2	91,5	92,4	91,7	92,6
<b>R1 value</b>					
Energy efficiency according to EU (%) - AEC	0,63	0,67	0,71	0,74	0,74
Energy efficiency according to EU (%) - HCR	0,78	0,91	0,92	0,94	0,94

<sup>1</sup> As of 1 September 2009, a stable business practice has been realised and the 30% design capacity is being met.

Tabla 4. Histórico de datos de las plantas AEB Amsterdam (AEB Amsterdam, 2018)

Al elaborar el plan maestro de 1998 mencionado anteriormente, se prestó mucha atención a los desarrollos futuros en el mercado de residuos y sus tecnologías asociadas. Se consideraron todas las variaciones de los desarrollos tecnológicos, incluidos el lecho fluidizado, la pirólisis y la gasificación. Esta comparación llevó a la conclusión de que la tecnología de la parrilla de incineración tenía más que ofrecer para la basura doméstica mixta. A pesar de la "moratoria" (una prohibición de construir tecnología convencional utilizando rejillas de incineración que estaba vigente en ese momento) se inició el diseño de un horno de parrilla de incineración mejorado. Se desarrolló un nuevo concepto que se centró principalmente en maximizar la producción de electricidad. Se iniciaron proyectos separados para materiales de reciclaje.

#### Reprocesamiento de escoria

Además de realizar el WFPP, que se centra en la generación de energía, AEB trabajó en el reciclaje de materiales. En la escoria, los componentes inertes como la arena, la piedra y los metales permanecen, por lo que se ha establecido un programa separado para clasificar y lavar las cenizas del

fondo utilizando un proceso húmedo. Este proceso de clasificación en húmedo incluye el paso avanzado de usar clasificación gravitacional cinética en agua.

Esto ha llevado a una instalación que produce materias primas y semiproductos limpios y de alta calidad a partir de las cenizas del fondo:

- Metales ferrosos: reciclaje de hierro.
- Metales no ferrosos: reciclaje de aluminio, cobre, zinc, plomo, etc.
- Fracción de granulados (piedras, loza, etc.): reutilizado en hormigón.
- Fracción de arena: reutilizado en ladrillos de arena y cal.
- Fracción residual a pequeña escala (lodo): hasta ahora, residuo residual.

### Objetivos iniciales

Se establecieron los siguientes objetivos para el WFPP:

- 1) El WFPP logrará una eficiencia eléctrica neta del 30%.
- 2) La disponibilidad será  $\geq 90\%$  del tiempo.
- 3) La capacidad de procesamiento será  $\geq 530,000$  toneladas por año.
- 4) La tecnología será tecnología de parrilla de incineración para la incineración integral de desechos sólidos municipales sin pretratamiento.
- 5) El WFPP se diseñará de acuerdo con el principio BAT (Best Available Technology).
- 6) Reutilización completa de materiales residuales.
- 7) A pesar de un aumento en el suministro de desechos, la cantidad de kilómetros por carretera para su transporte no aumentará.

### Esquema

## High Efficiency concept WFPP®

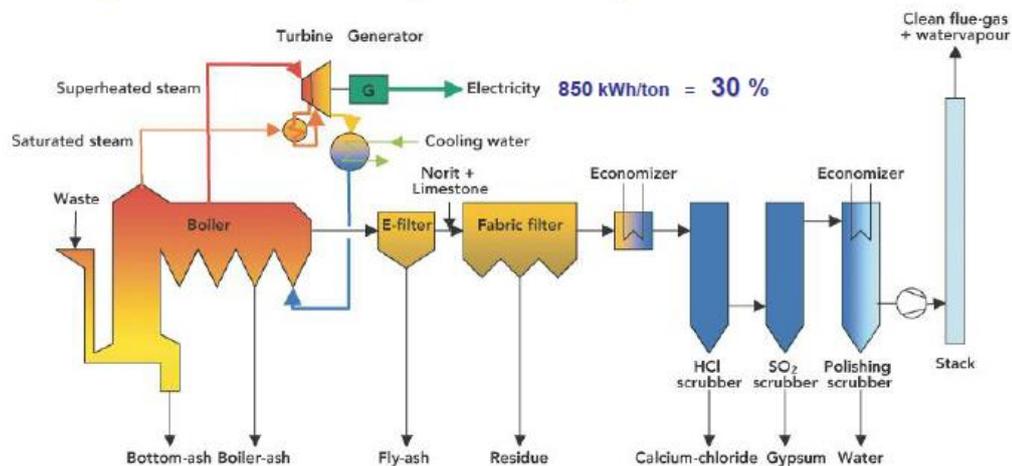


Figura 10. Esquema de la WFPP de AEB Amsterdam (AEB Amsterdam, 2018)

El esquema más detallado de la WFPP de AEB Amsterdam queda recogido en el *Anexo II* del presente documento.

### Eficiencia neta del 30%

Gracias a la optimización, la Waste-to-Energy Plant existente suministra energía eléctrica con una eficiencia eléctrica neta de más del 22%. Esto significa que la planta goza de una posición de liderazgo tecnológico. Para llegar a una eficiencia eléctrica neta del 30%, la cantidad de electricidad generada por tonelada de desechos debía aumentarse en más de un tercio. En términos termodinámicos, parece obvio aumentar los parámetros de vapor (presión y temperatura) para aumentar la eficiencia. Pero en las plantas de conversión de residuos en energía, los parámetros de vapor más altos siempre están acompañados por la corrosión del cloro y el aumento en la temperatura del vapor reduce drásticamente la vida útil del supercalentador. Esto no era compatible con el objetivo de crear una planta eficiente y óptimamente disponible. Entonces, la pregunta era cómo se podían armonizar estos objetivos en conflicto. Finalmente, las siguientes medidas se combinaron para lograr una mayor eficiencia sin riesgos adicionales:

- a) Gracias a años de experiencia adquirida en el tratamiento de superficies críticas de calor en la caldera mediante el revestimiento con Inconel®, la corrosión en el WFPP puede controlarse mejor. Esta aleación de níquel-cromo de alta calidad es la base de una serie de medidas diseñadas para aumentar la eficiencia y llevar el ciclo de caldera y agua-vapor a un nivel más alto.
- b) Una temperatura de vapor más alta en plantas de conversión de residuos en energía es crítica debido al fuerte aumento de la corrosión de los sobrecalentadores. En el WFPP, se decidió utilizar una temperatura de vapor de 440 °C en lugar de los 400 °C habituales, con la opción de aumentarla a 480 °C en el futuro. El diseño de la caldera se optimizó para minimizar la corrosión y la erosión.
- c) El aumento de la presión del vapor contribuye significativamente a elevar la eficiencia, pero esto solo puede hacerse proporcionalmente a la temperatura del vapor debido a la condensación de vapor en la turbina de baja presión. De todos modos, los intentos de aumentar la presión de vapor en el WFPP han tenido éxito. La presión se elevó de 40 a 125 bar.
- d) Recalentamiento usando vapor saturado del tambor de la caldera. El sobrecalentamiento intermedio del vapor de la turbina es un proceso que se utiliza en instalaciones como las centrales eléctricas de carbón para lograr una mayor eficiencia. Esto se hace con un intercambiador de calor que funciona directamente en el gas de combustión. Pero esto tiene grandes desventajas para una planta de energía de combustión. La temperatura del gas de combustión en la caldera debería elevarse tan alto que el riesgo de corrosión

aumentaría fuertemente. La solución a este problema se encontró al usar un intercambiador de calor externo para recalentar con vapor saturado. Este proceso, que se utiliza ampliamente en centrales nucleares, ahora se utiliza en la incineración de residuos por primera vez.

- e) Minimizando el nivel de oxígeno en la quema. En plantas de conversión de residuos en energía, un nivel de oxígeno del gas de combustión de 8 a 11% es habitual. Gracias a la recirculación de gases de combustión, WFPP alcanza un nivel de oxígeno del 6%. Debido a esto, el volumen de gases de combustión se reduce en aproximadamente un 40% y la cantidad de calor perdido a través de la chimenea se reduce al mínimo.
- f) Uso máximo de la energía del gas de combustión. Por lo general, la energía de los gases de combustión ya no se usa después de que han salido de la caldera. En el WFPP, la energía residual se utiliza de la siguiente manera:
  - La temperatura del gas de combustión al salir de la caldera se reduce en relación con los 200-240 °C habituales y se mantiene constante a 180 °C ampliando el economizador (ECO 1) en la caldera.
  - Se instala un intercambiador de calor resistente a la corrosión antes del primer depurador de gases de combustión (el enfriamiento rápido) para precalentar el condensado (ECO 2).
  - En el último depurador de pulido, los gases de combustión se enfrían hasta que el agua se condensa. Este calor también se usa para precalentar el condensado (ECO 3).
- g) Minimizando la presión de vapor después de la turbina. Al recalentar el vapor de la turbina y al enfriar el condensador con agua, es posible tener una presión de vapor muy baja después de la turbina. Esto permite la máxima eficiencia de la turbina.

El diseño se completó con varias medidas adicionales, como el precalentador de condensación de 0,6 bar (opcional), el uso de precalentadores de aire ajustables por separado para cada zona de rejilla y el uso de variadores de velocidad.

La combinación de estas medidas y la capacidad de elevar la temperatura del vapor a 480 °C, ha permitido lograr una eficiencia eléctrica bruta de aproximadamente 34%, lo que resulta en una eficiencia eléctrica neta del 30%. Esto significa que la WFPP establece un nuevo estándar para la recuperación de energía a partir de los desechos.

#### 90% de disponibilidad

La alta disponibilidad es un requisito principal para operar una planta de conversión de residuos en energía de manera rentable. Más que nada, son los cierres no programados los que generan altos costos y una reducción en los ingresos. Para optimizar la disponibilidad del WFPP a pesar de su carácter innovador, se tomaron las siguientes medidas:

- La primera y la segunda cámara de radiación de la caldera estarán protegidas con una aleación de níquel de alta calidad (revestimiento Inconel).
- En caso de desgaste, cada conjunto de sobrecalentador se puede reemplazar dentro de las 72 horas.
- Todos los componentes están diseñados para un funcionamiento ininterrumpido (tiempo de viaje) de 24 meses en lugar de los 12 meses habituales.
- Análisis sistemáticos para identificar deficiencias en la seguridad operacional y la confiabilidad, lo que permite tomar medidas de mejora en una etapa temprana
- Involucrar a los empleados de AEB en todos los trabajos de diseño.

#### 530.000 toneladas de desechos por año

El WFPP consta de dos líneas de incineración, cada una con una capacidad térmica de 93,3 MW. A un valor calorífico promedio de 10MJ/kg, esto corresponde a un rendimiento nominal de 33,6 toneladas/hora de desechos, o 1.600 toneladas/día combinados. En comparación con otras plantas de conversión de residuos en energía, estas son unidades muy grandes. Para la incineración de residuos, su tamaño tiene la gran ventaja de que las fluctuaciones en los residuos quemados pueden ser fácilmente absorbidos. Las variaciones en la composición de los desechos tienen menos efecto y las calderas pueden operar de manera constante y sin interrupciones.

#### Tecnología de incineración de rejilla

Los residuos se incineran en una rejilla horizontal equipada con un sistema de refrigeración por agua. Este sistema de enfriamiento es parte del ciclo agua-vapor, asegurando que no se pierda calor. Solo la primera mitad de la superficie de la parrilla se enfría de esta manera, para evitar que se quemen las barras de la parrilla y también para permitir la incineración de desechos industriales con un alto poder calorífico. Una gran ventaja de la refrigeración por agua es que alarga la vida de las barras de la parrilla.

#### Limpieza de gases de combustión

AEB constantemente se esfuerza por mejorar su desempeño ambiental. Por esta razón, el proceso de limpieza de gases de combustión ha sido diseñado para la separación selectiva de productos en la que los residuos nocivos pueden convertirse en materiales utilizables para su venta como productos.

Además de los límites de emisión impuestos por la Ley de Gestión Ambiental Holandesa, AEB también utilizó los mejores parámetros de operación de la Waste-to-Energy Plant existente como punto de partida. Al superar estos límites, se diseñó el sistema de limpieza de gases de combustión basado en BAT (Best Available Technology).

El límite de emisión holandés para los óxidos de nitrógeno es un tercio del estándar de la UE. Debido al uso de amoníaco, la emisión de óxido de nitrógeno está justo por debajo del estándar holandés. Para todos los demás componentes, los valores de emisión operacionales están muy por debajo de los estándares holandeses y de la UE.

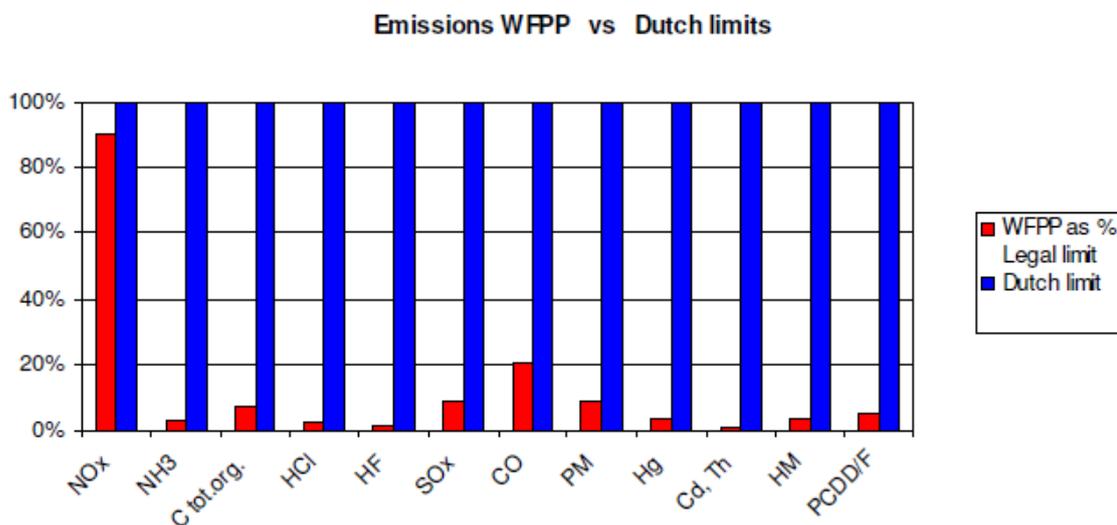


Figura 11. Valores de las emisiones de la WFPP vs límites holandeses (AEB Amsterdam, 2018)

#### Máximo uso de materiales residuales

La naturaleza innovadora del WFPP se muestra aún más en los usos prácticos a los que se destinan los diversos materiales residuales:

- a) La ceniza de fondo se procesa en la instalación de reprocesamiento de escoria.
- b) La ceniza de caldera se puede seleccionar de acuerdo con la calidad.
- c) La ceniza volante se separa en el electro-filtro.
- d) El cloro (ácido clorhídrico) se procesa en cloruro de calcio en la fábrica de sal.
- e) El azufre (dióxido de azufre) se procesa en yeso.

Solo los materiales residuales del filtro de tela no son reusados por el momento.

**Cenizas de fondo.** Después de la incineración, el material inerte permanece en forma de ceniza de fondo. Esta ceniza de fondo se procesa en la instalación de reprocesamiento de escoria y se pueden usar diversas técnicas para recuperar hierro y metales no ferrosos muy valiosos. Al usar el proceso húmedo, se producen arenas limpias que pueden ser usadas para producir ladrillos, cal y hormigón.

**Ceniza de caldera.** Dependiendo de la temperatura, las propiedades de la ceniza de la caldera durante la limpieza de los gases de combustión en la caldera serán diferentes. Para la ceniza que se

acumula en las tolvas bajo los supercalentadores y el ECO, se puede elegir si el contenido de cada tolva debe procesarse como cenizas volantes o cenizas de fondo.

**Ceniza volante.** Por razones medioambientales, se ha decidido utilizar un electro-filtro para la separación previa de cenizas volantes antes del filtro de tela. Gracias a este método, las cenizas volantes se mantienen separadas del residuo de limpieza de los gases de combustión, separadas en el filtro de tela, como un producto "mejor". Esto permite su uso en concreto asfáltico y evita el vertido.

**Sal.** Los ácidos en los gases de combustión en el lavador de enfriamiento y ácido clorhídrico reaccionan con la piedra caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) para formar una solución de sal de calcio ( $\text{CaCO}_2$ ). Se ha construido una planta de salmuera que limpia las sales contaminadas y las evapora hasta una solución limpia para su reutilización en carreteras o para su uso en la industria química.

**Yeso.** El yeso producido en la limpieza de gases de combustión es comparable con el yeso de las centrales eléctricas de carbón. Se puede utilizar en la producción de materiales de construcción, bloques de yeso y paredes de yeso.

**Agua.** La planta está libre de aguas residuales. El agua producida se recicla internamente para usarla en otros pasos del proceso o se evapora en el bloque 10/20.

**Filtro de tela.** Antes del filtro de tela, se inyecta una mezcla de carbón activo y piedra caliza. Esto asegura una separación muy efectiva de los metales pesados y las dioxinas para que los productos de la limpieza húmeda de los gases de combustión emerjan en forma limpia. El residuo del filtro de tela es el único residuo de la instalación que debe desecharse. En términos de cantidad, el residuo es menos del 1% de la cantidad de residuos incinerados. En el futuro, se realizarán más investigaciones sobre cómo se puede procesar este residuo para su reutilización.

**Emisiones.** Las emisiones de la WFPP serán más bajas que las de la actual planta de conversión de residuos en energía. Para lograr esto, se ha colocado un filtro de tela delante de los depuradores en las instalaciones de limpieza de gases de combustión del WFPP. Esto separa el polvo y otros componentes de manera más efectiva que el electro-filtro en la planta existente de conversión de residuos en energía. También significa que la sal y el yeso recuperados en la planta ya están bastante limpios.

## 4th generation: WFPP® in a nutshell

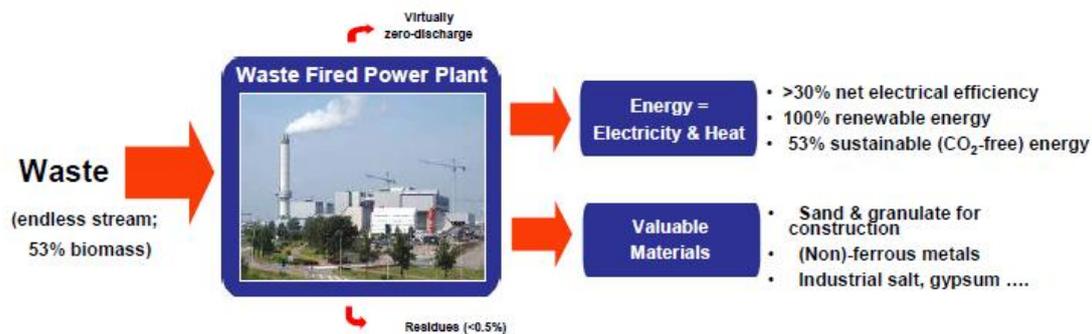


Figura 12. Balance de masas de la WFPP (AEB Amsterdam, 2018)

### 3.3.4. BIOMETANIZACIÓN O DIGESTIÓN ANAEROBIA

Como se ha mencionado con anterioridad, la digestión anaerobia es un proceso biológico en el cual los microorganismos descomponen el material biodegradable en ausencia de oxígeno desprendiendo biogás para su valorización energética. Para el estudio de esta tecnología se analizarán diferentes casos prácticos que utilizan como material lodos de EDAR y estiércol principalmente.

#### 3.3.4.1. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LODOS DE DEPURACIÓN

Se exponen en esta publicación cinco casos de éxito de EDAR ubicadas en territorio nacional con el fin de analizar el estado de las instalaciones, las cuales incluyen sistemas de digestión anaerobia (DA) para el tratamiento de lodos y equipos para el aprovechamiento del biogás producido. (Instituto Tecnológico de Canarias, 2015)

##### 1) EDAR DE NOVELDA – MONFORTE DEL CID (ALICANTE)

Los datos principales de la línea de agua y lodos son:

- Capacidad de diseño planta EDAR: 9.000 m<sup>3</sup>/día (88.000 h.e – habitantes equivalentes)
- Caudal de operación EDAR: 4.200 m<sup>3</sup>/día (40.000 h.e) [datos 2015]
- Producción lodos EDAR: 0,75 tnMS/día (44 m<sup>3</sup>/día) [datos 2015]

Los lodos generados en la decantación secundaria A son llevados a un espesador por gravedad, previo paso por un tamiz, mientras que los lodos procedentes de la decantación secundaria B son espesados mediante flotación. Posteriormente ambos lodos son mezclados en la cámara de mezcla para ser introducidos en el digestor. La alimentación al digestor es aproximadamente de un 50% procedente de lodos de etapa A y un 50% procedentes de lodos de etapa B.

La DA genera un volumen de biogás de unos 540 m<sup>3</sup>/día. El biogás generado tiene una composición aproximada de 72% de CH<sub>4</sub>, 28% de CO<sub>2</sub> y 300 ppm de H<sub>2</sub>S. La producción media es de 1,37 m<sup>3</sup> biogás/kg MV eliminada (valor con co-digestión).

El régimen de producción eléctrica al que se encuentra adscrita la planta es de autoconsumo sin vertido a la red, donde el consumo general de la planta es la consigna que controla la producción de la cogeneración. La producción del sistema de cogeneración en el año 2014 fue de aproximadamente 380.000 kWh, mientras que la compra a red fue de 750.000 kWh. Esto indica que la cogeneración aportó un tercio del consumo total de la planta.

La planta dispone de un pequeño digestor piloto que es utilizado para analizar el comportamiento de la DA con diferentes tipos de co-sustrato. Esto proporciona mayor seguridad a la hora de realizar co-digestión en el digestor principal. En esta planta se han utilizado diferentes co-sustratos (lácteos, azúcares, harinas, grasas, almidón, etc.) dando como resultado importantes incrementos en la producción de biogás.

## 2) EDAR ALCANTARILLA (MURCIA)

Los datos principales de la línea de agua y lodos son:

- Capacidad de diseño planta EDAR: 13.000 m<sup>3</sup>/día (150.000 h.e)
- Caudal de operación EDAR: 7.200 m<sup>3</sup>/día (83.000 h.e) [datos 2015]
- Producción lodos EDAR: 2 tnMS/día [datos 2015]

Tanto los lodos generados en la decantación secundaria A como los generados en la decantación secundaria B son llevados a un espesador por gravedad. Los lodos de la etapa A cuentan con un tamiz antes de entrar en el espesador. Posteriormente ambos lodos son mezclados en la cámara de mezcla para ser introducidos en el digestor. La alimentación al digestor es un 40% procedente de lodos de etapa A y un 60% procedentes de lodos de etapa B.

La DA genera un volumen de biogás de unos 1.200 m<sup>3</sup>/día. El biogás generado tiene una composición aproximada de 65% de CH<sub>4</sub>, 35% de CO<sub>2</sub> y 800 ppm de H<sub>2</sub>S. La producción media es de 0,75 m<sup>3</sup> biogás/kg MV eliminada.

El régimen de producción eléctrica al que se encuentra adscrita la planta es de autoconsumo sin vertido a la red, donde el consumo general de la planta es la consigna que controla la producción de la cogeneración. La producción del sistema de cogeneración representa aproximadamente el 40% de la energía anual que consume la planta.

### 3) EDAR DE SITGES (BARCELONA)

Los datos principales de la línea de agua y lodos son:

- Capacidad de diseño planta EDAR: 18.000 m<sup>3</sup>/día (108.000 h.e)
- Caudal de operación EDAR: 9.000 m<sup>3</sup>/día (50.000 h.e) [datos 2015]
- Producción lodos EDAR: 1,32 tnMS/día [datos 2015] (1,21 tnMS lodo digerido/día)

Los lodos generados en la decantación primaria son llevados a un espesador por gravedad donde se alcanza una sequedad de 5,75%, mientras que los lodos procedentes de la decantación secundaria son espesados mediante flotación, alcanzando una sequedad de 3,67%. Posteriormente ambos lodos son mezclados en la cámara de mezcla para ser introducidos en el digestor. La alimentación al digestor es un 85% procedente de lodos primarios y un 15% procedentes de lodos secundarios.

La DA genera un volumen de biogás de unos 550 m<sup>3</sup>/día. El biogás generado tiene una composición aproximada de 66% de CH<sub>4</sub>, 32% de CO<sub>2</sub>, 2% de N<sub>2</sub> y 2.000 ppm de H<sub>2</sub>S. La producción media es de 0,18 m<sup>3</sup> biogás/kg MV eliminada.

El régimen de producción eléctrica al que se encuentra adscrita la planta es de autoconsumo sin vertido a la red, donde el consumo general de la planta (60 – 160 kW) es la consigna que controla la producción de la cogeneración. Existe la intención de trabajar en función de la tarifa eléctrica, buscando minimizar el coste energético de la planta.

### 4) EDAR DE GAVÁ (BARCELONA)

Los datos principales de la línea de agua y lodos son:

- Capacidad de diseño la planta EDAR: 64.000 m<sup>3</sup>/día (373.300 h.e)
- Caudal de operación EDAR: 40.000 m<sup>3</sup>/día [datos 2015]
- Producción lodos (sin digerir) EDAR: 8 tnMS/día [datos 2015]

Los lodos secundarios procedentes de las dos líneas de reactores biológicos de membrana son llevados directamente a secado mediante centrífuga, mientras que los procedentes de las dos líneas de reactores de lodos activos sobre lecho móvil, deben pasar primero por un espesador por gravedad antes de enviarse a la centrífuga para alcanzar un valor de sequedad del 5%. Posteriormente ambos lodos son mezclados para ser introducidos en el digestor en la línea de recirculación de este.

La DA genera un volumen de biogás de unos 4.500 m<sup>3</sup>/día. El biogás generado tiene una composición aproximada de 64% de CH<sub>4</sub>, 36% de CO<sub>2</sub> y 200 ppm de H<sub>2</sub>S. La producción media es de 0,84 m<sup>3</sup> biogás/kg material volátil eliminada.

El régimen de producción eléctrica al que se encuentra adscrita la planta es de venta a la red, donde la potencia general de la planta es de 600 – 900 kW, y su consumo anual 7.000 MWh siendo la venta a red de 2.500 MWh (35% de la demanda anual de energía).

5) EDAR DE ABRERA (BARCELONA)

Los datos principales de la línea de agua y lodos son:

- Capacidad de diseño planta EDAR: 34.500 m<sup>3</sup>/día (115.000 h.e)
- Caudal de operación EDAR: 17.000 m<sup>3</sup>/día (85.000 h.e) [datos 2015]
- Producción lodos EDAR: 2,67 tnMS/día [datos 2015]
- Procedencia de las aguas tratadas: 50% aguas residuales urbanas + 50% aguas industriales

La instalación cuenta con decantación primaria que genera el 40% de los lodos tratados. Éstos son llevados a un espesador por gravedad para alcanzar valores de sequedad del 4%. Los lodos secundarios proceden de un reactor biológico tipo flujo pistón y tras la decantación secundaria son llevados al espesador por flotación para alcanzar valores de sequedad próximos al 4%. El sistema cuenta con tamizado a la entrada de ambos espesadores. Posteriormente, ambos lodos son mezclados en un depósito de lodos mixtos.

La DA genera un volumen de biogás de unos 1.800 m<sup>3</sup>/día. Esta producción es un valor medio debido a que ciertos meses al año hay una gran generación de biogás gracias al empleo de otros sustratos (sin detalle de cuales) para realizar co-digestión. El biogás generado tiene una composición aproximada de 66% de CH<sub>4</sub>, 34% de CO<sub>2</sub> y 345 ppm de H<sub>2</sub>S. La producción media es de 0,85 m<sup>3</sup> biogás/kg MV eliminada.

El régimen de producción eléctrica al que se encuentra adscrita la planta es de autoconsumo sin vertido a la red, donde el consumo general de la planta (250 – 450 kW) es la consigna que controla la producción de la cogeneración.

### **3.3.4.2. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE ESTIÉRCOL**

Se analizan dos sistemas de gestión de estiércol centralizados en los que se lleva a cabo una valorización energética a gran escala. (Herrero Mallén, Fernández, Bescós Roy, & López de Torres, 2014)

1) PLANTA DE DIGESTIÓN ANAEROBIA DE PURÍN PORCINO EN ALMAZÁN (SORIA)

La línea de proceso consta de:

- Recepción + mezcla: Dos tanques de recepción donde el purín, transportado por camiones hasta la planta, se mezcla y homogeneiza.

- Biodigestión: El biogás se genera en un digestor y un post-digestor en serie, aislados térmicamente a 38 °C, donde el purín permanece en ausencia de O<sub>2</sub> aprox. 36 días entre ambos depósitos. Se almacena en un gasómetro externo para su posterior aprovechamiento energético.
- Uso del biogás: En un motor de cogeneración de 250 kW se produce electricidad, que abastece las demandas de la instalación y cuyo excedente se vierte a red, y calor que se aprovecha para elevar la temperatura de la alimentación al digestor. Se dispone de una estación con antorcha para el quemado de biogás como medida de seguridad.
- Almacenamiento del digerido y aplicación agrícola: El digerido se almacena en una balsa antes de su uso como fertilizante orgánico en los campos de cultivo de la zona.

## 2) PLANTA DE CO-DIGECCIÓN ANAEROBIA DE ESTIÉRCOL Y RESIDUOS DE LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA EN CAPARROSO (NAVARRA)

La instalación gestiona el purín procedente de la Granja Valle de Odieta de 3.000 vacas lecheras que se transporta hasta la planta por tubería. El proceso también se alimenta de gallinaza y otros sustratos procedentes de la industria agroalimentaria de la zona.

La línea de proceso consta de:

- Recepción + mezcla: El purín, transportado por tubería, y los co-sustratos, transportados por camión, se homogeneizan y trituran en dos depósitos circulares soterrados de hormigón armado.
- Biodigestión: La mezcla se pasteuriza durante una hora a 70 °C eliminando así tanto bacterias como semillas. La temperatura de pasteurización se alcanza en dos intercambiadores de calor en serie. El primero de ellos aprovecha el calor excedente de la biomasa que sale de la pasteurización, y el segundo aprovecha el sistema de refrigeración interna del motor de cogeneración. A continuación dos líneas de digestión anaerobia, formadas por un digestor y un post-digestor, aislados térmicamente a 41 °C, trabajan en paralelo y en ausencia de O<sub>2</sub> con tiempos de retención de aprox. 63 días. El sistema de agitación vertical de los digestores homogeneiza el líquido y facilita la salida del biogás. Se dispone de una antorcha para la quema de biogás en caso de avería.
- Unidad de cogeneración: Dos motores, de 2 MW cada uno, generan calor y electricidad a partir de biogás tras su desulfuración en un biofiltro. En la actualidad está autorizada la evacuación de 2,9 MW.
- Separación de fases: El digerido se separa en un decantador-centrífuga, añadiendo polielectrolito, en una fracción sólida y una líquida. Aplicación agrícola: Las

fracciones de digerido generadas en la separación se utilizan como fertilizante orgánico en una superficie agrícola de aprox. 6.000 ha.

	Almazán	Caparroso
<i>Estiércol</i>	Purín de cerdo	Purín de vaca y gallinaza
<i>Co-sustratos</i>	-	Residuos agroalimentarios
<i>Tiempo de residencia (digestor + postdigestor) (días)</i>	36	63
<i>Temperatura de la digestión anaerobia (°C)</i>	38	41
<i>Potencia de la unidad de cogeneración (kW)</i>	250	2.900
<i>Producción media de biogás (m<sup>3</sup>/día)</i>	1.500	28.200
<i>Producción media de biogás (m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup> alimentado)</i>	11,4	44,1
<i>Composición media del biogás (% CH<sub>4</sub>)</i>	65,4	59,6
<i>Producción media de energía eléctrica (kWh/m<sup>3</sup> biogás)</i>	2,16	2,10
<i>Producción media de energía eléctrica (kWh/m<sup>3</sup> alimentado)</i>	70,3	92,79
<i>Productos finales</i>	Digerido	Digerido: Sólido + Líquido

Figura 13. Cuadro resumen de los principales datos de gestión de las plantas de tratamiento (Herrero Mallén, Fernández, Bescós Roy, & López de Torres, 2014)

Una de las conclusiones a las que llega el trabajo es que en el proceso de co-digestión el biogás generado es cuatro veces superior por m<sup>3</sup> alimentado, sin embargo la riqueza del mismo en metano es un 6% inferior.

### 3.4. CONSIDERACIONES

Tras el análisis del estado del arte se considera:

- La incineración como la tecnología más utilizada y desarrollada en cuanto a la valorización energética de RSU mezclados, arrojando los mayores ratios de conversión y disponiendo de medidas que han sido desarrolladas a través de la experiencia con el fin de reducir los impactos ambientales y lograr el máximo aprovechamiento de los subproductos generados.
- La digestión anaerobia como la tecnología más utilizada en cuanto a la valorización energética de lodos de EDAR y deyecciones ganaderas, debido al alto contenido en materia orgánica fermentable de estos biorresiduos.

## CAPÍTULO 4. RESIDUOS EN CANARIAS

### 4.1. GENERACIÓN DE RESIDUOS

Atendiendo a las estadísticas extraídas del Instituto Canario de Estadística (ISTAC), un ciudadano genera aproximadamente 1,65 kg de basura al día, lo que se traduce en un ratio de 0,602 tn/hab al año.

<b>Año</b>	<b>RSU (tn)</b>	<b>Habitantes</b>	<b>Ratio (tn/hab)</b>
2004	1.474.999	1.915.540	0,770
2005	1.448.386	1.968.280	0,736
2006	1.397.206	1.995.833	0,700
2007	1.210.410	2.025.951	0,597
2008	1.255.650	2.075.968	0,605
2009	1.151.349	2.103.992	0,547
2010	1.439.982	2.118.519	0,680
2011	1.388.895	2.126.769	0,653
2012	1.310.231	2.118.344	0,619
2013	1.204.821	2.118.679	0,569
2014	1.259.718	2.104.815	0,598
<b>2015</b>	<b>1.264.095</b>	<b>2.100.306</b>	<b>0,602</b>

Tabla 5. Histórico de generación de RSU en Canarias 2004-2015 (ISTAC, 2018)

Según muestran los datos del año 2015, apenas el 9,42% del total de residuos se recoge de forma separada, atendiendo a la clasificación por tipología recogida en la *Tabla 6*.

<b>AÑO</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>TOTAL RESIDUOS (tn)</b>	<b>1.439.982</b>	<b>1.388.895</b>	<b>1.310.231</b>	<b>1.204.821</b>	<b>1.259.718</b>	<b>1.264.095</b>
<b>TOTAL RESIDUOS MEZCLADOS</b>	<b>1.250.983</b>	<b>1.181.424</b>	<b>1.162.173</b>	<b>1.072.168</b>	<b>1.127.565</b>	<b>1.144.978</b>
Residuos domésticos y similares (domésticos y vías públicas)	1.220.612	1.151.544	1.134.763	1.052.980	1.090.966	1.108.156
Residuos domésticos voluminosos mezclados (enseres domésticos)	30.371	29.880	27.410	19.188	36.599	36.822
<b>TOTAL RESIDUOS DE RECOGIDA SEPARADA</b>	<b>188.999</b>	<b>207.471</b>	<b>148.058</b>	<b>132.653</b>	<b>132.153</b>	<b>119.117</b>
Medicamentos no utilizados	68	..	..	..	..	..
Residuos sanitarios y biológicos	279	..	..	..	..	..
Residuos metálicos	1.953	1.529	1.012	253	520	515
Vidrio	27.221	29.040	29.126	29.363	31.163	33.225
Papel y cartón	69.027	34.043	33.507	30.624	30.659	31.543
Caucho (neumáticos)	4.840	..	..	..	..	..
Plásticos (excepto embalajes)	7.952	6.878	6.497	1	31	31
Madera	2.601	4.734	3.484	718	681	675

Ropa y residuos textiles	141	373	401	10	460	474
Equipos eléctricos desechados y componentes de equipos electrónicos desechados	1.826	1.908	1.935	819	2.308	2.779
Residuos de pilas y acumuladores	61	28	55	21	676	814
Residuos animales y vegetales	13.089	78.136	26.477	41.310	38.799	21.541
Envases mixtos y embalajes mezclados	19.801	14.770	15.333	15.880	16.225	16.990
Lodos comunes (secos)	8.258	7.073	5.798	0	0	0
Residuos minerales (incluye residuos de construcción y demolición)	25.407	24.592	20.521	8.872	9.568	9.477
Otros	6.475	4.367	3.912	4.782	1.063	1.053

Notas: (...) Cantidades incluidas en la categoría 'Otros' desde 2011.

Tabla 6. Histórico de generación de RSU en Canarias por tipología 2010-2015 (ISTAC, 2018)

## 4.2. COMPOSICIÓN DE LAS BASURAS URBANAS

El Gobierno de Canarias realizó dos campañas en los años 2001 y 2010 con el fin de estudiar la composición y caracterización de los RSU en la Comunidad Autónoma de Canarias, a través del análisis de diferentes muestras. Se obtiene para la isla de Gran Canaria la composición media reflejada en la *Figura 14* y *Figura 15*.

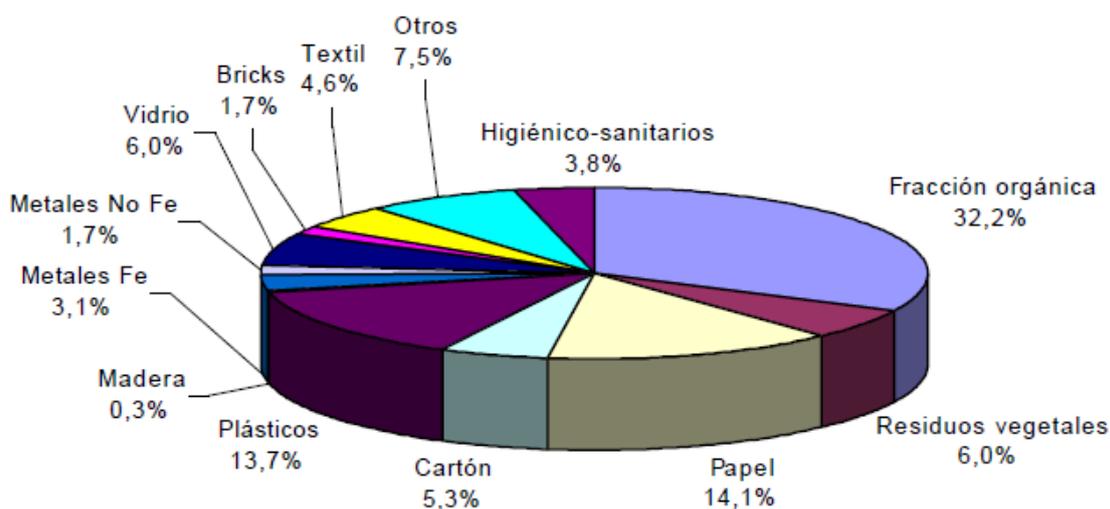


Figura 14. Composición media de los residuos en Gran Canaria. Año 2001 (Gobierno de Canarias, 2001)

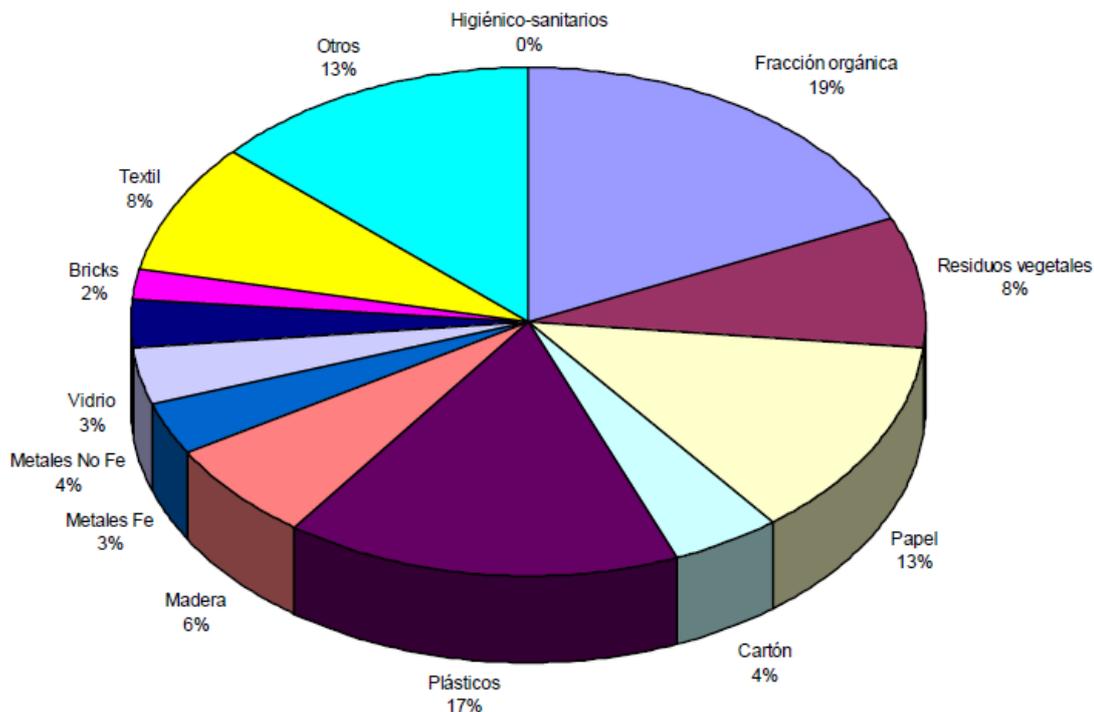


Figura 15. Composición media de los residuos en Gran Canaria. Año 2010 (Gobierno de Canarias, 2010)

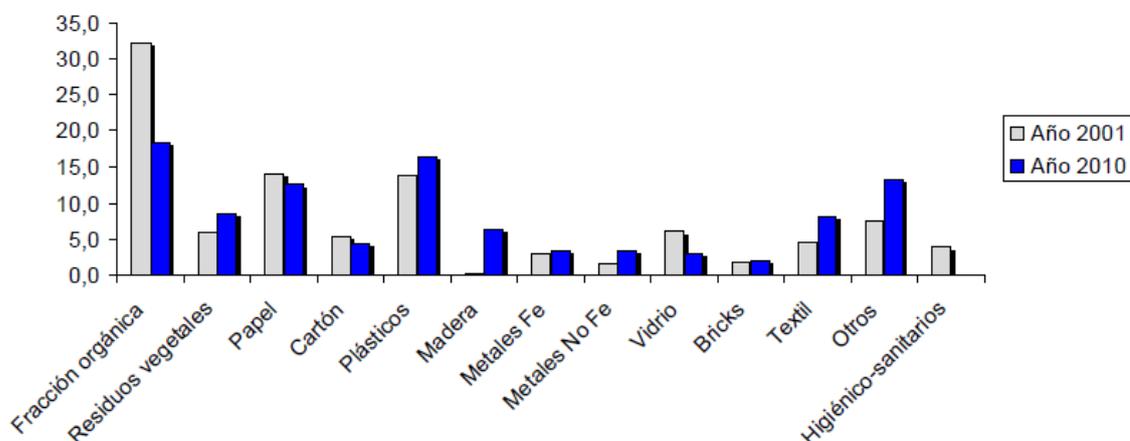


Figura 16. Comparativa Campañas 2001-2010 (Gobierno de Canarias, 2010)

Tal y como muestra la *Figura 16*, entre los años 2001 y 2010 disminuye notablemente la cantidad de fracción orgánica y en menor medida la cantidad de papel, cartón y vidrio. En contraposición, se produce un aumento de los residuos vegetales, plásticos, madera, metales, bricks y textiles.

### 4.3. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA

Debido a la orografía de las islas Canarias que dificultan la mecanización de la agricultura extensiva y a la falta de agua y grandes terrenos, no es posible implantar cultivos energéticos de

manera eficiente. Por tanto, la biomasa energética disponible se ve limitada a los distintos residuos susceptibles de ser valorizados energéticamente. Éstos incluyen:

- Residuos Sólidos Urbanos
- Lodos de depuradora
- Residuos agrícolas
- Residuos ganaderos
- Residuos forestales

En la actualidad el volumen de residuos destinado a la valorización energética es muy pequeño. En cambio, suponen un gran potencial y además existe un gran interés por la explotación de estos recursos energéticos. Representan biomasa, y como tal, una fuente de energía renovable; además, es complementaria a otras energías renovables no gestionables como la eólica o la fotovoltaica.

La gestión de lodos de las depuradoras de aguas residuales, tiene con respecto a otros tipos de residuos, la peculiaridad de que ciertos usos y posibilidades de reciclaje están regulados por normas específicas, algunas de carácter agronómico al existir la posibilidad de utilizarlos como abonos y enmiendas orgánicas en los suelos. Los lodos, en la mayoría de los casos, se destinan a vertedero. Sólo en algunos casos, como en Lanzarote, los lodos de depuradora, se introducen en la Planta de Biometanización del Complejo Medio Ambiental de Zonzamas. En Gran Canaria, el tratamiento para los lodos, es su digestión anaerobia en el Complejo Ambiental de Salto del Negro.

COMPLEJO AMBIENTAL DE ZONZAMAS							
Planta de BIOMETANIZACIÓN							
DATOS 2017							
MES	Fracción Orgánica de los Residuos Municipales	Lodos Tratados (Tn)	Purines Tratados (Tn)	Pr. Lácteos	Energía Producida (Mwh)	Energía Autoconsumida (Mwh)	Energía Exportada (Mwh)
Enero	104,212	729,9	76,42	0	27,8	16,4	11,4
Febrero	116,103	807,02	224,12	0	144,6	82,52	62,08
Marzo	96,575	947,22	243,14	0	155,9	81,9	74
Abril	86,927	910,5	156,86	0	110,6	60,88	49,72
Mayo	37,963	1026,08	238,08	0	104,7	59,49	45,21
Junio	38,558	1150,7	161,96	0	94,9	52,43	42,47
Julio	71,178	1022,14	235,54	48,62	142,9	67,42	75,48
Agosto	72,102	1046,76	229,64	0	101,9	57,69	44,21
Septiembre	71,46	963,3	360,22	0	136,2	77,24	58,96
Octubre	119,147	1022,5	303,7	0	146,1	82,21	63,9
Noviembre	51,511	868,12	404,4	0	120	62,07	58,04
Diciembre	96,272	787,74	276,64	0	131	69,34	61,66
<b>TOTAL</b>	<b>962,008</b>	<b>11.281,98</b>	<b>2910,72</b>	<b>48,62</b>	<b>1.416,60</b>	<b>769,59</b>	<b>647,13</b>

Figura 17. Datos del 2017 relativos al tratamiento y producción eléctrica de la planta de biometanización del Complejo Ambiental de Zonzamas, Lanzarote (Lanzarote Recicla, 2018)

En cuanto a residuos ganaderos, en Lanzarote, se están gestionando mediante digestión anaerobia, en la planta de biometanización del Complejo Ambiental de Zonzamas. En Tenerife un privado actualmente trata la gallinaza, mediante digestión anaerobia.

Los restos orgánicos considerados como residuos vegetales, susceptibles de valorización energética, son las plantas o las partes de ellas que deben retirarse por necesidades del cultivo o para obtener los frutos y que no presentan interés económico en el tiempo ni en el lugar de su generación. Un factor importante en la gestión de estos residuos es la estacionalidad en la producción de restos orgánicos biodegradables ya que en función del tipo de cultivo, los ciclos vegetativos son diferentes y por tanto, las tareas de recolección y de producción de residuos, son cíclicas.

En cuanto a la cantidad de residuos generados y tratados, en la *Figura 18* se aprecia la situación actual por Comunidades Autónomas respecto al porcentaje de las operaciones computables para la consecución del objetivo del 50% de preparación para la reutilización y reciclado de los residuos domésticos y similares, en 2020.

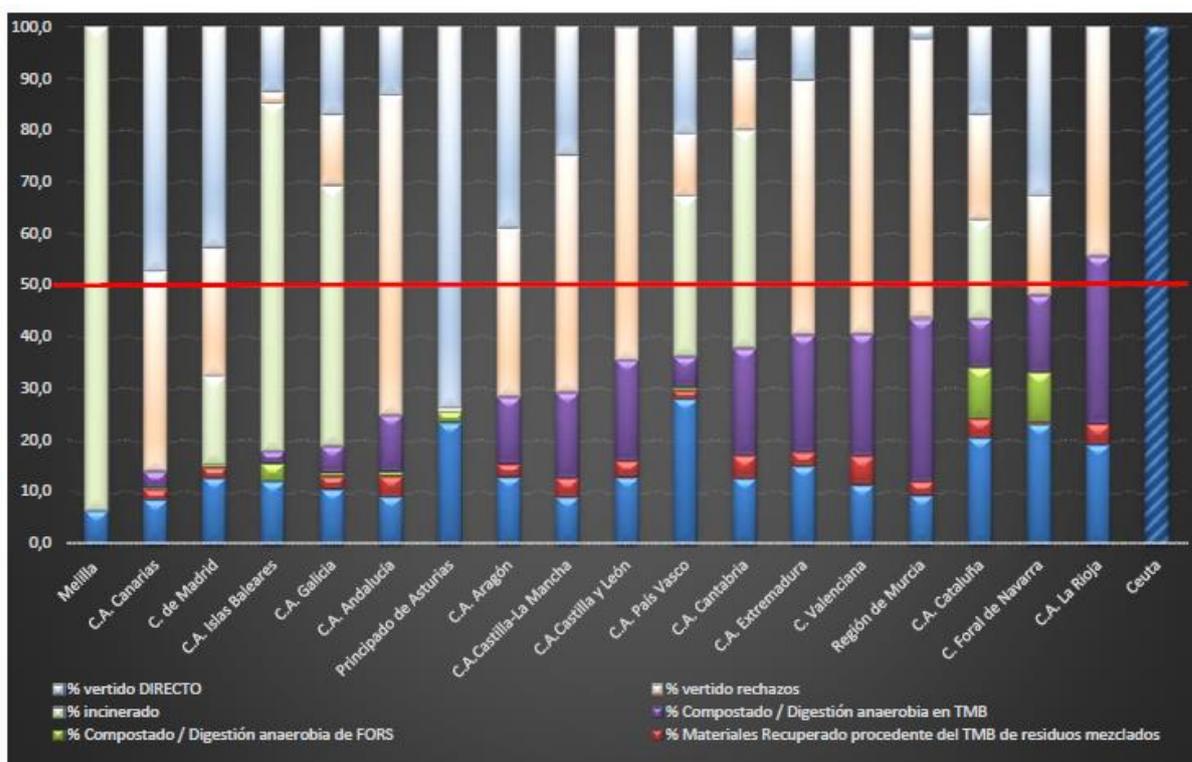


Figura 18. Situación en 2015 por CCAA respecto al % de las operaciones computables para la consecución del objetivo del 50% de preparación para la reutilización y reciclado de los residuos domésticos y similares, en 2020 (MAPAMA, 2015)

Como podemos observar en Canarias no se quema ningún tipo de residuo, ni mucho menos con fines de valorización energética.

	Reciclado procedente de recogida separada	Materiales Recuperado procedente del TMB de residuos mezclados	Compostado / Digestión anaerobia de FORS	Compostado / Digestión anaerobia en TMB	Incinerado	Vertido de rechazos	Vertido sin tratamiento previo	Total
C.A. Andalucía	371.494	157.184	33.843	436.906	0	2.463.963	517.154	3.980.542
C.A. Aragón	71.548	13.477	0	70.654	0	176.791	210.516	542.986
Principado de Asturias	124.963	0	10.540	0	0	3.717	388.188	527.408
C.A. Islas Baleares	109.780	211	31.317	20.929	603.251	20.468	110.886	896.842
C.A. Canarias	106.731	24.499	3.020	40.721	0	473.625	578.179	1.226.775
C.A. Cantabria	35.845	12.299	0	57.775	117.879	37.518	17.308	278.624
C.A.Castilla-La Mancha	84.799	33.774	0	151.646	0	420.030	225.791	916.039
C.A.Castilla y León	140.674	33.796	0	209.621	0	686.208	3.031	1.073.331
C.A. Cataluña	742.644	131.422	356.258	338.377	686.193	730.568	601.755	3.587.217
C.A. Extremadura	74.100	12.942	0	110.529	0	239.447	49.212	486.230
C.A. Galicia	119.136	26.733	8.186	56.792	556.127	151.777	185.040	1.103.789
C.A. La Rioja	25.744	5.278	0	43.043	0	58.562	0	132.626
C. de Madrid	301.750	46.438	13.653	0	399.096	578.017	990.999	2.329.953
Región de Murcia	64.546	17.560	0	212.196	1.409	360.275	17.058	673.043
C. Foral de Navarra	65.238	819	27.171	41.926	0	53.268	91.046	279.468
C.A. País Vasco	268.141	14.585	6.175	57.253	293.758	114.117	194.669	948.698
C. Valenciana	252.222	121.201	0	515.141	0	1.287.894	0	2.176.458
Ceuta*	2.622	0	0	0	0	0	0	2.622
Melilla	2.629	0	0	0	37.097	0	0	39.726
<b>TOTAL</b>	<b>2.964.605</b>	<b>652.216</b>	<b>490.162</b>	<b>2.363.511</b>	<b>2.694.810</b>	<b>7.856.243</b>	<b>4.180.831</b>	<b>21.202.378</b>

Figura 19. Cantidades de residuos generados y tratados en 2015, desglosadas por CCAA (MAPAMA, 2015)

Respecto a la existencia de incineradoras de residuos en las islas, tras el cierre de varias de ellas (en la isla de La Palma existían en: Mazo (2), El Paso, Barlovento y de Mendo) han existido varios proyectos que no han llegado a buen término en las islas, debido a la oposición de Instituciones Ecologistas que rechazan cualquier tipo de tratamiento térmico de los residuos. Algunos de estos ejemplos son los proyectos de: Incineradora en Salto del Negro (Gran Canaria) e Incineradora de Tenerife.

#### 4.4. RESIDUOS DE PODA. PALMERA CANARIA

A pesar de existir restos de podas de algunas especies vegetales que son usados con fines energéticos, la bibliografía consultada no muestra la utilización de la palmera canaria con tales fines. Sin embargo, esta especie vegetal ha tenido varios usos tradicionales a lo largo de la historia de Canarias, la mayoría en desuso.

Hasta hace muy pocas décadas la población del Archipiélago vivía fundamentalmente en un medio rural, basando su economía en la agricultura, la pesca y el pastoreo. La artesanía se presenta en Canarias como una actividad económica complementaria de la agricultura. La obtención de la materia prima, necesaria para la ejecución de estas actividades suponía, a su vez, un sistema de explotación del medio, basado en los recursos naturales propios del ecosistema insular.

La Phoenix Canariensis pertenece a una especie endémica de las Islas Canarias que ha sido abundantemente aprovechada y cultivada incluso antes de la Conquista del Archipiélago por la

población isleña. Según las crónicas los aborígenes canarios emplearon esta fibra vegetal para la elaboración de múltiples y variados objetos: sogas, redes, velas y embarcaciones, exvotos, etc.

Durante todo el Antiguo Régimen, y a través de los testamentos, se sabe la palma se usaba para la fabricación de diversos útiles: esteras, sogas, etc.; y como material de construcción, como por ejemplo en el caso de las primeras casas de la ciudad de Las Palmas de GC.

En la etapa contemporánea el aprovechamiento de la palmera canaria por la sociedad insular continuó siendo abundante hasta mediados del presente siglo. Entre los distintos usos localizados tenemos: (Cabildo de Gran Canaria, 2018)

- El tronco de la palmera canaria se utilizaba, después de una pequeña preparación, como colmena para abejas.
- La hoja y las tamaras han sido requerida como comida de los animales.
- Las hojas y ramas secas como materia orgánica para elaborar estiércol, y como combustible para los hogares de las casas tradicionales.
- Las ramas como elemento decorativo de ventorrillos, casas y calles durante las fiestas patronales.
- También se empleó el *jarropón, estípites o entramado*. Esta es una fibra de color canelo que forma una masa alrededor de la parte terminal del tronco, y que se utilizaba como recubrimiento interior de jardineras y helecheras, como medio para conservar la humedad, para el empaquetado de plátanos, etc.
- En las herrerías tradicionales ubicadas en el sur de Gran Canaria se ha detectado que el tronco de madera sobre el que descansa el yunque era de palmera canaria. Mientras en las herrerías del Norte se utilizaba madera de eucalipto.
- El palmito blanco entrelazado, confeccionado a través de una fina filigrana, también ha sido empleado no sólo para la confección de múltiples objetos de cestería, sino también para la elaboración del Ramo, que portan los feligreses en las procesiones del Domingo de Ramos.
- El pírgano o penco como mango o cabo de las escobas, y para elaborar cestas y cestos por los cesteros de pírgano. A lo largo de los siglos la demanda de cestas de pírgano y en concreto de los modelos conocidos como cesta pedrera, y yerbera ha sido muy abundante.
- Para elaborar el guarapo o miel de palma. Esta técnica permite extraer la savia de la palmera sin destruirla. En Gran Canaria se llegó a utilizar hasta los años 40, para ser empleada como edulcorante ante la escasez de azúcar. El proceso consiste en cortar las pencas terminales, pero sin hacerlo con la de los lados, para no imposibilitar su desarrollo. Seguidamente a los pocos días se procede a rebajar con un formón en la parte central, estando ya lista para producir guarapo. Diariamente se ha de proceder a “curar”, es decir a cortar finamente con el formón el cogollo de la palmera para que siga saliendo la savia. El guarapo se puede aprovechar tal cual,

o convirtiéndolo en miel, se pone al fuego rápidamente para evitar que se agrie y se retira la espuma. Hay que dejar bastante tiempo el guarapo en cocción por lo menos hasta que se consume el 20% de la cantidad inicial. La miel es empleada como edulcorante, en repostería, remedios curativos, etc.

- La cestería de palma. Las estereras llevaron a cabo una producción muy amplia y variada, surtiendo de diferentes objetos a diversos sectores de la población insular: cestas, empleitas, estereras, serones, abanaderas, tomizas, bolsos, sombreros, joyeros, bandejas, etc. Esta producción se ha ido reduciendo a medida que avanzaban los años, debido a la irrupción en los mercados isleños de nuevos objetos elaborados con novedosos materiales

## CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

### 5.1. DATOS GLOBALES ULPGC

La Universidad de Las Palmas de Gran Canaria está compuesta por 6 campus universitarios: 4 campus en Gran Canaria, 1 campus en Lanzarote y 1 campus en Fuerteventura. A ellos se añade las siguientes instalaciones ubicadas en la isla capitalina: el Campus de Taliarte dedicado al área de investigación y el Rectorado y Nuevo Edificio de Servicios Administrativos.

En cuanto a los recursos humanos de los que dispone la universidad se contabilizan:

1.585	profesores e investigadores
45	personal investigador en proyectos
40	doctores honoris causa
761	miembros del personal de administración y servicios
<b>2.431</b>	<b>TOTALES</b>

Tabla 7. Personal de la ULPGC. Curso 2017/2018 (ULPGC, 2018)

Durante el curso 2017-2018 se dispone del siguiente número de alumnos matriculados:

144	alumnos de primer y segundo ciclo (No EEES)
17.852	alumnos de Grados
1.103	alumnos de máster oficiales
529	alumnos de programas de doctorado
142	alumnos de maestrías y expertos propios
1.478	alumnos matriculados en titulaciones en línea
755	alumnos de programas formativos especiales
695	matriculados en acceso de mayores de 25 años
17	aptos en la prueba de acceso para mayores de 40 años
138	matriculados en acceso de mayores de 45 años
134	otros
<b>22.987</b>	<b>TOTALES</b>

Tabla 8. Alumnos en la ULPGC. Curso 2017/2018 (ULPGC, 2018)

Por otra parte, el proyecto ULPGC en cifras 2016, recoge las estadísticas de los alumnos matriculados en los grados disponibles en las islas de Lanzarote y Fuerteventura, que serán excluidos de este estudio junto con el personal docente y administrativo que ejercen en los mismos.

194	Grado en Enfermería (Fuerteventura)
177	Grado en Enfermería (Lanzarote)
247	Grado en Turismo (Lanzarote)

Tabla 9. Alumnos en los Campus de Lanzarote y Fuerteventura (ULPGC, 2018)

En conclusión, se considerarán para este estudio un total de 23.256 usuarios. Cifra obtenida restando al total ( $2.431+22.987=25.418$ ), los alumnos matriculados en línea (1.478) y los alumnos, personal docente y administrativo de las islas de Fuerteventura y Lanzarote (684).



- Campus de Montaña de Cardones, *municipio de Arucas*

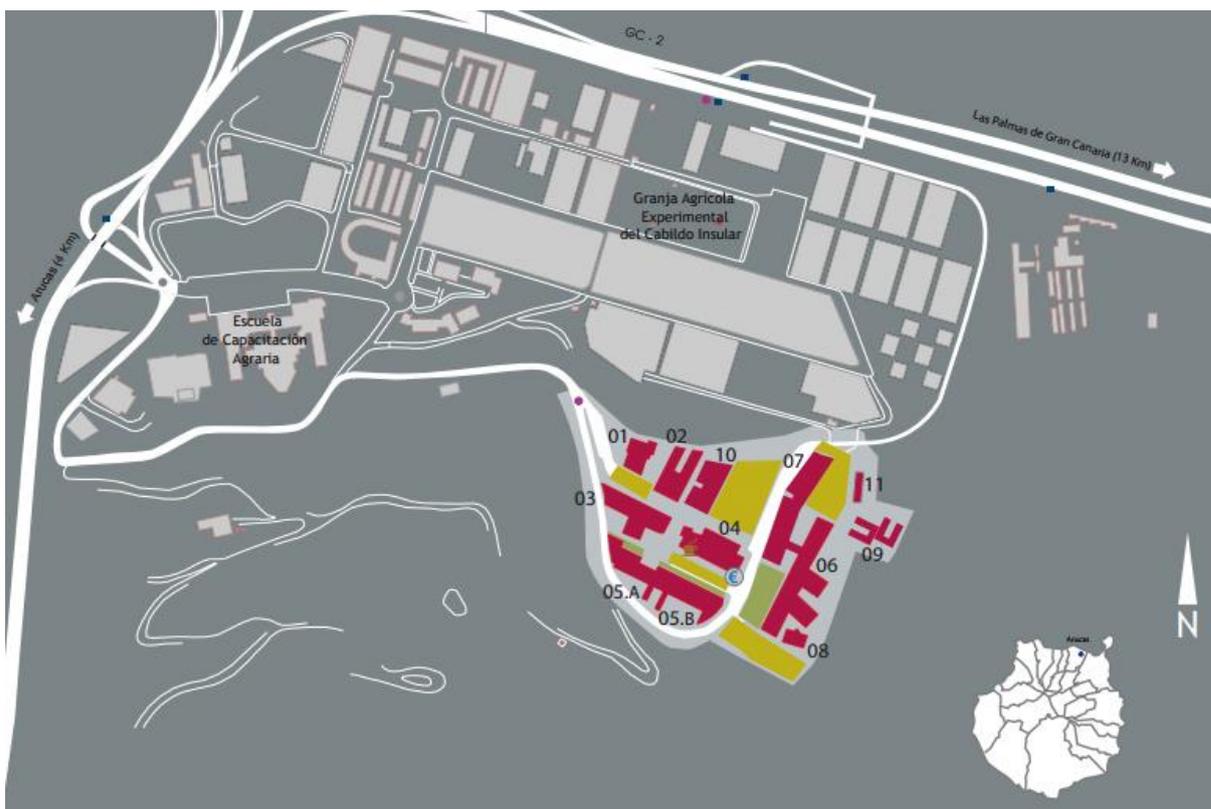


Figura 21. Mapa Campus de montaña de Cardones (ULPGC, 2018)

- Campus de San Cristóbal, *municipio de LPGC*

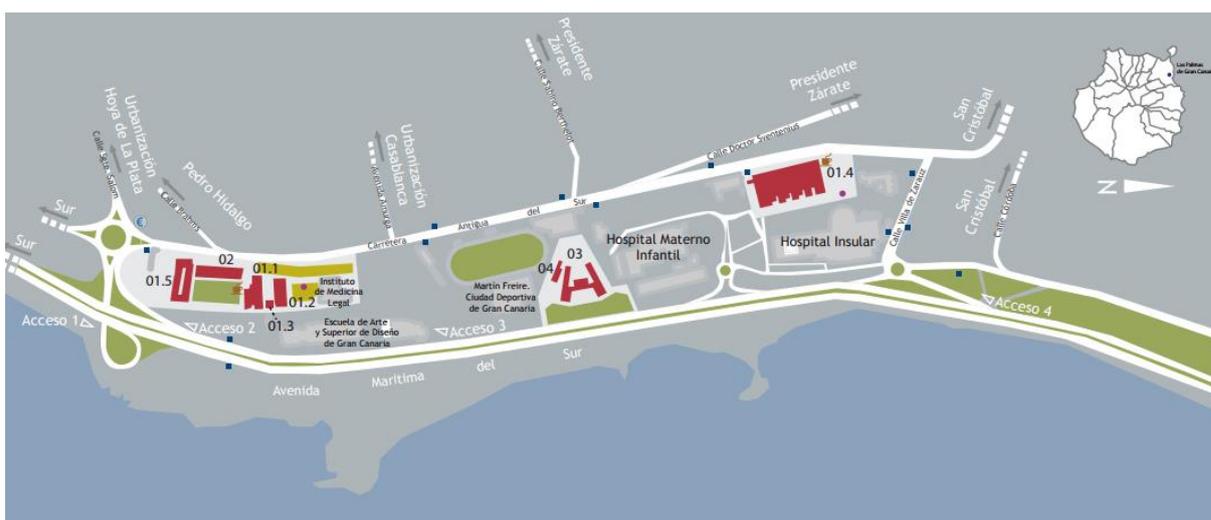


Figura 22. Mapa Campus de San Cristóbal (ULPGC, 2018)

- Campus de Tafira, *municipio de LPGC*



Figura 23. Mapa Campus de Tafira (ULPGC, 2018)

- Campus de Taliarte, *municipio de Telde*

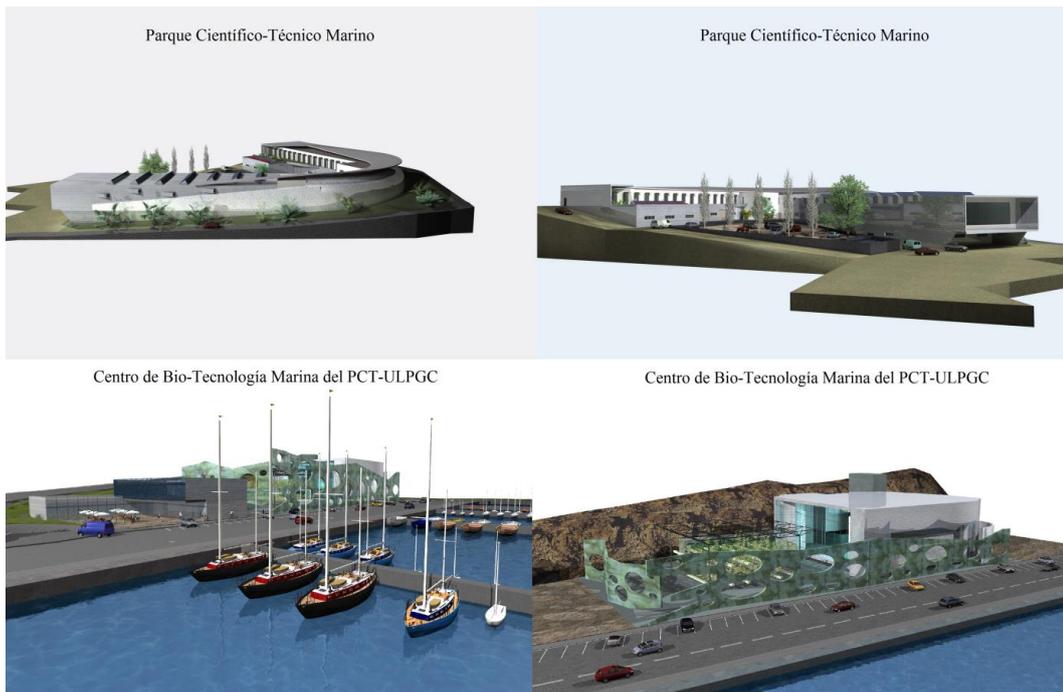


Figura 24. Infografías Campus de Taliarte (ULPGC, 2018)

- Rectorado y Nuevo Edificio de Servicios Administrativos (NESA), *municipio de LPGC*



Figura 25. Mapa Rectorado y NESA (ULPGC, 2018)

### 5.3. ZONAS VERDES

Los datos incluidos en este apartado han sido facilitados por la empresa encargada de los trabajos de mantenimiento y poda de las zonas verdes en las distintas áreas de actuación: FCC Fomento de Construcciones y Contratas

#### 5.3.1. SUPERFICIE AJARDINADA

La superficie total ajardinada de las distintas áreas de actuación asciende a 148.189,96 m<sup>2</sup>. En el *Anexo III* del presente documento, se muestran los mapas de cada área en los cuales podemos localizar las zonas ajardinadas que aparecen sombreadas en color.

El reparto de superficie por zonas se muestra en la siguiente tabla:

CAMPUS	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )
Campus del Obelisco	6.983,57
Campus de Montaña de Cardones	2.769,57
Campus de San Cristóbal	10.188,91

Campus de Tafira	123.230,60
Campus de Taliarte	3.252,46
Rectorado y NESA	1.764,85
<b>TOTAL</b>	<b>148.189,96</b>

Tabla 10. Superficie de las zonas verdes

### 5.3.2. INVENTARIO DE ESPECIES

Las especies vegetales presentes en la ULPGC se dividen en las siguientes familias:

- Árboles
- Arbustos y semiarbustos
- Crasas
- Palmeras
- Tapizantes
- Trepadoras
- Tubérculos y bulbos

El *Anexo IV* del presente documento recoge un inventario de las especies, el cual incluye fotografías de las mismas. A continuación, se presenta una tabla resumen con el número de especies existentes pertenecientes a cada familia y divididas por zonas.

ZONA	ARBOLES	PALMERAS	ARBUSTOS	TREPADORAS	CRASAS	TUBERCULOS Y BULBOS	TAPIZANTES
CAMPUS DEL OBELISCO	104	35	331	38	190	30	0
CAMPUS MONTAÑA DE CARDONES	98	25	272	14	199	2	2
CAMPUS DE SAN CRISTOBAL	95	171	529	34	434	0	0
CAMPUS DE TAFIRA	1.285	1.346	3.359	135	2.492	135	21
CAMPUS DE TALIAARTE	124	1	190	0	69	0	2
RECTORADO Y NESA	33	12	154	3	60	7	2
<b>TOTAL</b>	<b>1.739</b>	<b>1.590</b>	<b>4.835</b>	<b>224</b>	<b>3.444</b>	<b>174</b>	<b>27</b>

Tabla 11. Inventario de especies por familia y campus

A parte de las familias de especies vegetales mencionadas, las zonas ajardinadas de la ULPGC cuentan con un total de 14 paños de césped distribuidos de la siguiente manera:

ZONA	Nº DE PAÑOS	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )
Campus del Obelisco	1	1.384,47
Campus de Tafira	12	749,46
		2.730,37
		550
		1.159
		75
		200
		843

		2.000
		190
		498,79
		978
		374,15
Rectorado y NESA	1	200
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>11.932,24</b>

Tabla 12. Paños de césped distribuidos por campus

Se ha realizado un trabajo de campo para comprobar la veracidad de los datos proporcionados.

### 5.3.3. CARACTERÍSTICAS DE LA PODA

Con respecto a la frecuencia de podas, las palmeras se podan una vez al año, los arbustos hasta tres y los árboles depende de si lo necesitan o no. Los trabajos de mantenimiento y poda de las zonas verdes en las distintas áreas de actuación se realizan dos veces por semana, a través de distintos itinerarios.

## 5.4. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS

Para el cálculo del potencial energético existente en el área de estudio se han cuantificado los residuos procedentes de la recogida en contenedores, de la biomasa y basura proveniente de los trabajos de mantenimiento de las zonas verdes, de los lodos procedentes de las aguas residuales y de las deyecciones ganaderas generadas en la Facultad de Veterinaria.

No se contemplarán en los cálculos de valorización energética, los residuos recogidos mediante recogida selectiva en los contenedores verdes (vidrios) y azules (papel y cartón) al tratarse de contenedores que agrupan tipologías específicas de residuos fácilmente identificables. Dichos RSU seguirán la cadena de gestión de residuos actual tras recogida selectiva, siendo su destino el reciclaje. Sí se contemplarán en la valorización los vidrios, papel y cartón recogidos de forma mezclada en las zonas verdes y en los contenedores grises.

### 5.4.1. RSU TOTALES

En Canarias, un ciudadano genera aproximadamente 0,602 tn de basura al año, lo que se traduce en 1,65 kg/día. Si éste ciudadano pertenece a la comunidad universitaria y pasa una media de 1/4 del día en la universidad, parte de esos residuos quedarán en las instalaciones de la ULPGC (0,4125 kg/día).

Durante un curso completo existen periodos con mayor o menor actividad académica, se distingue entre:

- Días con docencia: aquellos en los que se imparten clases. 80% de asistencia.
- Días sin docencia: períodos de exámenes en los que no se imparten clases. 60% de asistencia.
- Días festivos: sábados, domingos y fiestas nacionales y locales. Se incluye en estos días el mes completo de agosto. 10% de asistencia.

Para contabilizar los días anteriormente descritos, se estudia el calendario laboral de la provincia de Las Palmas de los años 2016 y 2017 y el calendario académico del curso 2016/2017, cuyos resultados se expresan a continuación:

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
<b>CON DOCENCIA</b>	7	19	23	15	14	0	0	0	10	20	21	13	142
<b>SIN DOCENCIA</b>	10	0	0	0	7	22	21	0	0	0	0	0	60
<b>FESTIVOS</b>	14	9	8	15	10	8	10	31	20	11	9	18	163
<b>TOTAL</b>	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365

Tabla 13. Distribución del calendario académico

Conociendo el número de alumnos, profesores y resto de personal en el ámbito de estudio (establecido en 23.256), se estima una producción de residuos de:

Días		Ratio residuos (kg/día/hab)	% de asistencia	Nº usuarios	Residuos totales (kg/año)
Con docencia	142	0,4125	80	18.605	1.089.787,88
Sin docencia	60	0,4125	60	13.954	345.361,50
Festivos	163	0,4125	10	2.326	156.394,43
<b>Total</b>	<b>365</b>				<b>1.591.543,80</b>

Tabla 14. Cálculo del total de residuos

Se tomará la composición de residuos estipulada en la isla de Gran Canaria para hallar la cantidad de residuos según tipología.

TIPO DE RESIDUOS	%
FRACCIÓN ORGÁNICA	19
RESIDUOS VEGETALES	8
PAPEL	13
CARTÓN	4
PLÁSTICOS	17
MADERA	6
METALES FE	3
METALES NO FE	4
VIDRIO	3
BRICKS	2
TEXTIL	8
OTROS	13
HIGIÉNICO-SANITARIOS	0
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Tabla 15. Composición media de los residuos domésticos de la isla de Gran Canaria. Año 2010 (Gobierno de Canarias, 2010)

Se realizará una serie de correcciones para la aplicación de estos porcentajes en el ámbito de estudio. Por tanto:

- Se tomará la cantidad de residuos vegetales aportados por la empresa FCC aplicando un rango que va desde el peso mínimo anual al peso máximo anual, extraído del histórico de datos disponible.
- Sabiendo que los envases de bricks están compuestos por un 70% de cartón, un 5 % de aluminio y un 25% de polietileno, se dividirán éstos en función de la tipología de sus componentes: cartón, metal y plástico respectivamente.
- Se unificarán los metales férricos y no férricos, en un único apartado metales.
- Se añadirá un 1 % de gomas y cauchos, que se restará del apartado “otros”.

Quedando las cantidades de residuos según tipología de la siguiente forma:

TIPOLOGÍA DE RSU	TANTO POR UNO	TANTO POR UNO CORREGIDO	TOTAL RSU CALCULADOS			
			SUPUESTO 1		SUPUESTO 2	
			kg	%	kg	%
Materia Orgánica	0,19	0,206521739	292.583,23	18,38	270.687,80	17,01
Residuos vegetales	-	-	174.825,00	10,98	280.845,00	17,65
Papel	0,13	0,141304348	200.188,53	12,58	185.207,44	11,64
Cartón	0,054	0,058695652	83.155,23	5,22	76.932,32	4,83
Plásticos	0,175	0,190217391	269.484,55	16,93	249.317,71	15,67
Vidrio	0,03	0,032608696	46.197,35	2,90	42.740,18	2,69
Metales	0,071	0,077173913	109.333,73	6,87	101.151,76	6,36
Maderas	0,06	0,065217391	92.394,70	5,81	85.480,36	5,37
Textiles	0,08	0,086956522	123.192,94	7,74	113.973,81	7,16
Gomas y cauchos	0,01	0,010869565	15.399,12	0,97	14.246,73	0,90
Otros	0,12	0,130434783	184.789,41	11,61	170.960,71	10,74
<b>Total</b>	<b>0,92</b>	<b>1</b>	<b>1.591.543,80</b>	<b>100</b>	<b>1.591.543,80</b>	<b>100</b>

Tabla 16. Cantidades de RSU totales según tipología

#### 5.4.1.1. RSU ZONAS VERDES

La empresa FCC aporta información acerca de la cantidad de residuos recogidos en las zonas verdes durante los últimos 5 años.

Valores en kg	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	27.260	24.700	22.620	4.260	23.580
Febrero	37.320	36.380	22.460	20.880	9.060
Marzo	21.900	20.220	47.620	39.580	32.360
Abril	19.700	21.460	24.320	23.300	9.220
Mayo	23.760	18.960	32.730	23.600	25.220

Junio	17.000	23.200	31.720	24.340	8.300
Julio	12.300	13.740	23.560	6.180	11.540
Agosto	20.220	27.750	27.040	29.940	11.660
Septiembre	15.780	27.910	16.840	12.660	15.160
Octubre	36.360	14.700	3.460	27.500	13.120
Noviembre	40.960	28.190	40.300	17.920	13.560
Diciembre	31.620	16.510	19.380	18.380	21.470
<b>TOTAL (kg/año)</b>	<b>304.180</b>	<b>273.720</b>	<b>312.050</b>	<b>248.540</b>	<b>194.250</b>
<b>TOTAL (tn/año)</b>	<b>304,18</b>	<b>273,72</b>	<b>312,05</b>	<b>248,54</b>	<b>194,25</b>

Tabla 17. Cantidad de residuos recogidos en las zonas verdes entre los años 2013-2017

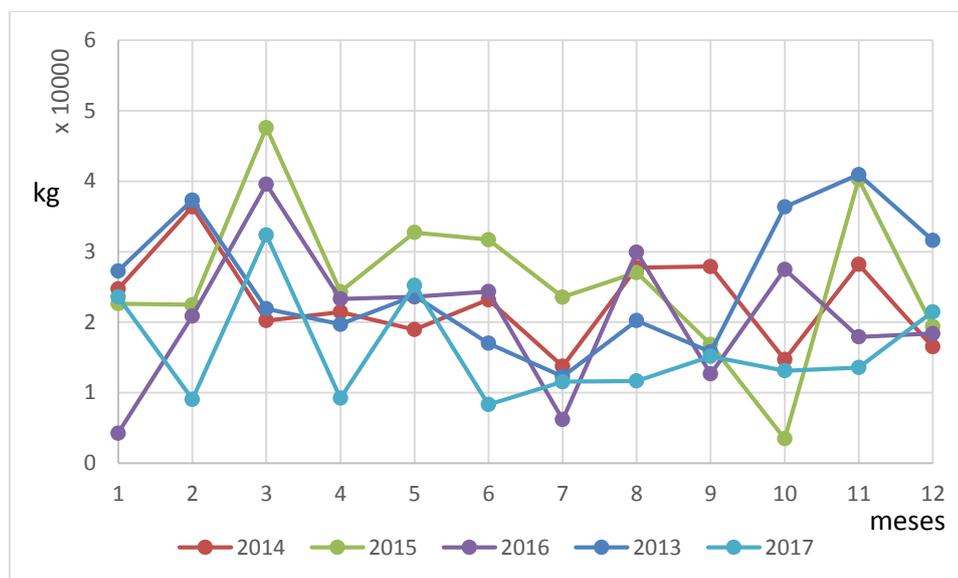


Figura 26. Evolución mensual de la cantidad de residuos recogidos en las zonas verdes entre los años 2013-2017

Atendiendo a los pesajes facilitados de entrada a vertedero y a las consideraciones realizadas por la propia empresa encargada del mantenimiento de las zonas verdes, se ha estimado el pesaje anual esperado de los residuos generados por categoría en un año, aplicando un rango que va desde el peso mínimo anual (Supuesto 1 correspondiente al año 2017) al peso máximo anual (Supuesto 2 correspondiente al año 2015) extraído del histórico de datos disponible.

Valores en kg	SUPUESTO 1	SUPUESTO 2
PALMERA = 55%	106.837,5	171.627,5
RESTO ESPECIES = 35%	67.987,5	109.217,5
<b>TOTAL RESIDUOS VEGETALES</b>	<b>174.825,0</b>	<b>280.845,0</b>
BASURA ZONAS VERDES = 10%	19.425,0	31.205,0
<b>TOTAL RESIDUOS ZONAS VERDES</b>	<b>194.250,0</b>	<b>312.050,0</b>

Tabla 18. Previsión de residuos esperados en las zonas verdes

Quedando las cantidades de residuos según tipología en las zonas verdes de la siguiente forma:

TIPOLOGÍA DE RSU	TANTO POR UNO	TANTO POR UNO CORREGIDO	TOTAL RSU ZONAS VERDES			
			SUPUESTO 1		SUPUESTO 2	
			kg	%	kg	%
Materia Orgánica	0,19	0,206521739	4.011,68	2,07	6.444,51	2,07
Residuos vegetales	-	-	174.825,00	90,00	280.845,00	90,00
Papel	0,13	0,141304348	2.744,84	1,41	4.409,40	1,41
Cartón	0,054	0,058695652	1.140,16	0,59	1.831,60	0,59
Plásticos	0,175	0,190217391	3.694,97	1,90	5.935,73	1,90
Vidrio	0,03	0,032608696	633,42	0,33	1.017,55	0,33
Metales	0,071	0,077173913	1.499,10	0,77	2.408,21	0,77
Maderas	0,06	0,065217391	1.266,85	0,65	2.035,11	0,65
Textiles	0,08	0,086956522	1.689,13	0,87	2.713,48	0,87
Gomas y cauchos	0,01	0,010869565	211,14	0,11	339,18	0,11
Otros	0,12	0,130434783	2.533,70	1,30	4.070,22	1,30
<b>Total</b>	<b>0,92</b>	<b>1</b>	<b>194.250,00</b>	<b>100</b>	<b>312.050,00</b>	<b>100</b>

Tabla 19. Cantidades de RSU en las zonas verdes según tipología

#### 5.4.1.2. RSU CONTENEDORES

Restando a la cantidad de residuos totales, los residuos de las zonas verdes para ambos supuestos, obtenemos la cantidad de residuos recolectado en contenedores.

TIPOLOGÍA DE RSU	TANTO POR UNO	TANTO POR UNO CORREGIDO	TOTAL RSU CONTENEDORES			
			SUPUESTO 1		SUPUESTO 2	
			kg	%	kg	%
Materia Orgánica	0,19	0,206521739	288.571,55	20,65	264.243,28	20,65
Residuos vegetales	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Papel	0,13	0,141304348	197.443,69	14,13	180.798,04	14,13
Cartón	0,054	0,058695652	82.015,07	5,87	75.100,72	5,87
Plásticos	0,175	0,190217391	265.789,58	19,02	243.381,97	19,02
Vidrio	0,03	0,032608696	45.563,93	3,26	41.722,62	3,26
Metales	0,071	0,077173913	107.834,63	7,72	98.743,54	7,72
Maderas	0,06	0,065217391	91.127,86	6,52	83.445,25	6,52
Textiles	0,08	0,086956522	121.503,81	8,70	111.260,33	8,70
Gomas y cauchos	0,01	0,010869565	15.187,98	1,09	13.907,54	1,09
Otros	0,12	0,130434783	182.255,71	13,04	166.890,50	13,04
<b>Total</b>	<b>0,92</b>	<b>1</b>	<b>1.397.293,80</b>	<b>100</b>	<b>1.279.493,80</b>	<b>100</b>

Tabla 20. Cantidades de RSU procedentes de la recogida en contenedores según tipología

Como se aprecia en la *Tabla 20*, se recogerán en los contenedores entre 1.279.493,80 y 1.397.293,80 kg/año, lo que se traduce en un promedio de **1.338.393,80 kg/año**. Para verificar este valor, se ha cuantificado el número de contenedores existentes en las distintas zonas de actuación. Considerando la frecuencia de recogida, la capacidad de los mismos, el porcentaje de llenado y la

densidad media de los RSU en la isla de GC estipulada en 164,1 kg/m<sup>3</sup> (Gobierno de Canarias, 2010) , se ha calculado el pesaje anual de RSU generados en un año.



Figura 27. Contenedores edificio de Ingenierías

Se arroja de esta comprobación, una producción total de 1.338.214,99 kg/año de residuos en el área de estudio con una frecuencia de recogida de 2 veces por semana y un porcentaje de llenado de 43,06%.

CONTENEDORES	ORGÁNICO	PAPEL Y CARTÓN	ENVASES	VIDRIOS	TOTAL
Volumen de un contenedor (m <sup>3</sup> )	1,1	1,1	1,5	1,5	5,2
Nº de contenedores	80	31	20	20	151
m <sup>3</sup> a la semana	75,7856	29,36692	25,836	25,836	156,82
m <sup>3</sup> al año	3.940,85	1.527,08	1.343,47	1.343,47	8.154,88
Densidad media (kg/m <sup>3</sup> )	164,1				
<b>Pesaje anual (kg/año)</b>	646.693,68	250.593,80	220.463,76	220.463,76	<b>1.338.214,99</b>

Tabla 21. Comprobación de las cantidades de RSU procedentes de la recogida en contenedores

### 5.4.2. LODOS DE DEPURADORAS

El método de cálculo de la cantidad de lodos secos generados por los usuarios de los distintos campus de la ULPGC se divide en tres pasos:

1) Cálculo del consumo de agua domésticas

Considerando la universidad como instalaciones de uso académico, se establece un indicador de consumo para escuelas de entre 50 y 80 l/alumno/día (CIGEA y Agencia de Medio Ambiente, 1998). Para afinar el valor a la isla de Gran Canaria se ha consultado el Plan Hidrológico. En él se determina una dotación de 200 l/hab/día (Consejo Insular de Aguas de GC, 1998). Considerando que este habitante sea usuario de la ULPGC y pase 1/4 del día en la universidad, el indicador de consumo se quedaría en 50 l/usuario/día.

Al igual que para el cálculo de los RSU se consideran los periodos de mayor y menor actividad académica, variando de la misma forma los porcentajes de asistencia. Obteniéndose:

Días		Ratio dotación (l/día/hab)	% de asistencia	Nº usuarios	Caudal total suministrado (l/año)
Con docencia	142	50	80	18.605	132.095.500
Sin docencia	60	50	60	13.954	41.862.000
Festivos	163	50	10	2.326	18.956.900
<b>Total</b>	<b>365</b>				<b>192.914.400</b>

Tabla 22. Previsión de caudal suministrado

2) Cálculo del agua residual

El caudal de aguas residuales que va al sistema de alcantarillado se estima considerando un factor de retorno a los sistemas de recolección, usualmente de entre el 85 y 90% del gasto entregado para el consumo doméstica. Si se conocen las per cápitas de agua suministradas (l/hab/d) y se multiplican por el número de habitantes vinculados al sistema de alcantarillado y por el factor de retorno, se obtendrá el caudal de aguas residuales generadas. (CIGEA y Agencia de Medio Ambiente, 1998)

Días		Caudal total suministrado (l/año)	Factor de retorno	Caudal Aguas Residuales (l/año)	Caudal Aguas Residuales (m <sup>3</sup> /año)
Con docencia	142	132.095.500	0,9	118.885.950	118.885,95
Sin docencia	60	41.862.000	0,9	37.675.800	37.675,80
Festivos	163	18.956.900	0,9	17.061.210	17.061,21
<b>Total</b>	<b>365</b>	<b>192.914.400</b>		<b>173.622.960</b>	<b>173.622,96</b>

Tabla 23. Previsión de caudal de aguas residuales

3) Cálculo de los lodos

Para el cálculo de los lodos se han tomado los índices que arrojan las cinco EDAR españolas analizadas en el capítulo anterior del presente documento. (Instituto Tecnológico de Canarias, 2015)

EDAR (Emplazamiento)	Caudal (m <sup>3</sup> /día)	Lodos (tnMS/día)	Ratio (kgMS/m <sup>3</sup> )	
NOVELDA (Alicante)	4.200	0,75	0,179	
ALCANTARILLA (Murcia)	7.200	2	0,278	Ratio máximo
SITGES (Barcelona)	9.000	1,32	0,147	Ratio mínimo
GAVÁ (Barcelona)	40.000	8	0,200	
ABRERA (Barcelona) 50% de aguas industriales	17.000	2,67	0,157	

Tabla 24. Cálculo de los ratios de producción de lodo a partir del volumen de agua tratada

CAUDAL AGUAS RESIDUALES MEDIO ULPGC (m <sup>3</sup> /día)		475,68
<b>Lodos</b>	Mínimo = Supuesto 1	Máximo = Supuesto 2
<b>(kgMS/día)</b>	<b>69,77</b>	<b>132,13</b>
(kgMS/año)	25.464,70	48.228,60
<b>(tnMS/año)</b>	<b>25,46</b>	<b>48,23</b>

Tabla 25. Cálculo de la producción de lodo

De la *Tabla 25* se concluye que los usuarios de la ULPGC generarán entre 25,46 y 48,23 tn de lodo seco al año.

### 5.4.3. DEYECCIONES GANADERAS

Se ha girado visita a la Facultad de Veterinaria guiada por la persona responsable del animalario y la granja. Se informa de que el número de animales existente en la facultad varía a lo largo del año. En el momento de la visita, las instalaciones albergan:

Especie	Número	Tipo de residuo*
<b>GRANJA</b>		
Vacas	1	Estiércol
Cerdas adultas	2	Purín
Cabras	40	Estiércol
Ovejas	30	Estiércol y lana
Gallinas	40	Gallinaza
Conejos	30	Estiércol
<b>FACULTAD DE MEDICINA</b>		
Roedores	2.000	Serrín con algo de heces
<b>HOSPITAL UNIVERSITARIO**</b>		
Animales de ganado (vacas, cabras, etc.)	20	Estiércol

Caballos	30	Estiércol
----------	----	-----------

\*El ganado aislado en habitaciones y zonas exteriores por motivos médicos o de estudio disponen de cama, por lo que los residuos generados se compondrán de estiércol + paja.

\*\*Los valores del Hospital Universitario se refieren al número total estimado de animales hospitalizados durante un año.

Tabla 26. Inventario de animales existentes en el Campus de Montaña de Cardones



Figura 28. Imágenes de la visita a la Granja. Facultad de Veterinaria

A parte de las propias deyecciones de los animales, existen otros subproductos como son los materiales que forman las camas. Por ejemplo, la paja para el ganado o el serrín sin polvo pretratado de abeto para los roedores. Además, se producen otros materiales diferentes como el residuo de lana generado por el esquileo ovino (30 ovejas canarias). En el presente estudio no se contabilizarán dichos residuos al no disponer de datos suficientes.

Tipo de ganado y fase productiva	Kg N /plaza /año	Purín m <sup>3</sup> /plaza /año	Estiércol t/plaza /año	Densidad estiércol (t/m <sup>3</sup> )
Bovino de leche	73,00	14	18	0,8
Vacas nodrizas	51,10	9	12	0,8
Terminas de reposición	38,50	5,5	7	0,8
Cría de bovino (animales de 1 a 4 meses en 3 ciclos/año/plaza)	7,70	0,5	0,7	0,8
Engorde de terneros/terminas (1)	21,90	3,8	4	0,8
Cerda en ciclo cerrado (2)	57,80	17,75	-	-
Cerda con lechones hasta destete (0-8 kg)	15,00	5,1	5,4	0,8
Cerda con lechones hasta 20 kg	18,00	8,12	-	-
Cerda de reposición	8,50	2,5	2,75	0,8
Lechones de 6-20 kg	1,19	0,41	0,6	0,8
Cerdo de engorde (20-50 kg)	6,00	1,8	-	-
Cerdo de engorde ( 50-100 kg)	8,50	2,5	-	-
Cerdo de recibo (20-100 kg)	7,25	2,15	2,4	0,8
Verraco	18,00	8,12	-	-
Avicultura de puesta (por plaza de gallina ponedora, comercial o selecta)	0,50	0,037	0,04	0,9
Polluelos de criar (2,5 ciclos/año/plaza. Animales de 100 días hasta 1,4 kg)	0,08	-	<u>0,0073</u>	-
Engorde de pollos (5 ciclos/año/plaza. Tiempo de engorde de 48-50 días)	0,22	-	0,02	0,5
Engorde de patos (3,5 ciclos/año/plaza)	0,24	0,088	0,102	-
Producción de conejo (3)	4,30	-	0,412	0,75
Ganado equino	63,80	-	11	0,8
Ovejas de reproducción	9,00	-	0,9	-
Cabrio de engorde (2,0 ciclos/año/plaza. Conjunto corderos/corderas)	3,00	-	0,3	-
Ovejas de reproducción	4,50	-	0,45	-
Cabrio de reproducción (con o sin producción lechera)	7,20	-	<u>0,72</u>	-
Cabrio de reposición	3,60	-	<u>0,36</u>	-
Cabrio sacrificio	2,40	-	<u>0,24</u>	-
Engorde de codornices (8 ciclos/año/plaza. Animales de 200 g de peso final)	0,03	-	<u>0,00287</u>	-
Engorde de perdices (4 ciclos/año/plaza. Animales de 800 g de peso final)	0,07	-	<u>0,0064</u>	-
Engorde de pavo ( 3 ciclos/año/plaza. Animales de peso final aproximado de 7 kg)	0,48	-	<u>0,1947</u>	-
Ocas	<u>0,24</u>	0,088	0,102	-
Avestruces adultos (animales de más de 12 meses)	<u>1,72</u>	-	0,73	-
Avestruces de engorde	<u>0,94</u>	-	0,4	-

Figura 29. Generación de nitrógeno y deyecciones para cada tipo de plaza de ganado y fase productiva (Generalitat de Catalunya, 2004)

Para el cálculo de los residuos generados se han utilizado los ratios procedentes de *la Figura 29* y el número de animales que existen en la actualidad. Para estimar los residuos generados en el Hospital Veterinario, y teniendo en cuenta que se trata de una entrada y salida intermitente de animales durante el año, se aumenta en un 10% el cálculo de deyecciones de cada especie existente en la granja y se añade la presencia continua de 2 caballos durante todo el año.

DEYECCIONES GANADERAS GENERADAS		
	(tn/año)	(m <sup>3</sup> /año)
Estiércol de vaca	13,20	
Purín de cerdo		5,50

Estiércol de cabras	31,68	
Estiércol de ovejas	29,70	
Gallinaza	1,76	
Estiércol de conejo	4,53	
Heces de roedores	Despreciable	
Estiércol de caballo	22,00	
<b>SUMA</b>	<b>102,87</b>	<b>5,50</b>

Tabla 27. Previsión de deyecciones ganaderas

#### 5.4.4. TABLA RESUMEN

Tras el estudio de las distintas tecnologías disponibles para la valorización energética, y analizadas las cantidades y tipos de residuos generados dentro de las instalaciones de la ULPGC, se decide centrar el estudio en:

- La incineración para los residuos generados en las zonas verdes (residuos vegetales y basuras) y en la recogida de los contenedores (RSU a excepción de los vidrios, papel y cartón recogidos de forma selectiva en los respectivos contenedores verde y azul).

Valores en kg	TOTAL RESIDUOS: CONTENEDORES + ZONAS VERDES		RECOGIDA SEPARADA CONTENEDORES		TOTAL RESIDUOS INCINERACIÓN	
	SUPUESTO 1	SUPUESTO 2	% DEL TOTAL	CANTIDAD	SUPUESTO 1	SUPUESTO 2
Materia Orgánica	292.583,23	270.687,80	-	-	292.583,23	270.687,80
Papel	200.188,53	185.207,44	1,91	30.398,49	169.790,04	154.808,95
Cartón	83.155,23	76.932,32	0,59	9.390,11	73.765,13	67.542,21
Plásticos	269.484,55	249.317,71	-	-	269.484,55	249.317,71
Vidrio	46.197,35	42.740,18	2,63	41.857,60	4.339,75	882,58
Metales	109.333,73	101.151,76	-	-	109.333,73	101.151,76
Maderas	92.394,70	85.480,36	-	-	92.394,70	85.480,36
Palmeras	106.837,50	171.627,50	-	-	106.837,50	171.627,50
Resto especies	67.987,50	109.217,50	-	-	67.987,50	109.217,50
Textiles	123.192,94	113.973,81	-	-	123.192,94	113.973,81
Gomas y cauchos	15.399,12	14.246,73	-	-	15.399,12	14.246,73
Otros	184.789,41	170.960,71	-	-	184.789,41	170.960,71
<b>Total (kg/año)</b>	<b>1.591.543,80</b>	<b>1.591.543,80</b>	-	<b>81.646,20</b>	<b>1.509.897,60</b>	<b>1.509.897,60</b>
<b>Total (tn/año)</b>	<b>1.591,54</b>	<b>1.591,54</b>	-	<b>81,65</b>	<b>1.509,90</b>	<b>1.509,90</b>

Tabla 28. Resumen cantidad anual de residuos de incineración

Para hallar las cantidades de residuos recogidos de manera separada en los contenedores azules y verde, se ha tenido en cuenta los porcentajes calculados a partir de los datos de residuos según tipología recogidos en Canarias en el año 2015 (ISTAC, 2018).

- La digestión anaerobia para los lodos de EDAR y las deyecciones ganaderas.

<b>LODOS DE EDAR</b>		
	Supuesto 1	Supuesto 2
<b>Total (tnMS/año)</b>	<b>25,46</b>	<b>48,23</b>
<b>DEYECCIONES GANADERAS GENERADAS</b>		
	(tn/año)	(m <sup>3</sup> /año)
Estiércol de vaca	13,20	
Purín de cerdo		5,50
Estiércol de cabras	31,68	
Estiércol de ovejas	29,70	
Gallinaza	1,76	
Estiércol de conejo	4,53	
Heces de roedores	Despreciable	
Estiércol de caballo	22,00	
<b>Total</b>	<b>102,87</b>	<b>5,50</b>

Tabla 29. Resumen cantidad anual de residuos digestión anaerobia

## 5.5. INCINERACIÓN

### 5.5.1. CÁLCULO DE LA HUMEDAD

Componente		Contenido en humedad (%)
Orgánicos	Fracción orgánica	70
	Papel y cartón	6
	Plásticos	2
	Gomas, cueros y varios	8
	Textiles	10
	Madera	20
Inorgánicos	Vidrio	2
	Metales	3
	Otros	8

Tabla 30. Contenido típico en humedad de las diferentes fracciones que componen los RSU (Sadhvani Alonso, 2015)

Se toma para la palmera una humedad del 2% al tratarse de hojas secas y considerando las bajas precipitaciones existentes en las islas. Para el resto de especies se toma un 30%.

Se refleja en la *Tabla 31* los resultados de las humedades obtenidas:

Componente	Composición	Peso húmedo (kg)		Peso fracción seca (kg)		Contenido de humedad (kg)	
		Supuesto 1	Supuesto 2	Supuesto 1	Supuesto 2	Supuesto 1	Supuesto 2
Orgánicos	M.O.	292.583,23	270.687,80	87.774,97	81.206,34	204.808,26	189.481,46
	Papel	169.790,04	154.808,95	159.602,64	145.520,42	10.187,40	9.288,54
	Cartón	73.765,13	67.542,21	69.339,22	63.489,68	4.425,91	4.052,53
	Plásticos	269.484,55	249.317,71	264.094,86	244.331,35	5.389,69	4.986,35
	Gomas y cueros	15.399,12	14.246,73	14.167,19	13.106,99	1.231,93	1.139,74
	Textiles	123.192,94	113.973,81	110.873,65	102.576,43	12.319,29	11.397,38
	Madera	92.394,70	85.480,36	73.915,76	68.384,29	18.478,94	17.096,07
	Palmera	106.837,50	171.627,50	104.700,75	168.194,95	2.136,75	3.432,55
	Resto especies	67.987,50	109.217,50	47.591,25	76.452,25	20.396,25	32.765,25
Inorgánicos	Vidrio	4.339,75	882,58	4.252,96	864,92	86,80	17,65
	Metales	109.333,73	101.151,76	106.053,72	98.117,20	3.280,01	3.034,55
	Otros	184.789,41	170.960,71	170.006,26	157.283,86	14.783,15	13.676,86
<b>Total</b>		<b>1.509.897,60</b>	<b>1.509.897,60</b>	<b>1.212.373,22</b>	<b>1.219.528,67</b>	<b>297.524,39</b>	<b>290.368,93</b>

Tabla 31. Contenido de humedad de la muestra

El contenido de humedad en la muestra para el supuesto 1 será de 19,70% y de 19,23% para el supuesto 2.

### 5.5.2. COMPOSICIÓN Y CAPACIDAD ENERGÉTICA DE LOS RSU

Los RSU cada vez se utilizan más como combustible para la producción de energía eléctrica. Desde el punto de vista energético interesa remarcar los tres componentes principales:

- Materia orgánica fermentable.
- Inertes y cenizas.
- Combustibles.

La fracción combustible, integrada por papel, cartón, plásticos, etc. Aporta la energía precisa para tratar térmicamente el resto.

El diagrama de incineración de los RSU, también llamado de Tanner, indica la banda de incineración (de hecho auto-incineración) en función de la composición del residuo.

Para que el RSU sea incinerable el porcentaje de humedad no debe sobrepasar el 50%. Las cenizas y elementos inorgánicos (metales, vidrio, cerámica, etc.) no pueden alcanzar el 60% y la fracción combustible ha de ser, como mínimo, del 25%. Cualquier RSU, como el representado en el diagrama, será incinerable. (Sadhvani Alonso, 2015)

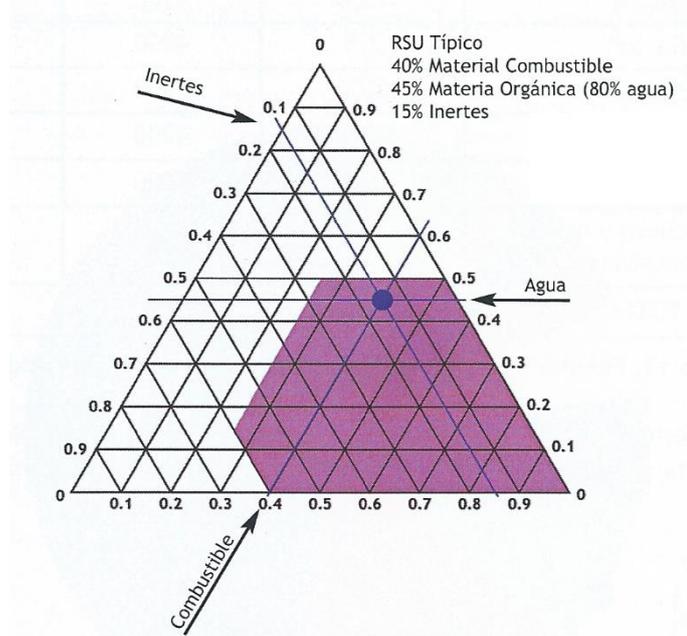


Figura 30. Diagrama de Tanner (Sadhvani Alonso, 2015)

Componente	Composición	Peso húmedo (kg)		% en peso		Composición Tanner
		Supuesto 1	Supuesto 2	Supuesto 1	Supuesto 2	
Orgánicos	M.O.	292.583,23	270.687,80	<b>19,38</b>	<b>17,93</b>	<b>Materia Orgánica</b>
	Papel	169.790,04	154.808,95	<b>60,86</b>	<b>63,99</b>	<b>Fracción Combustible</b>
	Cartón	73.765,13	67.542,21			
	Plásticos	269.484,55	249.317,71			
	Gomas y cueros	15.399,12	14.246,73			
	Textiles	123.192,94	113.973,81			
	Madera	92.394,70	85.480,36			
	Palmera	106.837,50	171.627,50			
	Resto especies	67.987,50	109.217,50			
Inorgánicos	Vidrio	4.339,75	882,58	<b>19,77</b>	<b>18,08</b>	<b>Inertes</b>
	Metales	109.333,73	101.151,76			
	Otros	184.789,41	170.960,71			
Total		1.509.897,60	1.509.897,60	<b>100</b>	<b>100</b>	

Tabla 32. Cálculo de composición de la muestra para diagrama de Tanner

Tomando en consideración los resultados obtenidos en la muestra que nos ocupa, tanto para el supuesto 1 como para el supuesto 2 el residuo es incinerable.

### 5.5.3. DETERMINACIÓN DE ENERGÍA BRUTA DISPONIBLE

#### PODER CALORÍFICO

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible. Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa.

El poder calorífico expresa la energía máxima que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible, menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formadas en la combustión.

La magnitud del poder calorífico puede variar según como se mida. Según la forma de medir se utiliza la expresión poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI).

- **Poder calorífico superior (PCS):** Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase.
- **Poder calorífico inferior (PCI):** Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor. (Red Proteger, 2018)

Es necesario diferenciar en un combustible el PCS y el PCI. Como se ha comentado, la diferencia entre ambos radica básicamente en la energía asociada a la condensación del vapor de agua contenido en los gases de la combustión.

Dado que por condiciones medioambientales no se puede alcanzar una temperatura de los gases de 0 °C, donde se aprovecharía el calor de cambio de estado del agua (597 kcal / kg vapor de agua condensador), el PCI tiene un significado mayor para el cálculo del potencial energético de los residuos. (Moratorio, Rocco, & Castelli, 2012)

Para la muestra de residuos que nos ocupa se han tomado los siguientes PCI:

Componente		PCI (Kcal/kg)	Fuente
Orgánicos	M.O.	1.000	(González)
	Papel	4.500	(Sadhvani Alonso, 2015)
	Cartón	4.000	
	Plásticos	9.000	
	Gomas y cueros	6.000	

	Textiles	5.000	(Red Española de Compostaje, 2015) (IDAE, 2018)
	Madera	4.000	
	Palmera	3.843*	
	Resto especies	3.310	
Inorgánicos	Vidrio	0	-
	Metales	0	-
	Otros	0	-

\* Se obtiene el PCI a partir del valor de PCS = 16.510 J/g = 3.946 Kcal/kg citado en la fuente, teniendo en cuenta que los restos de poda de palmera contienen un 2% de humedad.

Tabla 33. PCI considerados (Fuentes varias, ver tabla)

## RESULTADOS

Como paso previo al cálculo de la energía bruta disponible expresada en kcal/h, se recoge en la *Tabla 34*, la previsión de residuos valorizables de las zonas verdes y contenedores, para el supuesto 1 y el supuesto 2, expresada en kg/día.

Valores en kg	TOTAL RESIDUOS: CONTENEDORES + ZONAS VERDES		RECOGIDA SEPARADA CONTENEDORES		TOTAL RESIDUOS INCINERACIÓN	
	SUPUESTO 1	SUPUESTO 2	% DEL TOTAL	CANTIDAD	SUPUESTO 1	SUPUESTO 2
Materia Orgánica	801,60	741,61	-	-	801,60	741,61
Papel	548,46	507,42	1,91	83,28	465,18	424,13
Cartón	227,82	210,77	0,59	25,73	202,10	185,05
Plásticos	738,31	683,06	-	-	738,31	683,06
Vidrio	126,57	117,10	2,63	114,68	11,89	2,42
Metales	299,54	277,13	-	-	299,54	277,13
Maderas	253,14	234,19	-	-	253,14	234,19
Palmeras	292,71	470,21	-	-	292,71	470,21
Resto especies	186,27	299,23	-	-	186,27	299,23
Textiles	337,51	312,26	-	-	337,51	312,26
Gomas y cauchos	42,19	39,03	-	-	42,19	39,03
Otros	506,27	468,39	-	-	506,27	468,39
<b>Total (kg/año)</b>	<b>4.360,39</b>	<b>4.360,39</b>	-	<b>223,69</b>	<b>4.136,71</b>	<b>4.136,71</b>
<b>Total (tn/año)</b>	<b>4,36</b>	<b>4,36</b>	-	<b>0,22</b>	<b>4,14</b>	<b>4,14</b>

Tabla 34. Resumen cantidad diaria de residuos incineración

Para la muestra de RSU considerada y aplicando los PCI mencionados, se obtiene la siguiente energía bruta disponible:

Componente	Composición	Peso húmedo (kg/día)		PCI (Kcal/kg)	Energía bruta disponible (Kcal/h)		
		Supuesto 1	Supuesto 2		Supuesto 1	Supuesto 2	
Orgánicos	M.O.	801,60	741,61	1.000	33.399,91	30.900,43	
	Papel	465,18	424,13	4.500	87.220,91	79.525,15	
	Cartón	202,10	185,05	4.000	33.682,71	30.841,19	
	Plásticos	738,31	683,06	9.000	276.867,69	256.148,33	
	Gomas y cueros	42,19	39,03	6.000	10.547,34	9.758,03	
	Textiles	337,51	312,26	5.000	70.315,60	65.053,54	
	Madera	253,14	234,19	4.000	42.189,36	39.032,13	
	Palmera	292,71	470,21	3.843	46.869,46	75.292,75	
	Resto especies	186,27	299,23	3.310	25.689,34	41.268,26	
Inorgánicos	Vidrio	11,89	2,42	0	0	0	
	Metales	299,54	277,13	0	0	0	
	Otros	506,27	468,39	0	0	0	
<b>TOTAL</b>		<b>4.136,71</b>	<b>4.136,71</b>	<b>-</b>	<b>626.782,33</b>	<b>627.819,81</b>	
					Total (kcal/día)	15.042.776,04	15.067.675,41
					Total (kcal/año)	5.490.613.254,21	5.499.701.524,21

Tabla 35. Energía bruta disponible (kcal/h)

Siendo el valor mínimo de 626.782,33 kcal/h y el valor máximo de 627.829,81 kcal/h.

### 5.5.4. POTENCIAL ENERGÉTICO

#### MÉTODO 1: A partir de valores de rendimiento de la maquinaria

Se procede a calcular la energía eléctrica neta disponible, tasa de calor y la eficacia global del sistema tomando los valores de rendimiento de la maquinaria.

DATOS	%
Consumo de servicio de la estación	7
Pérdidas de calor	12
Eficacia del generador eléctrico	92
Eficacia de la caldera	44
Eficacia de la turbina de vapor	24

Tabla 36. Valores de rendimiento de la maquinaria, pérdidas de calor y consumo de la propia estación

ENERGÍA DE VAPOR DISPONIBLE EN LA CALDERA (Kcal/h)		ENERGÍA MECÁNICA DISPONIBLE EN LA TURBINA DE VAPOR (Kcal/h)		ENERGÍA ELÉCTRICA BRUTA GENERADA (kW) – Por hora		ENERGÍA ELÉCTRICA BRUTA GENERADA (kW) – Por año	
Supuesto 1	Supuesto 2	Supuesto 1	Supuesto 2	Supuesto 1	Supuesto 2	Supuesto 1	Supuesto 2
275.784,23	276.240,72	66.188,21	66.297,77	70,82	70,94	<b>620.368,74</b>	<b>621.395,60</b>

CONSUMO PROPIO DE LA ESTACIÓN (kW)		PÉRDIDAS DE CALOR (kW)		ENERGÍA ELÉCTRICA NETA DISPONIBLE (kW)– Por hora		ENERGÍA ELÉCTRICA NETA DISPONIBLE (kW) – Por año	
Supuesto 1	Supuesto 2	Supuesto 1	Supuesto 2	Supuesto 1	Supuesto 2	Supuesto 1	Supuesto 2
4,96	4,97	8,50	8,51	57,36	57,46	<b>502.498,68</b>	<b>503.330,43</b>

Tabla 37. Cálculo de la energía bruta generada y la energía neta disponible. Método 1.

OTROS PARÁMETROS	
TASA DE CALOR (Kcal/h)/kW	10.926,62
EFICACIA GLOBAL DEL SISTEMA (%)	7,87

Tabla 38. Cálculo de la tasa de calor y la eficacia del sistema. Método 1.

- Ratios

Pesaje residuos valorizables (kg/año)	Supuesto 1	1.509.897,60
	Supuesto 2	
Energía Eléctrica Bruta generada (kW/año)	Supuesto 1	620.368,7
	Supuesto 2	621.395,6
Energía Eléctrica Neta disponible (kW/año)	Supuesto 1	502.498,7
	Supuesto 2	503.330,4
<b>Ratio referido a la Energía Eléctrica Bruta generada (kW/kg)</b>	<b>Supuesto 1</b>	<b>0,4109</b>
	<b>Supuesto 2</b>	<b>0,4115</b>
<b>Ratio referido a Energía Eléctrica Neta disponible (kW/kg)</b>	<b>Supuesto 1</b>	<b>0,3328</b>
	<b>Supuesto 2</b>	<b>0,3334</b>

Tabla 39. Cálculo de ratios: kW generados /kg de residuo

### MÉTODO 2: A partir de valores extraídos de plantas reales

Se consultan casos reales de plantas incineradoras que funcionan en todo el mundo, extrayendo datos de las mismas que permitan extrapolar los resultados al estudio que nos ocupa. Se consideran para ello los siguientes ratios ordenados de menor a mayor eficiencia:

Planta	Datos	Ratio (kWh/kg)	Fuente
“SIRUSA” (Tarragona)	Una planta que incinera 140.000 tn/año y produce 56.000MWh/año.	0,4	(SIRUSA, 2018)
EEUU	El índice promedio de las planta de incineración instaladas en EEUU es de 0,55 MWh de electricidad por tonelada de RSU incinerada.	0,55	(Comisión Federal de Electricidad e Instituto de Investigaciones Eléctricas, 2012)
*AEB Ámsterdam	Las plantas de incineración más eficientes se encuentran en el norte de Europa, donde nuevas plantas como AEB Ámsterdam recuperan 0,7 MWh de electricidad por tonelada de RSU incinerada.	0,7	

\*Disponen de una planta de 4ª generación de alta eficiencia conocida como Waste Fired Power Plant (WFPP) que produce 850kWh por tonelada de residuo. Ratio=0,85 (AEB Amsterdam, 2018)

Tabla 40. Ratios extraídos de plantas de incineración en funcionamiento: kWh generados /kg de residuo

Se considerarán los ratios de la planta de menor capacidad, la planta de SIRUSA, obteniendo:

Pesaje residuos valorizables (kg/año)	1.509.897,60
<b>SIRUSA (Tarragona)</b>	
<b>Ratio referido a la Energía Eléctrica Bruta generada (kWh/kg)</b>	<b>Ratio referido a Energía Eléctrica Neta disponible (kWh/kg)</b>
0,4	0,318
<b>Energía Eléctrica Bruta generada (kWh/año)</b>	<b>Energía Eléctrica Neta disponible (kWh/año)</b>
603.959,04	480.147,44

Tabla 41. Cálculo de la energía generada. Método 2.

## ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS:

Se continuarán los cálculos aplicando los resultados del método teórico (método 1), utilizando el método 2 únicamente para comprobar que los resultados obtenidos en el primer método arrojan valores similares a la producción de energía en una planta de incineración real.

## 5.6. DIGESTIÓN ANAEROBIA

Una vez estimada la cantidad de lodos de EDAR y deyecciones ganaderas generadas en la comunidad universitaria, se procede a estimar la producción energética de estos residuos mediante digestión anaerobia.

### 5.6.1. LODOS DE DEPURADORA

#### 5.6.1.1. PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS

Para el cálculo de la producción de biogás se han utilizado los ratios extraídos del análisis de los cinco casos reales de EDAR en España, las cuáles disponen de aprovechamiento de energía de sus lodos mediante la tecnología de digestión anaerobia.

<b>EDAR (Emplazamiento)</b>	<b>Biogás (m<sup>3</sup>/día)</b>	<b>Lodos (kgMS/día)</b>	<b>Ratio (m<sup>3</sup>/kgMS)</b>	
NOVELDA (Alicante)	540	750	0,720	Ratio máximo
ALCANTARILLA (Murcia)	1.200	2.000	0,600	
SITGES (Barcelona)	550	1.320	0,417	Ratio mínimo
GAVÁ (Barcelona)	4.500	8.000	0,563	
ABRERA (Barcelona) 50% de aguas industriales	1.800	2.670	0,674	

Tabla 42. Cálculo de los ratios de producción de biogás a partir de la cantidad de lodos de EDAR

Lodos	Supuesto 1	Supuesto 2
(kgMS/día)	69,77	132,13
<b>Biogás</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
(m <sup>3</sup> /día)	<b>29,07</b>	<b>95,14</b>
(m <sup>3</sup> /año)	<b>10.610,29</b>	<b>34.724,59</b>

Tabla 43. Cálculo de la producción de biogás a partir de lodos de EDAR

De la *Tabla 43* se concluye que los usuarios de la ULPGC generarán entre 10.610 y 34.725 m<sup>3</sup> de biogás al año.

### 5.6.1.2. COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS

Como ya se adelantaba en capítulos anteriores, el biogás es una mezcla gaseosa formada, principalmente, por metano y dióxido de carbono (y otros gases como H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, etc.). La composición o riqueza del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. En la *Figura 31* se muestran valores medios de composición del biogás en función del sustrato utilizado. El PCI del biogás es aproximadamente de 5.250 kcal/m<sup>3</sup>, para una riqueza en metano del 60%. (Campos, Bonmatí, Teira, & Floats, 2001)

Componente	Residuos agrícolas	Lodos de depuradora	Residuos industriales	Gas de vertedero
Metano	50-80%	50-80%	50-70%	45-65%
Dióxido de carbono	30-50%	20-50%	30-50%	34-55%
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0-2%	0-5%	0-2%	0-1%
Sulfuro de hidrógeno	100-700 ppm	0-1%	0-8%	0.5-100 ppm
Amoníaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Monóxido de carbono	0-1%	0-1%	0-1%	Trazas
Nitrógeno	0-1%	0-3%	0-1%	0-20%
Oxígeno	0-1%	0-1%	0-1%	0-5%
Compuestos orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	5 ppm*

\*terpenos, esteres,...

Figura 31. Componentes del biogás en función del sustrato utilizado (Campos, Bonmatí, Teira, &amp; Floats, 2001)

El biogás generado por lodos de depuradora contendrá entre el 50-80% de CH<sub>4</sub> y entre el 20-50% de CO<sub>2</sub>.

### 5.6.1.3. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA NETA

Un metro cúbico de biogás equivale a: 0,66 l de gasóleo – 0,25 m<sup>3</sup> de propano – 0,2 m<sup>3</sup> de butano ó 0,85 kg de carbón. A su vez, corresponde a unos 6,5 kW de energía, o sea 5.600 kcal/h.

Convertido en energía eléctrica en un motor proporciona entre 1,8 y 2,5 kWh de electricidad y el resto en forma de calor (gases a 400 °C) (EMISON, 2018)

Para los casos reales estudiados en los que se aportan valores de energía producida se observa cómo se cumplen estos ratios. Por tanto, atendiendo al rango mínimo y máximo, se obtiene una producción de energía neta de:

Biogás (m <sup>3</sup> /día)	Supuesto 1		Supuesto 2	
	29,07		95,14	
Tipo de energía	<b>Electricidad</b>	Calor	<b>Electricidad</b>	Calor
Ratio (kWh/m <sup>3</sup> )	1,8	4,7	2,5	4,0
<b>Energía neta</b>	<b>Mínimo</b>		<b>Máximo</b>	
<b>(kWh/día)</b>	<b>52,32</b>	136,63	<b>237,84</b>	380,54
(kWh/año)	19.098,53	49.868,37	86.811,48	138.898,37
<b>(MWh/año)</b>	<b>19,10</b>	49,87	<b>86,81</b>	138,90

Tabla 44. Cálculo de la energía neta generada a partir lodos de EDAR

De la *Tabla 44* se concluye que los lodos de EDAR universitarios generarán entre 19,10 y 86,81 MWh al año de energía eléctrica.

## 5.6.2. DEYECCIONES GANADERA

### 5.6.2.1. PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS

El cálculo de la producción de biogás se realiza a través de los ratios extraídos de los estudios de diferentes Plantas de Digestión Anaerobia que utilizan deyecciones ganaderas como combustible y que se referencian a continuación.

Tipo de residuo	Residuos generados		Ratio		Fuente	Producción media de biogás
	(tn/año)	(m <sup>3</sup> /año)	(m <sup>3</sup> biogás/tn estiércol)	(m <sup>3</sup> biogás/m <sup>3</sup> purín)		(m <sup>3</sup> biogás/año)
Estiércol de vaca	13,20		28,91		(Jarauta Rovira, 2005)	381,61
Purín de cerdo		5,50		11,4	(Herrero Mallén, Fernández, Bescós Roy, & López de Torres, 2014)	62,70
Estiércol de cabras	31,68		50		(Gobierno de Chile, 2011)	1.584,00
Estiércol de ovejas	29,70		82,28		(Jarauta Rovira, 2005)	2.443,72
Gallinaza	1,76		86,09			151,52
Estiércol de conejo	4,53		60		(Gobierno de Chile, 2011)	271,92
Caballos	22,00		79,44		(Jarauta Rovira, 2005)	1.747,68
<b>SUMA</b>	<b>102,87</b>	<b>5,50</b>				<b>6.643,15</b>

Tabla 45. Cálculo de la producción de biogás a partir de deyecciones ganaderas

De la *Tabla 45* se concluye que los animales de la Facultad de Veterinaria perteneciente a la ULPGC generarán 6.643 m<sup>3</sup> de biogás al año.

### 5.6.2.2. COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS

Al igual que para los lodos de EDAR, la calidad del biogás obtenido es tanto mejor cuanto mayor sea el porcentaje de metano en la mezcla. Esto es debido a que el metano de elevada capacidad calorífica es el que confiere características combustibles que hacen posible su aprovechamiento energético.

En la *Figura 32* se muestra la composición del biogás obtenido a partir de residuos de origen ganadero.

COMPONENTE	RESIDUOS GANADEROS
Metano (CH <sub>4</sub> )	50-80%
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	30-50%
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	0-2%
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0-1%
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	Trazas
Monóxido de carbono (CO)	0-1%
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	0-1%
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	0-1%
Compuestos orgánicos	Trazas

Figura 32. Componentes del biogás a partir de residuos ganaderos (Unións Agrarias-UPA, 2012)

El biogás generado por los residuos ganaderos contendrá entre el 50-80% de CH<sub>4</sub> y entre el 30-50% de CO<sub>2</sub>.

### 5.6.2.3. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA NETA

El mismo método basado en ratios extraídos de diferentes fuentes, ha sido utilizado para estimar la producción media de energía eléctrica. Se observa que para el caso de excretas animales la producción varía entre 2 y 2,8 kWh por m<sup>3</sup> de biogás, ratios extraídos de (Herrero Mallén, Fernández, Bescós Roy, & López de Torres, 2014), (Unións Agrarias-UPA, 2012) y (Jarauta Rovira, 2005). Por consiguiente, atendiendo al rango mínimo y máximo, se obtiene una producción de energía neta de:

Tipo de residuo	Producción media de biogás	Producción de energía neta (kWh/año)			
	(m <sup>3</sup> biogás/año)	<b>Mínima = Supuesto 1</b>		<b>Máxima = Supuesto 2</b>	
		<b>Electricidad (ratio=2)</b>	Calor (ratio=4,5)	<b>Electricidad (ratio=2,8)</b>	Calor (ratio=3,7)
Estiércol de vaca	381,61	763,22	1.717,25	1.068,51	1.411,96
Purín de cerdo	62,70	125,40	282,15	175,56	231,99
Estiércol de cabras	1.584,00	3.168,00	7.128,00	4.435,20	5.860,80
Estiércol de ovejas	2.443,72	4.887,43	10.996,72	6.842,40	9.041,75
Gallinaza	151,52	303,04	681,83	424,25	560,62
Estiércol de conejo	271,92	543,84	1.223,64	761,38	1.006,10
Caballos	1.747,68	3.495,36	7.864,56	4.893,50	6.466,42
<b>SUMA</b>	<b>6.643,15</b>	<b>13.286,29</b>	29.894,16	<b>18.600,81</b>	24.579,64
		<b>13,29</b> <b>MWh/año</b>	29,89 MWh/año	<b>18,60</b> <b>MWh/año</b>	24,58 MWh/año

Tabla 46. Cálculo de la producción de energía bruta a partir de deyecciones ganaderas

### 5.6.3. CO-DIGESTIÓN

#### Producción de biogás

El tipo de residuo junto con los parámetros ambientales y operacionales condicionan la producción de biogás por unidad de biomasa, así como la composición de dicho biogás. El potencial de producción depende de la carga orgánica del substrato y de la biodegradabilidad del mismo. En general, los residuos orgánicos industriales y la FORSU presentan altos potenciales de producción. Los residuos ganaderos y lodos de depuradora muestran, sin embargo, menores potenciales. Esto es debido tanto al relativamente bajo contenido en materia orgánica, como a la baja biodegradabilidad de la misma.

Existen varias opciones para mejorar la producción de biogás de estos residuos, por ejemplo la mezcla con residuos de mayor producción potencial (co-digestión), mediante pretratamientos para mejorar la degradabilidad del substrato, o aumentar la temperatura para aumentar la velocidad de crecimiento de los microorganismos y la eficiencia de la fase hidrolítica. (Campos, Bonmatí, Teira, & Floats, 2001)

En (Agencia Andaluza de la Energía, 2011), se recoge como anexo las fichas de diversas plantas de producción de biogás en Europa.

#### Co-digestión con otros residuos orgánicos

La co-digestión de residuos ganaderos y residuos orgánicos en sistemas de mezcla completa es una metodología exitosa tanto en régimen termofílico como en el mesofílico. La principal ventaja de la co-digestión está en aprovechar la sinergia de las mezclas, y compensar carencias de cada uno de los substratos por separado.

Los residuos urbanos e industriales suelen contener altas concentraciones de materia orgánica fácilmente degradable -lípidos, carbohidratos y proteínas-, por lo que presentan un mayor potencial de producción de biogás que los residuos ganaderos, de 30 a 500 m<sup>3</sup>/tn, mejorando la viabilidad económica de las plantas. Sin embargo, estos residuos pueden presentar problemas para su digestión, como deficiencia en nutrientes necesarios para el desarrollo de los microorganismos anaerobios, baja alcalinidad, o excesivo contenido en sólidos que provoquen problemas mecánicos.

Los residuos ganaderos, y en concreto el purín de cerdo, pueden ser una buena base para la co-digestión, porque generalmente presentan un contenido de agua más alto que la mayoría de residuos industriales, una mayor capacidad tampón y aportan una amplia variedad de nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos anaerobios.

En la *Figura 33* se indican las características relativas para la co-digestión. Flechas de sentidos diferentes indican un posible interés en la mezcla, al compensarse la carencia relativa de uno de los dos residuos. La alcalinidad de lodos de planta depuradora presenta tal variabilidad que es difícil su caracterización relativa. (Campos, Bonmatí, Teira, & Floats, 2001)

*Tabla 6. Caracterización relativa para la codigestión de diferentes residuos orgánicos*

	Residuos ganaderos	Lodos EDAR	FORSU	Residuos industria alimentaria
Micro y macronutrientes	↑	↑	↓	↓
Relación C/N	↓	↑ ↓	↑	↑
Capacidad tampón (alcalinidad)	↑		↓	↓
Materia orgánica biodegradable	↓	↑ ↓	↑	↑

Figura 33. Caracterización relativa para la co-digestión de diferentes residuos orgánicos (Campos, Bonmatí, Teira, & Floats, 2001)

En (Agencia Andaluza de la Energía, 2011), se han analizado pormenorizadamente la susceptibilidad de co-digestión de varias mezclas de sustratos:

- Co-digestión de residuos ganaderos y agroindustriales.
- Co-digestión de residuos ganaderos y residuos de matadero.
- Co-digestión de residuos ganaderos y residuos pesqueros.
- Co-digestión de residuos ganaderos y residuos de la industria láctea.
- Co-digestión de residuos ganaderos y residuos de la fabricación de biodiesel.
- Co-digestión de residuos ganaderos y lodos de tratamiento de aguas residuales.
- Co-digestión de residuos ganaderos y FORSU.
- Co-digestión de residuos ganaderos y restos vegetales.

- Co-digestión de lodos de EDAR y FORSU.

Cabe destacar las siguientes plantas que utilizan la co-digestión de residuos ganaderos y lodos de tratamiento de aguas:

	<b>Nistelrode (Holanda)</b>	<b>Biovakka - Vehmaa (Finlandia)</b>	<b>Spilamberto Módena (Italia)</b>	<b>Kalmar (Suecia)</b>
Constructor/Gestor	Granja ganadera	Biovakka	Huber Technology (Hans Huber A.G.)	Kalmar Biogas AB
Co-sustratos	Ganaderos (81,5%: 72,6% avícola y 27,4% porcino) Otros (18,5%): lodo floculado procedente de industria cárnica y del pescado.	Ganaderos (71,4%: cerdo y vacuno) Lodos industriales (7,1%) Lodos EDAR (21,4%)	Ganadero (80% estiércol porcino y vacuno) Otros (20%): lodos de aguas residuales	Estiércol Aguas residuales
Digestor	Digestor principal de 75 m <sup>3</sup> y digestor secundario de 35 m <sup>3</sup>	Digestor de 6.700 m <sup>3</sup> (acero)	12.000 m <sup>3</sup>	Dato no disponible
Pretratamiento	Dato no disponible	Residuo ganadero: homogeneización a 12 mm e higienización a 70°C durante 1 h	Dato no disponible	Dato no disponible
Capacidad de tratamiento	9,1 m <sup>3</sup> /día	329 t/día	600 m <sup>3</sup> /día	Dato no disponible
Tª de operación	Dato no disponible	Dato no disponible	30-40°C	35°C
Tiempo residencia	Dato no disponible	Dato no disponible	20 días	Dato no disponible
Producción biogás	650 m <sup>3</sup> /día (71,4 m <sup>3</sup> /t)	1.534 m <sup>3</sup> /día (4,7 m <sup>3</sup> /t)	Dato no disponible	2,5 Mm <sup>3</sup>
Contenido en CH <sub>4</sub> del biogás	64%	60 – 65%	Dato no disponible	50-88%
Producción energética	146 kW (340 MWh/año)	4-5 MW	Dato no disponible	

Figura 34. Plantas de co-digestión de residuos ganaderos y lodos de tratamiento de aguas (Agencia Andaluza de la Energía, 2011)

### Zona de estudio

Como se ha visto, la valorización energética de los lodos de EDAR y de las deyecciones ganaderas se puede realizar en plantas de digestión anaerobia de forma independiente o utilizando la co-digestión, es decir, añadiendo cosustratos que hagan mejorar la producción de biogás. Teniendo en cuenta que la cantidad generada en la ULPGC de estos residuos no es muy alta, se considera la opción de la co-digestión como la más factible y una buena medida para mejorar la producción de biogás.

PLANTA DE CO-DIGESTIÓN ANAEROBIA

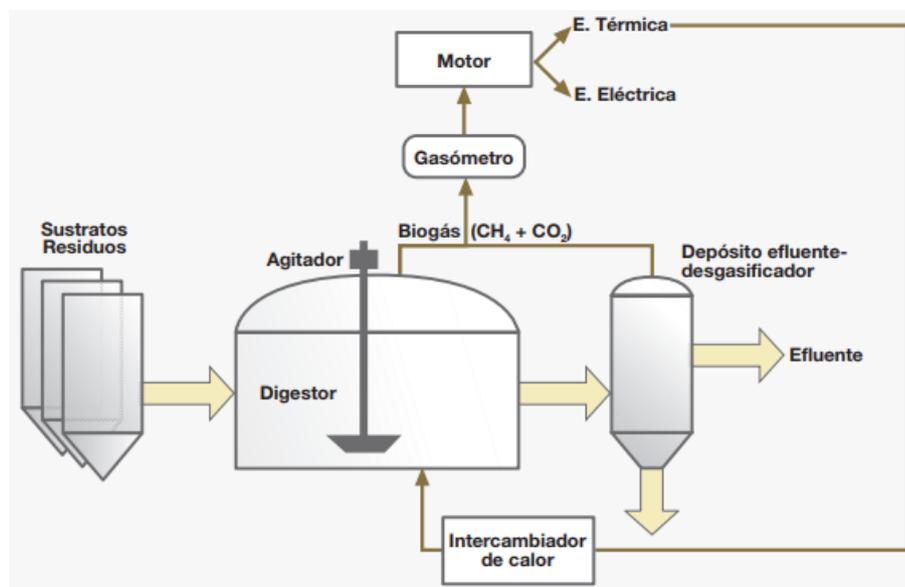


Figura 35. Esquema instalación tipo de una planta de digestión anaerobia (Generalitat de Catalunya, 2004)

FASES DEL PROCESO DE DIGESTIÓN

Para el caso del biogás agroindustrial las alternativas que se presentan en cada una de las fases de este diagrama, se resumen a continuación: (MAPAMA, 2010)

- a) Pretratamiento: en general, con los pretratamientos se pretende acelerar el proceso de hidrólisis de las materias orgánicas para incrementar la producción, la calidad del biogás, y se reduce el tiempo de residencia en el digestor, debido a un aumento de la biodegradabilidad, favoreciendo unas condiciones óptimas para el desarrollo microbiano.
- b) Co-digestión anaerobia: es la fermentación anaerobia de dos o más sustratos que se complementan químicamente, aumentando la estabilidad, la producción de biogás y el equilibrio del proceso.
- c) Depuración y aprovechamiento: dependiendo del uso del biogás, la depuración deberá ser más o menos estricta. El biogás se almacena en gasómetros y puede valorizar en calderas, motores de co-generación (sistema más generalizado), vehículos, su introducción en la red de transporte de gas natural o en pilas de combustible.
- d) Digestatos y su aprovechamiento: el digestato es un material de composición homogénea, en el que los malos olores se han reducido prácticamente en su totalidad y que contiene todos los nutrientes que contenía la materia orgánica inicial. Puede utilizarse como fertilizante orgánico-mineral de los cultivos, ya sea directamente o tras ser sometido a un proceso de separación sólido-líquido y posteriormente la fracción sólida puede comportarse, bien sola o mezclada con otros sustratos.

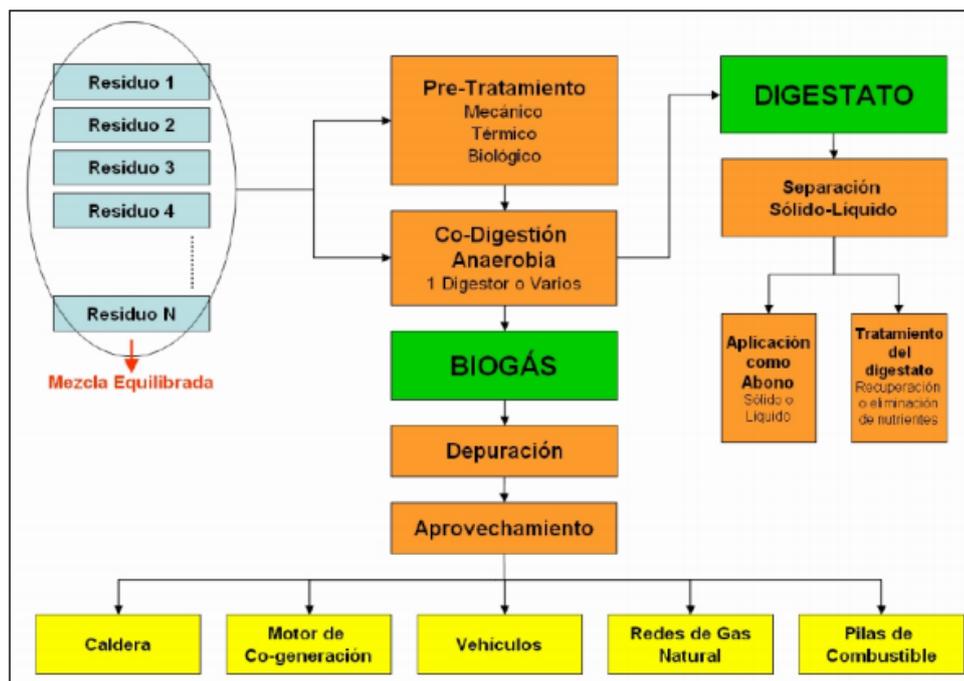


Figura 36. Diagrama de flujo de una planta de biogás agroindustrial (MAPAMA, 2010)

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 6.1. RESULTADOS

La *Tabla 47* recoge un resumen de los resultados de los cálculos realizados. En ella se especifica, tipo y cantidad de residuos generados en un año en el ámbito de estudio y energía neta generada mediante las dos tecnologías de valorización energética seleccionadas.

Residuos	Cantidad		Energía eléctrica neta disponible		Tecnología y aclaraciones
	Supuesto 1	Supuesto 2	Supuesto 1	Supuesto 2	
Zonas verdes + contenedores	1.591.543,80 kg/año		Total de residuos recogidos. No considerada valorización.		Incineración. No incluido vidrios, papel y cartón de contenedores.
	1.509.897,60 kg/año		MÉTODO 1		
			502.498,68 kWh/año	503.330,43 kWh/año	
			MÉTODO 2		
		480.147,44 kWh/año			
	<b>TOTAL INCINERACIÓN</b>		<b>502.498,68 kWh/año</b>	<b>503.330,43 kWh/año</b>	Considerando método 1.
Lodos EDAR	25.464,70 kg/año	48.228,60 kg/año	19.098,53 kWh/año	86.811,48 kWh/año	Digestión anaerobia. También se produce calor.
Deyecciones ganaderas	102.872 kg/año estiércol y 5,50 m <sup>3</sup> /año purines		13.286,29 kWh/año	18.600,81 kWh/año	
	<b>TOTAL DIGESTIÓN ANAEROBIA</b>		<b>32.384,82 kWh/año</b>	<b>105.412,29 kWh/año</b>	
	<b>TOTAL AMBAS TECNOLOGÍAS</b>		<b>534.883,50 kWh/año</b>	<b>608.742,72 kWh/año</b>	Considerando el método 1 para incineración.

Tabla 47. Resumen de la cantidad de residuos y del potencial energético

#### Consideraciones incineración

Tal y como muestran las plantas analizadas, para diseñar la planta de valorización energética en el caso que nos ocupa, es de suma importancia poner especial atención a los residuos y emisiones generadas tras la incineración. Es necesario estudiar la gestión de residuos: posibles usos, tratamientos necesarios, etc., e incorporar tecnologías y medidas que atenúen las emisiones contaminantes, de tal manera que se adapten a la normativa vigente.

#### Consideraciones co-digestión anaerobia

Para diseñar la planta de co-digestión anaerobia en el caso que nos ocupa, es importante estudiar previamente la distancia desde donde se generan los residuos hasta la ubicación de la planta, analizar las posibles mezclas de co-sustratos, prever un programa de gestión de residuos para que se le puede dar un uso al digestato producido, así como los posibles efectos contaminantes con el fin de incorporar tecnologías y medidas que atenúen estos efectos, de tal manera que se adapten a la normativa vigente.

## 6.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ATENDIENDO A

### 6.2.1. ASPECTOS AMBIENTALES

No es objetivo de este documento, el estudio sobre los impactos ambientales de la implantación de ambas plantas de valorización energética. Por consiguiente, este análisis se realiza estudiando de forma generalista los problemas ambientales más comunes y las posibles soluciones de sendas tecnologías.

#### 6.2.1.1. PLANTA DE INCINERACIÓN DE RSU

##### Problemas

Los principales argumentos en contra de la incineración de residuos se centran en su mayoría en los inconvenientes que genera en su impacto ambiental. Se pueden diferenciar entre los tres principales aspectos en los que los residuos se transforman: escorias, cenizas y emisiones.

Existen tres tipos principales de técnicas de limpieza de los gases emitidos por las incineradoras, una vez filtrados (o limpiados mediante precipitadores electrostáticos): seco (se añade un reactivo seco y el producto final es un polvo seco), semi-seco (el producto es añadido en forma de una pasta y se obtiene un polvo seco) y húmedo (el gas, enfriado, es lavado y neutralizado con agua y sosa u otra solución análoga).

El problema de la emisión de partículas, más que por éstas en sí mismas, se debe a que contienen diversas sustancias dañinas para el ambiente, entre ellas metales pesados o compuestos de metales pesados, como mercurio, cinc, cadmio, níquel, cromo y arsénico. El problema de los gases se debe al óxido de nitrógeno, óxido de azufre, monóxido de carbono e hidrocarburos, y a otros como CIH y FH cuando la tecnología de control es insuficiente y a compuestos orgánicos peligrosos (dioxinas y furanos). En general, los gases de combustión contienen: (Saiz de Omeñaca & Saiz de Omeñaca, 1996)

- Partículas sólidas, con metales pesados y distintos compuestos orgánicos, clorados o no: entre un 3 y un 5% de inquemados sólidos y cenizas del combustible, con óxidos, cloruros y sulfatos, generalmente poco reactivos, de mercurio, cinc, plomo, cromo, níquel, cadmio, manganeso y arsénico, así como dioxinas, furanos y otros compuestos.
- Gases ácidos: CIH formado a partir de PVC (policloruro de vinilo) y otros plásticos, SO<sub>x</sub> (principalmente S<sub>0</sub><sub>2</sub>) y FH, formado a partir de plásticos como el teflón, pero en una proporción entre centésimas y milésimas de la cantidad conjunta de CIH y NO<sub>x</sub> procedente de los combustibles, ya que la temperatura no es tan alta como para tener un origen térmico, y otros varios.

- Metales en estado de vapor (mercurio, cadmio, plomo, cinc y diversos microcontaminantes, entre los que deben destacarse hidrocarburos de tipo aromático y derivados, clorados o no; varían según la composición de los residuos, catalizadores presentes (principalmente los citados metales pesados), precursores directos (clorofenoles, clorobencenos, etc.) o indirectos (PVC, hidrocarburos, elastómeros y otros).

### **Soluciones**

Como ya se adelantaba, es de suma importancia poner especial atención a la gestión de residuos y emisiones generadas tras la incineración.

Se propone por tanto, que la planta de incineración de RSU cuente con:

- Limpieza de gases de combustión (HCl, HF, SO<sub>2</sub>, mercurio, dioxinas furanos, etc.)
- Reducción de NO<sub>x</sub>.
- Máximo uso de los materiales residuales provenientes de la ceniza de fondo, ceniza de caldera, escorias, etc.
  - Reprocesamiento de escoria para convertirla en material reutilizable en otros sectores.
  - Gestión de cenizas.

A través de algunos de los procedimientos utilizados en las plantas de incineración descritas en los *Apartados 3.3.3.1 y 3.3.3.2* del presente estudio.

### **6.2.1.2. PLANTA DE DIGESTIÓN ANAEROBIA**

#### **Características**

Los residuos orgánicos presentan actividad microbiológica de forma natural debido a su composición. Esto implica que se producen procesos naturales de descomposición y que el no control en su gestión incide en emisiones de gases a la atmósfera, entre ellos gases de efecto invernadero (como el mismo metano).

El proceso de digestión anaerobia se ha comprobado eficiente en el control de malos olores (Ver *Figura 37*). Para el tratamiento de la FORM, la aplicación de la digestión anaerobia también se ha comprobado eficiente para la reducción efectiva de emisiones gaseosas (Ver *Figura 38*).

	TON (Threshold Odor Number)	Reducción olor
Purines no digeridos	247	
Efluente digestión anaerobia	7	- 97 %
Purines no digeridos, 3 días en balsa	437	+ 77 %

Panel de 15 personas; TON: veces que hay que diluir para no detectar olor por parte del panel

Figura 37. Reducción de malos olores de purines de cerdo mediante digestión anaerobia (Campos, Elías, & Floats, 2005)

Compuesto	Compostaje aerobio	Maduración después de digestión anaerobia	Relación aerobio/anaero.
Alcoholes	283,6	0,033	8.593,9
Cetonas	150,4	0,466	322,7
Terpenos	82,4	2,2	37,5
Esteres	52,7	0,003	17.566,7
Orgánicos sulfurados	9,3	0,202	46,0
Aldehidos	7,5	0,086	87,2
Éteres	2,6	0,027	96,3
Total compuestos orgánicos volátiles	588,5	3,017	195,1
NH <sub>3</sub>	158,9	97,6	1,6
<b>Total</b>	<b>747,4</b>	<b>100,617</b>	<b>7,4</b>

Figura 38. Emisiones de compuestos volátiles durante compostaje aerobio y durante la maduración después de digestión anaerobia, expresado en gramos por tonelada de residuo (Campos, Elías, & Floats, 2005)

La producción de energía renovable mediante digestión anaerobia, que puede sustituir combustibles fósiles y por tanto reducir la emisión de gases de efecto invernadero debidos a estos, con la reducción simultanea de gases de efecto invernadero debidos al propio residuo, tiene un doble efecto positivo que aporta ventajas ambientales y económicas de importancia estratégica. Al ser, además, un proceso conservativo para los nutrientes de interés en fertilización, aporta la ventaja adicional de permitir el reciclado de éstos y por tanto reducir el consumo energético fósil asociado a su producción.

La eliminación de patógenos en el proceso de digestión anaerobia es función de la temperatura de digestión. La digestión termofílica, con tiempos de retención superiores a 10 días, es completamente efectiva para una higienización completa. Para el proceso mesofílico es necesario complementar con un pretratamiento o post-tratamiento térmico (1 hora a 70°C), o con un compostaje aerobio posterior.

### **Objetivos genéricos**

Dado un residuo orgánico, los objetivos genéricos que puede cubrir la digestión anaerobia son:

- Transformación de materia orgánica en energía (CH<sub>4</sub>), con un balance neto positivo.
- Reducción de volumen.

- Conservación de la concentración de nutrientes de interés en agricultura, con un grado de mineralización tal que pueda permitir la operación correcta de procesos posteriores de recuperación de éstos (stripping, concentración, precipitación de sales de fósforo y amonio). Esto último es especialmente interesante para residuos orgánicos con alto contenido en nutrientes, como los purines de cerdo.
- Control o reducción de malos olores, y en general reducción de emisiones gaseosas.
- Higienización

Si el objetivo es obtener un producto orgánico estable, higienizado, estructurado y de calidad (compost), debe complementarse el proceso mediante el compostaje aerobio y/o posterior maduración, siempre teniendo en cuenta las características del residuo inicial. Así, de un residuo con alto contenido en metales pesados, ni la digestión anaerobia ni el compostaje pueden obtener un producto de calidad para agricultura. (Campos, Elías, & Floats, 2005)

Como se ha señalado, en el aspecto ambiental, el proceso de digestión anaerobia tiene numerosas ventajas frente a otras tecnologías. Sin embargo, se considera importante disponer en la instalación un depósito de almacenamiento del digerido, así como gestionar su posible reutilización en otros campos para que éste no acabe en vertedero. Para ser utilizado como fertilizante orgánico en la agricultura, es necesario determinar si el digestato o digerido posee las características admisibles que marca la normativa de aplicación.

### **6.2.2. ASPECTOS ENERGÉTICOS**

Se procede a analizar el aporte energético que supondría el tratamiento de estos residuos a la factura eléctrica de las instalaciones universitarias.

Debido a los recientes cambios en los contadores, la Oficina de Sostenibilidad de la ULPGC solo cuenta con los consumos digitalizados de algunos edificios universitarios entre los meses de enero y mayo de 2018. Desde la misma Oficina nos trasladan una estimación anual orientativa del consumo global de las instalaciones de la universidad realizada el pasado año 2017. Nos advierten de que:

- El cálculo es aproximado ya que se ha realizado a partir de las facturas facilitadas y probablemente hayan faltado algunas de ellas por contabilizar.
- Hubo la necesidad de extrapolar los consumos en algunos casos por falta de información.

Por tanto, el resultado real de consumo debe ser ligeramente mayor al obtenido. A modo orientativo, el consumo global de las instalaciones de la ULPGC en un año es de:

GRUPO DE EDIFICIOS	CONSUMO (kWh/año)	CONSUMO ÁMBITO DE ESTUDIO (kWh/año)
Campus de Tafira	7.401.096	7.401.096
Veterinaria	150.000*	150.000*
Humanidades	588.336	588.336
Taliarte	144.000	144.000
Ciencias de la Salud	776.880	776.880
Fuerteventura	150.000*	-
Lanzarote	150.000*	-
Rectorado	180.000	180.000
Avda.Canarias	540.000	540.000
C/León y Castillo, 16	114.000	114.000
<b>TOTAL</b>	<b>10.194.312</b>	<b>9.894.312**</b>

\* Valores estimados. \*\* El ámbito de estudio no incluye las islas de Fuerteventura y Lanzarote.

Tabla 48. Consumo orientativo global de las instalaciones de la ULPGC

El aporte del potencial energético calculado al consumo eléctrico de las instalaciones de la ULPGC sería de:

Tecnología y tipo de residuo		Cantidad		Energía eléctrica neta		Aporte a la factura eléctrica	
		Supuesto 1	Supuesto 2	Supuesto 1	Supuesto 2	Supuesto 1	Supuesto 2
Incineración	Zonas verdes + contenedores	1.509.897,60 kg/año		502.498,68 kWh/año	503.330,43 kWh/año	5,08 %	5,09 %
		<b>TOTAL INCINERACIÓN</b>		502.498,68 kWh/año	503.330,43 kWh/año	5,08 %	5,09 %
Digestión anaerobia	Lodos EDAR	25.464,70 kg/año	48.228,60 kg/año	19.098,53 kWh/año	86.811,48 kWh/año	0,19 %	0,88 %
	Deyecciones ganaderas	102.872 kg/año estiércol		13.286,29 kWh/año	18.600,81 kWh/año	0,13 %	0,19 %
		5,50 m3/año purines					
<b>TOTAL DIGESTIÓN ANAEROBIA</b>				32.384,82 kWh/año	105.412,29 kWh/año	0,33 %	1,07 %
<b>TOTAL AMBAS TECNOLOGÍAS</b>				<b>534.883,50 kWh/año</b>	<b>608.742,72 kWh/año</b>	<b>5,41 %</b>	<b>6,15 %</b>

Tabla 49. Aporte de la energía generada a la factura eléctrica del ámbito de actuación

### 6.2.3. ASPECTOS ECONÓMICOS

No es objetivo del presente documento, el estudio económico de la implantación de ambas plantas de valorización energética. Por consiguiente, este análisis se realiza enumerando de forma generalista los costes e ingresos generados para la implantación de una planta incineradora de RSU, al tratarse de la tecnología más cara y que más aporte energético genera a la factura eléctrica de las instalaciones universitarias.

#### Costes e ingresos de una planta incineradora de RSU

Los costes de incineración se deben analizar en base a la distinción entre gastos financieros, gastos de explotación corrientes e ingresos.

En los gastos financieros se incluyen aquellos derivados del pago de la inversión en los años previstos y los costes financieros. En ocasiones los costes financieros se omiten, dado que se sufragan por fondos de cohesión, ayudas al desarrollo, etc.

Se entiende por gastos de explotación corrientes, aquellas partidas como mano de obra, mantenimientos de las instalaciones y maquinaria, fungibles y aditivos (básicamente para corrección de emisiones gaseosas), combustible (energía necesaria para la puesta en marcha y mantenimiento de la temperatura en la cámara de combustión), vertido de escorias y tratamiento y vertido de cenizas volantes.

Los ingresos corresponden al canon que la planta de incineración cobra por la aceptación de los residuos y a los ingresos por la venta de la energía generada y los subproductos. En la *Tabla 50* se indica la clasificación de los costes y los conceptos incluidos en cada categoría.

Tipo de costes o ingresos	Conceptos incluidos
Costes de inversión	Estudio y redacción del proyecto (3-5%). Adquisición del terreno (0,5-1%). Obra civil (12-18%). Equipos de depuración de gases (15-25%). Equipos para el tratamiento de aguas (2-5%). Equipos de recuperación de energía (14-24%). Equipos auxiliares y maquinaria móvil (1-2,5%). Dirección de obra y control de calidad (5-12%). Horno, caldera, escorias (30-45%).
Costes de explotación	Gastos fijos (32-34%): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal (27-28%).</li> <li>• Consumo de agua, luz y teléfono.</li> <li>• Mantenimiento y conservación de instalaciones.</li> <li>• Administrativo (5-10%).</li> <li>• Tasas e impuestos.</li> <li>• Material fungible.</li> </ul> Gastos variables (46,8-51,8%): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal eventual.</li> <li>• Energía consumida: electricidad, gasóleo, fuelóleo.</li> <li>• Materiales y productos consumidos agua, piezas, neumáticos, etc.</li> <li>• Reparaciones.</li> </ul> Tratamiento y transporte de escoria y cenizas (18-22%).
Ingresos	Canon de admisión de residuos. De la venta de energía obtenida en el proceso en forma de vapor, electricidad y/o agua caliente. Venta de productos férricos recuperados de las escorias. Venta de escoria (para su uso en carreteras, etc.). Del Sistema Integrado de Gestión (SIG) por la “valorización energética” en envases.

Tabla 50. Tipos de costes e ingresos en una planta incineradora de RSU (Sadhvani Alonso, 2015)

### Ahorro en la factura eléctrica

Al no disponer de información alguna sobre la tarifa eléctrica que poseen las instalaciones de la ULPGC, se ha supuesto como hipótesis que el precio de la energía es de 0,16 €/kWh; sabiendo que

éste puede ser distinto en función de la tarifa contratada. En función del aporte de energía de ambas tecnologías, se estima un ahorro en la factura eléctrica de:

Consumo del ámbito de estudio (kWh/año)		9.894.312
Precio de la energía eléctrica (€/kWh)		0,16
<b>% aporte al ámbito de estudio</b>	<b>Energía eléctrica (kWh/año)</b>	<b>Ahorro anual (€/año)</b>
5,41	534.883	85.581
6,15	608.743	97.399
10	989.431	158.309
20	1.978.862	316.618
30	2.968.294	474.927
40	3.957.725	633.236
50	4.947.156	791.545
60	5.936.587	949.854
70	6.926.018	1.108.163
80	7.915.450	1.266.472
90	8.904.881	1.424.781
100	9.894.312	1.583.090

Tabla 51. Cálculo del ahorro en la factura eléctrica del ámbito de estudio

Teniendo en cuenta que los residuos procedentes de la ULPGC cubren entre el 5,41 – 6,15% del consumo anual de las instalaciones, el ahorro en la factura por la incineración de estos residuos estaría entre los 85.581 – 97.399 €/año.

#### Ubicación de las plantas

Otro aspecto importante a considerar desde el punto de vista económico, es la ubicación de las plantas. Debe estudiarse el emplazamiento idóneo de las mismas con el fin de reducir al mínimo los gastos y las emisiones en el transporte de los residuos desde el punto de generación hasta la planta de valorización destino.

En cuanto al emplazamiento de la planta incineradora y teniendo en cuenta que la mayor parte de las instalaciones universitarias generadoras de residuos se encuentran situadas en el municipio capitalino, y más concretamente en el Campus Universitario de Tafira, la planta debería ubicarse en las inmediaciones del mismo.

En el caso de la planta de co-digestión anaerobia, ésta se nutriría de los lodos de las distintas EDAR que depuran las aguas residuales de los edificios universitarios y de las deyecciones ganaderas producidas en la Facultad de Veterinaria. Por tanto, el emplazamiento de la misma debería situarse cerca de la principal EDAR generadora de lodos, también dentro del municipio capitalino, o próxima a la Facultad de Veterinaria ubicada en el municipio de Arucas.

## 6.2.4. ASPECTOS TECNOLÓGICOS

### La incineración

Entre los procesos termoquímicos descritos y conocidos en la actualidad para la valorización energética, se ha escogido la incineración al tratarse de la tecnología más madura, sofisticada y desarrollada. Un camino de mejora y perfeccionamiento que aún tienen que recorrer otras tecnologías más recientes como la gasificación y la pirólisis.

Tras décadas empleando la gasificación, la pirólisis y el arco de plasma en el tratamiento de RSU se han contemplado complicaciones que subyacen a estas tecnologías. De las instalaciones a escala comercial que se han establecido en Europa, Reino Unido, Canadá y EE.UU., muchas han tenido que ir subsanando problemas para mantener un funcionamiento regular y producir la energía suficiente para permanecer en el negocio. Las operaciones han sido afectadas por razones técnicas que incluyen: (GAIA, 2017)

- La incapacidad de cumplir con los límites de control de contaminación.
- El daño corrosivo al equipamiento.
- Los problemas para mantener temperaturas de reacción adecuadas.
- La ineficiencia energética.

Estas tecnologías se encuentran aún en estado de maduración, aunque es evidente que a medida que pasa el tiempo, se obtienen mejores resultados.

La eficacia de los sistemas de incineración desde el punto de vista estrictamente energético pivota sobre tres factores:

- Los sistemas de alimentación de los RSU y su clasificación.
- Los sistemas de parrillas y revestimientos de los hornos.
- Las calderas

En lo relativo a los hornos, los de tipo parrilla se suelen utilizar para RSU con nula o escasa selección previa; sin embargo existen otras variantes como los rotativos que son más eficientes en el control de la combustión, pero tienen limitaciones de tamaño; y los hornos de lecho fluidificado que precisan combustibles procesados previamente con una granulometría homogénea.

Con los vertederos próximos a su colmatación en buena parte de España, la incineración regresa a la primera línea como alternativa para el tratamiento de residuos urbanos. Una de las problemáticas presentes a la hora de instalar una planta de incineración de residuos es definir el emplazamiento de la misma, ya que esta tecnología siempre ha estado asociada a problemas

medioambientales, situación que genera rechazo entre las comunidades ecologistas y alarma general en la sociedad.

### Tecnologías equivalentes

Para traducir los resultados en cuanto a energía eléctrica generada en el ámbito de estudio a través de las tecnologías utilizadas (incineración y digestión anaerobia), se procede a hacer una equiparación de los mismos con la aplicación de otras tecnologías comunes de generación de energía.

En el caso de centrales eléctricas a partir de **combustibles fósiles** se necesitaría de:

Combustibles fósiles	PCI* (kWh/kg)	Densidad (kg/l)	Cantidad necesaria para producir:	
			Supuesto 1 534.883,50 kWh	Supuesto 2 608.742,72 kWh
Carbón	9,08	-	58.907,87 kg	67.042,15 kg
Gasóleo	11,80	0,845	53.643,92 l	61.051,32 l
Gas natural	13,05	0,451	90.880,80 l	103.430,05 l
Propano	12,83	0,508	82.067,05 l	93.399,26 l
Butano	12,44	0,560	76.780,47 l	87.382,68 l

\*Datos extraídos del (IDAE, 2018) e (IDAE, 2010)

Tabla 52. Cantidad necesaria de combustibles fósiles

En el caso de producción de energía eléctrica a partir de energías renovables como la **eólica** o la **solar fotovoltaica**, se parte de los ratios extraídos del histórico de datos sobre potencia instalada y generación obtenida en las Islas Canarias:

Año	EÓLICA			SOLAR FOTOVOLTAICA		
	Potencia instalada (MW)	Producción (GWh)	Ratio de producción (kWh/kW)	Potencia instalada (MW)	Producción (GWh)	Ratio de producción (kWh/kW)
2013	153	363	2.372,55	164	287	1.750,00
2014	153	390	2.549,02	165	282	1.709,09
2015	152	397	2.611,84	167	276	1.652,69
2016	152	393	2.585,53	167	278	1.664,67
2017	207	396	1.913,04	167	274	1.640,72

Tabla 53. Potencia instalada y generación de energía eólica y solar fotovoltaica en Canarias. Años 2013-2017 (Red Eléctrica de España, 2018)

Por tanto, para cubrir la producción de energía calculada en el ámbito de estudio se necesitaría una potencia instalada de:

Energía renovable	Ratio medio de producción (kWh/kW)	Potencia instalada necesaria para producir:	
		Supuesto 1 534.883,50 kWh	Supuesto 2 608.742,72 kWh
Eólica	2.406,40	222,28 kW	252,97 kW
Solar fotovoltaica	1.683,43	317,73 kW	361,61 kW

Tabla 54. Potencia instalada necesaria de energía eólica y solar fotovoltaica

### 6.2.5. ASPECTOS INNOVADORES

Tal y como informa la empresa encargada del mantenimiento de las zonas verdes de la ULPGC, los residuos de poda acaban en vertedero no dándosele ningún tipo de valorización energética y ocupando espacio en el vertido. La combustión de los mismos con el fin de producir energía y disminuir el vertido, es un aspecto innovador a destacar del presente estudio.

Al tratarse la incineración de una tecnología madura que ha sido muy desarrollada, nada tienen que ver con las plantas existentes décadas atrás. Tal y como se mostraba en los ejemplos reales de plantas incineradoras, existen diversos métodos y sistemas que reducen al mínimo las emisiones, aumentan la eficiencia y revalorizan casi la totalidad de los subproductos generados en el proceso de combustión de RSU.

Como propuestas de mejora se propone:

- Sustituir los residuos reciclables considerados en el ámbito de estudio por biomasa proveniente del resto de la isla.

En la actualidad, en el ámbito de estudio existen contenedores de reciclado para la recogida separada de los RSU. La recogida selectiva de residuos facilita el reciclaje de los mismos, lo cual permite ahorrar recursos hídricos y energéticos así como materias primas. También reduce la emisión de gases de efectos invernadero y aumenta la vida útil de los vertederos. Por tanto, sería interesante sustituir la quema de algunos residuos reciclables como los contenidos en el contenedor amarillo considerados en este estudio, por biomasa proveniente del resto del municipio capitalino o de la isla.

- Aumentar la capacidad de las plantas.

Esta sería una medida aplicable en ambas tecnologías (incineración y digestión anaerobia). Aumentando la capacidad de las plantas, se podría incrementar el número de residuos a tratar y consecuentemente se obtendría mayor energía. Aplicando además un canon de recogida de estos residuos, se podría generar una fuente de ingresos alternativa.

- Rediseñar las zonas verdes existentes en el ámbito de estudio.

Se podría estudiar la posibilidad de dedicar áreas para el cultivo energético o cultivar especies cuyos restos de poda tengan un poder calorífico superior. Con esta medida también se aumentaría la producción energética.

### 6.3. CONCLUSIONES

Las instalaciones universitarias en la isla de Gran Canaria generan una importante cantidad de residuos. A través de la recogida de contenedores y de la limpieza de zonas verdes se calcula una producción total de 1.592 tn/año. Analizadas las distintas tecnologías de valorización energética, se

propone que estos residuos sean valorizados en una planta incineradora de RSU que cumpla las exigencias ambientales y de eficiencia que fija la normativa actual.

Se computa en todas las instalaciones universitarias de la isla una producción de lodos de EDAR de entre 25 y 48 tn/año. Asimismo, en la Facultad de Veterinaria se recogen 103 tn/año de estiércol y 5,5 m<sup>3</sup> de purines. Tras el estudio de las distintas tecnologías existentes, se opta por la valorización energética a través de una planta de co-digestión anaerobia.

Tras el cálculo de la energía eléctrica neta producida a través de ambas tecnologías, se concluye que se podría generar entre 535 y 609 MWh al año, lo que supondría entre un 5,41 y un 6,15% del total consumido por las instalaciones de la ULPGC en la isla de GC. Reflejándose un ahorro en la factura eléctrica que rondaría entre los 86.000 y 97.000 €/año.

El potencial energético calculado con las tecnologías estudiadas se equipara a la producción de energía eléctrica mediante la quema en una central térmica de entre 59 y 67 tn de carbón, a la generación de un parque eólico de entre 222 y 253 kW de potencia instalada o a la producción de un parque solar fotovoltaico de entre 318 y 362 kW de potencia nominal.

Desde el punto de vista ambiental, sendas tecnologías presentan un alto ratio de aplicación a nivel mundial y un avanzado estado de estudio, maduración y desarrollo, existiendo diversos métodos diseñados con el fin de minorar los impactos ambientales y de aprovechar los sub-productos generados en el conjunto de los procesos.

#### **6.4. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN**

Al finalizar el estudio, se han identificado aspectos relacionados con el mismo que serían susceptibles de ser abordados en investigaciones posteriores, ya que su profundización complementarían o ampliarían aspectos que surgen de forma tangencial o consecutiva al desarrollo de este estudio:

- Estudiar la posibilidad de eliminar los elementos reciclables de la incineración y sustituirlos por biomasa procedente del resto de la isla de Gran Canaria.
- Estudiar la posibilidad de utilizar en la planta de co-digestión anaerobia diferentes mezclas de residuos generados fuera del ámbito de estudio (lodos EDAR, residuos ganaderos, agroalimentarios, etc.)
- Investigar tratamientos y posibles usos de la totalidad de los subproductos residuales de la incineración y la digestión anaerobia, con el fin de que puedan ser reutilizados en condiciones seguras.
- Aumentar la capacidad de tratamiento de ambas plantas.
- Rediseñar las zonas verdes existentes en el ámbito de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- AEB Amsterdam. (2018). Obtenido de <http://www.aebamsterdam.com/>
- Agencia Andaluza de la Energía. (2011). Estudio Básico del biogás.
- AIN Energía. (2018). Obtenido de <http://ainenergia.com/>
- Assamoi, B., & Lawryshyn, Y. (2012). The environmental comparison of landfilling vs. incineration of MSW accounting. *Waste Management*, 32: 1019-1030.
- Cabildo de Gran Canaria. (2018). Obtenido de <http://www.grancanaria.com/>
- Campos, E., Bonmatí, A., Teira, M., & Floats, X. (2001). Aprovechamiento energético de lodos residuales y purines. Producción de biogás. *Jornades tècniques sobre energia*.
- Campos, E., Elías, X., & Floats, X. (2005). Procesos biológicos: La digestión anaerobia y el compostaje. *Castells XE, Díaz de Santo (Eds.) Tratamiento y Valorización Energética de Residuos*, 617-658.
- Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *ICE*, 83: 117-140.
- Cerdá, E., Caparrós, A., & Ovando, P. (2008). Bioenergía en la Unión Europea. *Ekonomiaz*, 67:156-181.
- CIGEA y Agencia de Medio Ambiente. (1998). Metodología para la evaluación aproximada de la carga contaminante. Cuba.
- Comisión Federal de Electricidad e Instituto de Investigaciones Eléctricas. (2012). Guía de usuario: Generación de electricidad mediante RSU. México.
- Compostando Ciencia*. (2018). Obtenido de <http://www.compostandociencia.com/>
- Condorchem Envitech*. (2018). Obtenido de <https://blog.condorchem.com/>
- Confederation of European Waste-to-Energy Plants. (2018). Obtenido de <http://www.cewep.eu/>
- Consejo Insular de Aguas de GC. (1998). Plan Hidrológico de GC. Ordenanzas.
- Elías Castells, X. (2013). *Métodos de valorización y tratamiento de residuos municipales*. Díaz de Santos.
- EMISON*. (2018). Obtenido de <http://www.emison.com/>
- EurObserv'ER. (2018). Obtenido de <https://www.eurobserv-er.org/>
- Eurostat. (2018). Obtenido de <http://ec.europa.eu/eurostat>
- Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P., & Moberg, A. (2005). Life cycle assessment of energy from solid waste—part 1: general. *Journal of Cleaner Production*, 13: 213-229.
- GAIA. (2017). *Análisis del riesgo de las tecnologías de gasificación y pirólisis de residuos*.

- Generalitat de Catalunya. (2004). Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas.
- Gobierno de Canarias. (2001). Estudio de composición y caracterización de las basuras urbanas en la Comunidad Autónoma de Canarias.
- Gobierno de Canarias. (2010). Estudio de composición y caracterización de los RSU de la Comunidad Autónoma de Canarias.
- Gobierno de Canarias. (2013). Desarrollo del plan estratégico del sector de la valorización energética de residuos. Estudio técnico PER 2011-2020.
- Gobierno de Chile. (2011). *Manual de biogás*. Santiago de Chile.
- González, J. (s.f.). Residuos Sólidos Urbanos (R.S.U.). *EOI Escuela de negocios*. Obtenido de <http://api.eoi.es>
- Herrero Mallén, E., Fernández, M. T., Bescós Roy, B., & López de Torres, M. (2014). Valorización energética del estiércol: dos casos prácticos de plantas de digestión anaerobia con gestión centralizada. *IV Jornadas de la Red Española de Compostaje, At Murcia*. Zaragoza.
- IDAE. (2007). Energía de la biomasa.
- IDAE. (2010). Guía Técnica. Diseño de centrales de calor eficientes.
- IDAE. (2018). Obtenido de <http://www.idae.es/>
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2010). Valorización energética de RSU. Estudio de prefactibilidad. Situación Nacional e Internacional. Propuesta para el desarrollo local. *Argentina*.
- Instituto Tecnológico de Canarias. (2015). Análisis de casos de éxito a nivel nacional de la valorización de lodos de depuración por digestión anaerobia y aprovechamiento de biogás. Recomendaciones en la gestión y valorización de lodos de depuradora para Canarias y Cabo Verde.
- ISTAC. (2018). Obtenido de <http://www.gobiernodecanarias.org/istac/>
- ISTAC. (2018). Obtenido de <http://www.gobiernodecanarias.org/istac/>
- Jarauta Rovira, L. (2005). PFC: Digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos: estudio de las necesidades para la implantación en Perú.
- Lanzarote Recicla. (2018). Obtenido de <http://lanzaroterecicla.net/zonzamas/planta-de-biometanizacion/>
- MAPAMA. (2010). El sector del biogás agroindustrial en España.
- MAPAMA. (2015). Memoria anual de generación y gestión de residuos.
- Moratorio, D., Rocco, I., & Castelli, M. (2012). Conversión de Residuos Sólidos Urbanos en Energía. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, 10: 115-126.
- Red Eléctrica de España. (2018). Obtenido de <http://www.ree.es/es/>

Red Española de Compostaje. (2015). *De residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad*. Ediciones Mundi-Prensa.

Red Proteger. (2018). Obtenido de <http://www.redproteger.com.ar/>

Royo, J., Canalís, P., & Sebastián, F. (2007). Co-codigestión. *Eoi Escuela de Negocios*.

Rubio Martín, A. (2013). Estudio Técnico de una Central Eléctrica de Incineración de RSU.

Sadhvani Alonso, J. J. (2015). *Gestión y tratamiento de residuos I*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Saiz de Omeñaca, J. A., & Saiz de Omeñaca, J. (1996). Impacto ambiental de las incineradoras. *Informes de la Construcción*, 47;441-442.

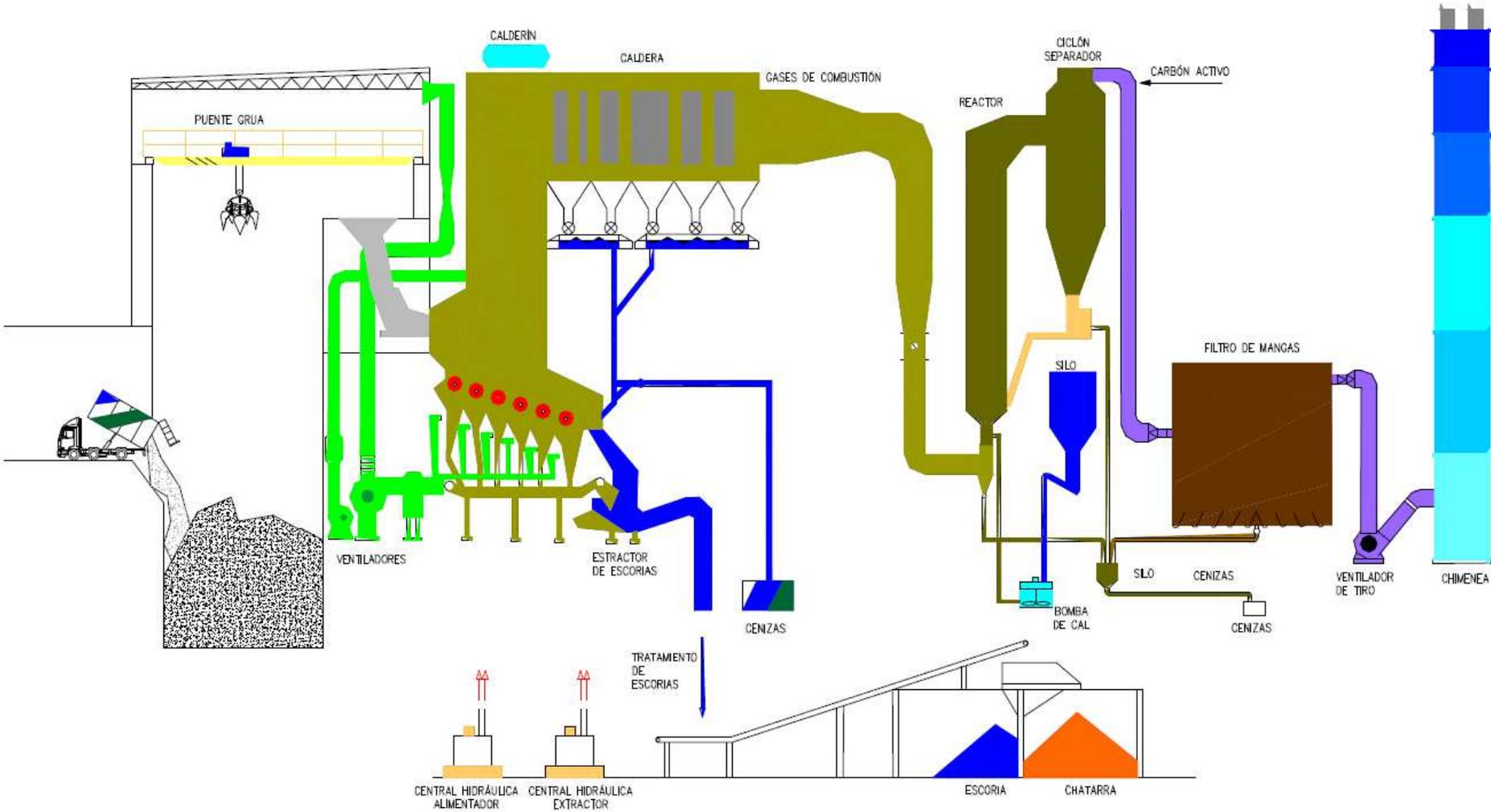
SIRUSA. (2018). Obtenido de <http://www.sirusa.es/>

ULPGC. (2018). Obtenido de [https://www.ulpgc.es/presentacion/datos\\_globales](https://www.ulpgc.es/presentacion/datos_globales)

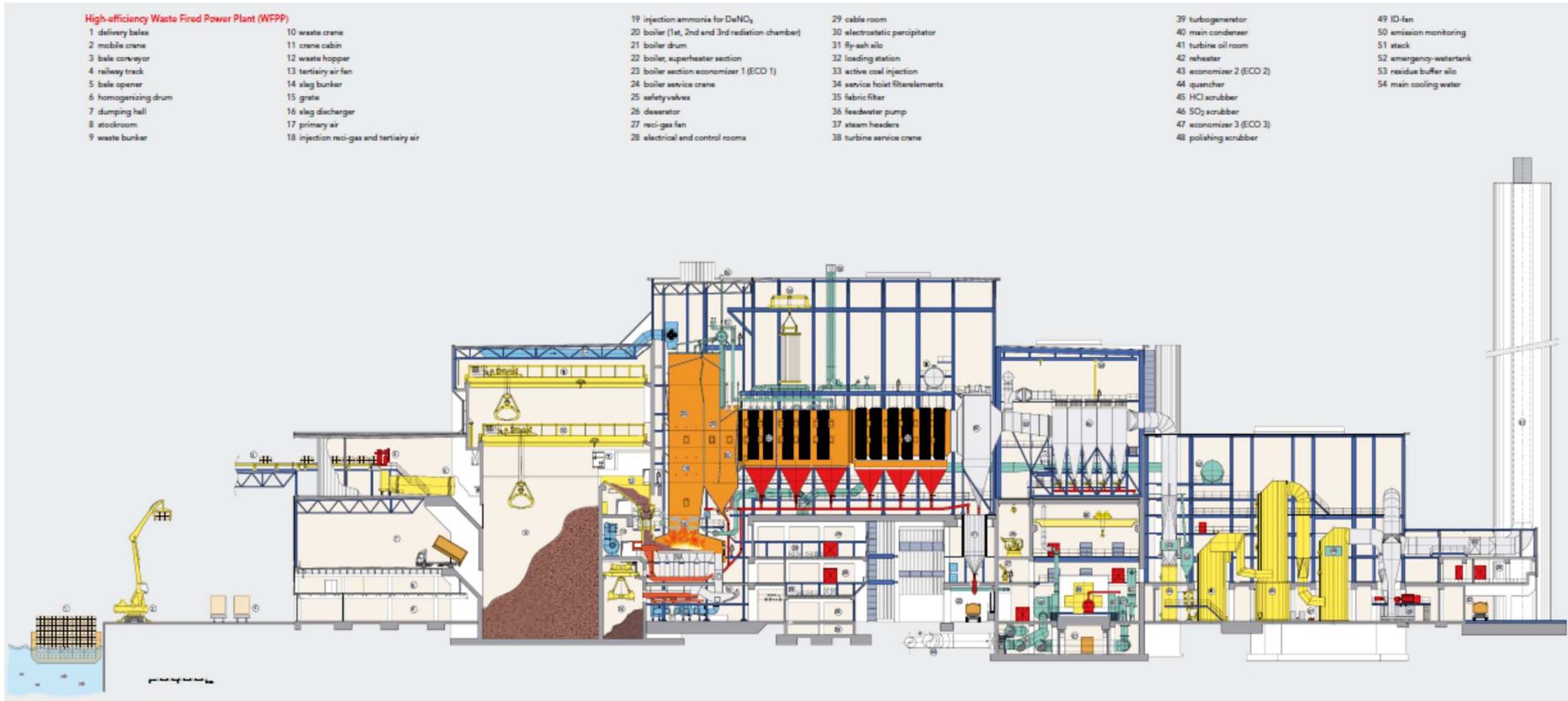
Unións Agrarias-UPA. (2012). Valorización energética de residuos ganaderos por digestión anaerobia.

**ANEXOS**

**ANEXO I.**  
**ESQUEMA PLANTA SIRUSA**



**ANEXO II.**  
**ESQUEMA PLANTA WFPP**  
**DE AEB AMSTERDAM**



**ANEXO III.**  
**MAPAS DE LAS ZONAS AJARDINADAS**



Mapa de las zonas ajardinadas  
**CIENCIAS DE LA SALUD Y LA GRANJA**

A. Ciencias de la Salud.  
B. La Granja.



Mapa de las zonas ajardinadas  
NUEVO EDIFICIO DE CIENCIAS DE LA SALUD

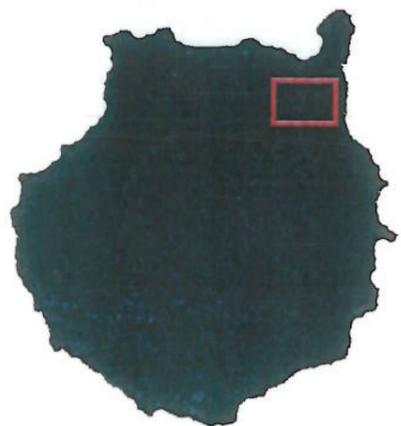


Mapa de las zonas ajardinadas  
**CAMPUS DE TAFIRA**

- A. La Palmita.
- B. Ingeniería + carretera y rotonda.
- C. Instalaciones Deportivas.
- D. Telecomunicaciones + jardín escultura Toni Gallardo .
- E. El Pensador.
- F. Arquitectura + comedor.
- G. Ciencias Básicas e Informática + rotondas y accesos.
- H. Biblioteca General.
- I. Empresariales + Ciencias Jurídicas + Aularios + Apartamentos.
- J. Residencia Universitaria.
- K. Parque Científico + Ciencias de la Computación.
- L. Edificio Guíniguada.

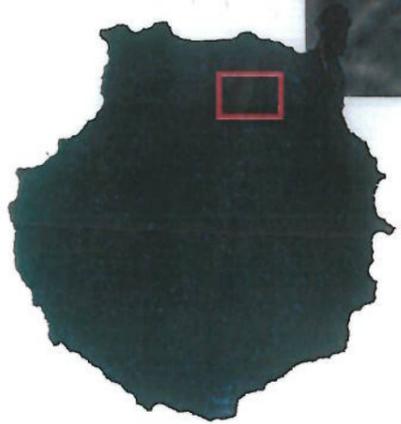


Mapa de las zonas ajardinadas  
TALIARTE, ZONA ANTIGUA Y NUEVA



Mapa de las zonas ajardinadas  
**CAMPUS DEL OBELISCO**

A. Jardines exteriores.



Mapa de las zonas ajardinadas  
**CAMPUS DE ARUCAS**

A. Jardines exteriores.



Mapa de las zonas ajardinadas  
RECTORADO Y NUEVO EDIFICIO SERVICIO  
ADMINISTRATIVO

**ANEXO IV**  
**INVENTARIO DE ESPECIES VEGETALES**

## ESPECIES DE ÁRBOLES



Acacia



Jacaranda mimosifolia



Acokanthera spectabilis



Melia azedarach



Albizia



Morus alba



Musa acuminata

*Araucaria heterophylla*



*Bauhinia purpurea*



*Olea europea*



*Bauhinia variegata*



*Pandanus utilis*



*Brachichyton rupestris*



*Parkinsonia aculeata*



*Casuarina equisetifolia*



*Pinus canariensis*



*Chorisia speciosa*



*Plumeria*



*Citharexylum quadrangulare*



*Prunus* spp.



*Citrus sinensis*

*Psidium guajava*



*Cupressus*



*Punica granatum*



*Delonix regia*



*Ravenala madagascariensis*



*Dombeya*



*Schinus molle*



*Dracaena draco*



*Schinus terebinthifolius*



*Erythrina*



*Spathodea campanulata*



*Eucalyptus globulus*



*Strelitzia nicolae*



*Ficus benjamina*



*Syzygium cumini*



*Ficus carica*



*Thuja*



*Ficus nitida*



*Tipuana tipu*



Granadillo



Yucca elephantipes



Guayabo

**ESPECIES DE ARBUSTOS Y SEMIARBUSTOS**



Acalypha wilkesiana



Limonium perezii



Argyanthemum spp.



Marcetella moquiniana

*Asclepias curassavica*



*Nauplius sericeus*



*Bambusa vulgaris*



*Nerium oleander*



*Caesalpinia pulcherrima*



*Pelargonium hortorum*



*Callistemon citrinus*



*Pelargonium peltatum-zonale*



Caña limón



Philodendron



Carissa grandiflora



Pistacia lentiscus



Cineraria maritima



Pittosporum tobira



Coccoloba uvifera



Plumbago capensis



Codiaeum



Pterocephalus



Convolvulus floridus



Retama



Coprosma



Rosal

Cymbopogon citratus



Rosmarinus officinalis



Dimorphoteca



Rumex lunaria



Schefflera arboricola

Duranta repens



Echium decaisnei



Solanum rantonetti



Hibiscus rosa sinensis



Strelitzia reginae



*Hydrangea macrophylla*



*Tamarix canariensis*



*Tanacetum* spp.

*Hypericum canariense*



*Kleinia neriifolia*



*Tecoma smithii*



*Lantana camara*



*Tecomaria capensis*



Lavandula angustifolia



Thevetia peruviana



Limoniastrum monopetalum



Vinca

### ESPECIES DE CRASAS

Adenium obesum



Euphorbia pulcherrima



Agave attenuata



Ferocactus



Aloe vera



Kalanchoe blossfeldiana



Ceropegia



Opuntia



Echinocactus grusonii



Portulacaria afra



Euphorbia canariensis



Sansevieria



Euphorbia candelabrum



Sedum praealtum



Euphorbia ingens



Senecio cineraria

### ESPECIES DE PALMERAS



Archontophoenix cunnighamiana



Phoenix roebelenii



Chamaerops humilis



Phoenix spp



*Cyca circinalis*



*Roystonea regia*



*Cyca revoluta*



*Syagrus romanzoffiana*



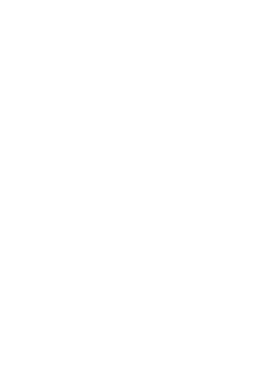
*Howea forsteriana*



*Washingtonia filifera*



*Hyophorbe verschaffeltii*



*Washingtonia robusta*

Phoenix canariensis

Phoenix dactylifera



Zamia furfuracea

### ESPECIES DE TAPIZANTES



Aptenia cordifolia



Lampranthus spectabilis



Carpobrotus edulis



Rhoeo discolor



Gazania

### ESPECIES DE TREPADORAS



Allamanda cathartica



Lonicer japonica



Bougainvillea glabra



Senecio tamoides



Hedera helix



Solandra

### ESPECIES DE TUBERCULOS Y BULBOS



Alpinia purpurata



Cyperus alternifolius



Canna indica



Ligularia



Chlorophytum comosum



Nephrolepis



Cortaderia selloana