

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN TENERIFE. EN VÍA DE UNA ECONOMÍA CIRCULAR

Grado en Ingeniería Química Industrial
Departamento de Ingeniería Química y Tecnológica
Farmacéutica
Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

TRABAJO FIN DE GRADO

Autor: Pablo García del Rey Martín

Tutores: Karina Elvira Rodríguez Espinoza

Douglas Jimmy Escalante Ayala

Curso 2022-2023

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a mis tutores Karina Elvira Rodríguez Espinoza y Douglas Jimmy Escalante Ayala por su tiempo dedicado y la ayuda prestada durante el desarrollo de este proyecto.

También, hacer especial mención a mi amiga Sara Señorans Fernández, quien me ayudó en el cálculo del potencial energético de los residuos y me brindó algunos consejos para mejorar mi trabajo.

Además, agradecer a mi familia por el apoyo incondicional a lo largo de mi desarrollo académico, siendo muy importante para finalizar esta etapa.

También quiero agradecer al proyecto “ACLIEMAC MAC2/3.5b/380” financiado con fondos FEDER (Programa INTERREG MAC 2014-2020) y a la “Fundación CajaCanarias” y “Fundación Bancaria "la Caixa"” a través de la “Convocatoria Proyectos Investigación 2019”.

Finalmente, agradecer a mis amigos y compañeros del grado por su apoyo moral y haber amenizado el camino de este.

RESUMEN

El aumento de los gases de efecto invernadero, generados principalmente por el uso desmedido de combustibles fósiles, así como el aumento en la generación y, sobre todo, la mala gestión de los residuos, son uno de los problemas ambientales más graves a los que se enfrenta la sociedad, debido a que provocan contaminación y numerosos impactos negativos en el medio ambiente. Todo esto junto con el aumento del precio del petróleo y la dependencia energética de muchos países ha ocasionado un incremento del interés por el desarrollo de sistemas de aprovechamiento de residuos con fines energéticos.

Las energías renovables, tanto por su respeto al medio ambiente como por su alta densidad de energía, así como sus posibilidades de comercialización, tienen cada vez más participación en los mercados energéticos mundiales.

Las propuestas de acción de los gobiernos encaminadas en este sentido son cada vez mayores, exigiendo a los países su compromiso con los protocolos medioambientales establecidos. Llegados a este punto, entran en juego energías alternativas, tales como las originadas a partir de residuos alimentarios, agrícolas, forestales y ganaderos, cuya materia orgánica puede ser transformada en biocombustibles con elevados rendimientos.

Con este Trabajo de Fin de Grado se pretende dar una visión global de la situación actual a nivel mundial y en Canarias, tanto de la problemática energética como del impacto negativo en el medioambiente causado por la mala gestión de los residuos generados, así como de los procesos y tecnologías que se pueden utilizar para el aprovechamiento energético a partir de residuos.

Finalmente, el objetivo de este proyecto es identificar y realizar un análisis estimativo de los flujos de residuos orgánicos generados en la isla de Tenerife, seleccionando algunos de ellos para el cálculo de su potencial energético, evidenciándose que se podría lograr un autoabastecimiento en Tenerife mediante un aprovechamiento energético de los residuos generados en la isla, contribuyendo así a una independencia energética y una mejora en la gestión de los residuos.

SUMMARY

The increase in greenhouse gases, mainly generated by the excessive use of fossil fuels, as well as the increase in the generation and, above all, the poor management of waste, are one of the most serious environmental problems facing society, due to the fact that they cause pollution and numerous negative impacts on the environment. All this, together with the increase in the price of oil and the energy dependence of many countries, has led to an increase in interest in the development of waste-to-energy systems.

Renewable energies, both because of their environmental friendliness and high energy density, as well as their marketability, are becoming increasingly important in the world's energy markets.

Government proposals for action in this direction are increasing, requiring countries to commit to established environmental protocols. At this point, alternative energies come into play, such as those originating from food, agricultural, forestry and livestock waste, whose organic matter can be transformed into biofuels with high yields.

This Final Degree Project aims to provide an overview of the current situation worldwide and in the Canary Islands, both of the energy problem and the negative impact on the environment caused by the poor management of the waste generated, as well as the processes and technologies that can be used for the use of energy from waste.

Finally, the aim of this project is to identify and carry out an estimated analysis of the organic waste flows generated on the island of Tenerife, selecting some of them to calculate their energy potential, showing that self-sufficiency could be achieved in Tenerife through the use of energy from the waste generated on the island, thus contributing to energy independence and improved waste management.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA	10
1.1.1 PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA EN CANARIAS	11
1.2 PROBLEMÁTICA DE RESIDUOS.....	13
1.2.1 CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS.....	14
1.2.2 CONTAMINACIÓN DEL SUELO.....	14
1.3 CAMBIO CLIMÁTICO.....	17
1.3.1 DEFINICIÓN.....	17
1.3.2 CAUSAS Y CONSECUENCIAS.....	17
1.3.3 SOLUCIONES Y ACUERDOS INTERNACIONALES.....	18
1.4 ECONOMÍA CIRCULAR.....	20
1.4.1 MODELO LINEAL Y ORIGEN DEL CONCEPTO CIRCULAR.....	20
1.4.2 PLAN DE ACCIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA PARA LA ECONOMÍA CIRCULAR.....	22
1.4.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN EL MUNDO.....	23
1.5 ANTECEDENTES.....	24
1.6 BIOCOMBUSTIBLES.....	25
1.6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES.....	26
1.6.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES.....	27
1.6.3 BIOGÁS COMO SOLUCIÓN AMBIENTAL.....	29
1.6.4 LOS BIOCOMBUSTIBLES EN CANARIAS.....	31
1.7 OBJETIVOS.....	34
2. ANÁLISIS: CASO ESTUDIO CANARIAS - TENERIFE	35
2.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS EN CANARIAS.....	35
2.1.1 TIPOS DE RESIDUOS.....	35
2.1.2 RESIDUOS ESPECÍFICOS PARA LA ISLA DE TENERIFE.....	37
2.2 PROCESOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS A LOS RESIDUOS.....	39
2.2.1 PROCESOS TERMOQUÍMICOS.....	39
2.2.2 PROCESOS BIOLÓGICOS O BIOQUÍMICOS.....	40
2.3 PODER POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS.....	41
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
3.1 CUANTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS.....	42
3.1.1 RESIDUOS AGRÍCOLAS.....	42
3.1.2 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	52
3.1.3 RESIDUOS FORESTALES.....	57
3.2 CUANTIFICACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO GLOBAL.....	66
3.3 PROPUESTAS FUTURAS.....	69
4. CONCLUSIONES	70
5. BIBLIOGRAFÍA	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Contaminación local y difusa del suelo (Fuente: AEMA, 2002).</i>	16
Figura 2. <i>Guía de la Economía Circular (Fuente: Ellen MacArthur Foundation, 2019).</i>	22
Figura 3. <i>Diagrama del ciclo de vida del biocombustible (Fuente: Dreamstime.com).</i>	25
Figura 4. <i>Equivalencia energética del biogás respecto a otras fuentes de energía (Fuente: CIEMAT).</i>	31
Figura 5. <i>Proceso de generación del biodiésel (Fuente: Atlantic Biofuels).</i>	32
Figura 6. <i>Gráfico de composición de los RSU (Fuente: KPMG, 2014).</i>	36
Figura 7. <i>Evolución de la producción de los residuos generados del plátano en Tenerife entre 2010 y 2020.</i>	44
Figura 8. <i>Evolución de la producción de los residuos generados de la viña en Tenerife entre 2010 y 2020.</i>	46
Figura 9. <i>Evolución de la producción de los residuos generados del tomate en Tenerife entre 2010 y 2020.</i>	47
Figura 10. <i>Evolución de la producción de los residuos generados de la papa en Tenerife entre 2010 y 2020.</i>	49
Figura 11. <i>Evolución de la producción de los residuos generados de las hortalizas en Tenerife entre 2009 y 2019.</i>	50
Figura 12. <i>Producción de cultivos agrícolas en Tenerife entre 2009 y 2019 (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).</i>	51
Figura 13. <i>Residuos totales de cultivos agrícolas en Tenerife entre 2009 y 2019 (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).</i>	51

Figura 14. <i>Residuos sólidos urbanos generados en la isla de Tenerife entre 2010 y 2020 (Fuente: Instituto Nacional de Estadística).</i>	56
Figura 15. <i>Distribución de los pinares en Tenerife. Basado en el mapa de vegetación actualizado por el Cabildo de Tenerife.</i>	57
Figura 16. <i>Cantidad de residuos y potencial energético de los residuos estudiados.</i> ...	67
Figura 17. <i>Diagrama de Sankey: poder potencial energético medio anual (MW).</i>	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales producciones agrarias de Canarias en 2021 (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).----	42
Tabla 2. Producción, hectáreas cultivadas y residuos totales generados del plátano en Tenerife (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).-----	43
Tabla 3. Producción, hectáreas cultivadas y residuos totales generados de la viña en Tenerife (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).-----	45
Tabla 4. Producción, hectáreas cultivadas y residuos totales generados del tomate en Tenerife (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).-----	46
Tabla 5. Producción, hectáreas cultivadas y residuos totales generados de la papa en Tenerife (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).-----	48
Tabla 6. Producción, hectáreas cultivadas y residuos totales generados de la horticultura en Tenerife (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).-----	49
Tabla 7. Población generadora de residuos en Canarias por isla (Fuente: Instituto Nacional de Estadística).-----	53
Tabla 8. Residuos generados y porcentaje de fracción orgánica en Canarias (Fuente: Instituto Nacional de Estadística).-----	54
Tabla 9. Residuos generados, población generadora y porcentaje de fracción orgánica en la isla de Tenerife (Fuente: Instituto Nacional de Estadística).-----	55
Tabla 10. Superficie y producto de las claras en pinar canario (Fuente: Plan de Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Forestales en Canarias).-----	58
Tabla 11. Claras totales de pino canario para la obtención de madera y restos.-----	59

Tabla 12. <i>Claras totales de pino canario para la obtención de biomasa.</i> -----	59
Tabla 13. <i>Superficie y producto de las cortas de radiata y otra arbolada (Fuente: Plan de Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Forestales en Canarias).</i> -----	60
Tabla 14. <i>Total cortas de radiata y otra arbolada para la obtención de madera y restos.</i> -----	61
Tabla 15. <i>Total cortas de radiata y otra arbolada para la obtención de biomasa.</i> ----	62
Tabla 16. <i>Superficie de las cortas en monteverde (Fuente: Plan de Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Forestales en Canarias).</i> -----	63
Tabla 17. <i>Valores totales y posibilidad anual de cortas en monteverde para la obtención de biomasa.</i> -----	63
Tabla 18. <i>Valores totales de desbroces y podas para la obtención de biomasa.</i> -----	64
Tabla 19. <i>Superficie de la extracción de pinocha (Fuente: Plan de Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Forestales en Canarias).</i> -----	65
Tabla 20. <i>Valores totales de la extracción de pinocha para la obtención de biomasa.</i>	65
Tabla 21. <i>Características de los residuos agrícolas mayoritarios de Tenerife.</i> -----	66

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática Energética

El mundo se encuentra en una difícil situación energética. Por una parte, la demanda de energía es cada vez más elevada, y por otra, las fuentes actuales tienen, en su mayoría, recursos limitados y su uso tiene impacto directo en el medio ambiente.

El crecimiento demográfico y económico trae consigo que consumamos más energía, y las formas tradicionales en que la generamos, a partir de los combustibles fósiles, da como resultado importantes efectos negativos sobre el bienestar del ser humano y el medio ambiente.

Según el tercer principio de sostenibilidad de la Declaración de Río de 1992, es necesario “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades”.

Actualmente, esto no se cumple debido a que los recursos naturales del planeta se usan a un ritmo acelerado y no se están tomando medidas al respecto, por lo que las condiciones de vida de las generaciones futuras serán peores a las que tenemos hoy en día (Pinilla, 2019).

Desde la Revolución Industrial hasta la actualidad, los procesos industriales se desarrollan a partir de combustibles fósiles (petróleo, gas y derivados como la gasolina y el diésel) ocasionando un uso desmedido de los recursos naturales. Lo que está provocando un cambio en la composición de la atmósfera terrestre, emitiendo más gases de efecto invernadero que pueden permanecer en la atmósfera por más de cincuenta años.

Actualmente, la demanda de energía mundial se satisface esencialmente con combustibles fósiles, concretamente, 30% petróleo, 27% carbón y 20% de gas.

Las concentraciones atmosféricas de gases como el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso han aumentado a niveles sin precedentes. Las emisiones derivadas de la quema de combustibles sólidos y las emisiones netas derivadas del cambio en el uso del suelo han aumentado en hasta un 40% las concentraciones de CO₂.

Los océanos han absorbido alrededor del 30% del dióxido de carbono antropogénico, provocando la acidificación en el ciclo del agua. Por lo que el principal desafío que enfrenta el sector energético es crear un sistema que combine asequibilidad, confiabilidad y sostenibilidad.

Los cambios estructurales fundamentales en el sector energético ocurren en todo el mundo y en gran parte están relacionados con el llamado trilema de la energía: asegurar el suministro, aumentar la competitividad mediante el uso de enfoques con un menor costo y las preocupaciones ambientales (Camacho, 2012).

Se estima un aumento entre hoy y el año 2040, en los principales países en vías de desarrollo, encabezados por India, de un cuarto en la demanda de energía mundial. Y el continente asiático será el responsable del crecimiento del gas (aproximadamente la mitad), entre un 60-70% de la energía eólica y solar, crecimiento del carbón y energía nuclear, y hasta un 80% del petróleo (Pinilla, 2019).

1.1.1 Problemática energética en Canarias

Bajo esta problemática mundial, la situación de las Islas Canarias debe ser analizada definiendo cuáles pueden ser las consecuencias y cuáles deberían ser las propuestas para enfrentarlas.

Canarias constituye un importante paradigma, debido a su disposición geográfica situada en medio del mar, que ha servido en muchas ocasiones como laboratorio de referencia a nivel mundial, donde cada día se explota su principal recurso, el turismo y donde esa insularidad hace al mismo tiempo que muchos recursos sean importados creando además una dependencia energética.

El petróleo ocupa el primer producto de importación (más de 1200 millones de euros cada año), seguido por los automóviles (1100 millones de euros al año), lo que nos lleva a preguntarnos si esta situación es sostenible, ¿qué ocurriría si se da un aumento brusco en los precios de los combustibles fósiles?, o en contrapunto, ¿un desabastecimiento? Un ejemplo de ello es el enfrentamiento bélico que se está produciendo entre Rusia y Ucrania.

Antes de abordar estas preguntas, es necesario tener en cuenta que las previsiones a una escala mundial pueden determinar los impactos que causarían en Canarias, entre los que destacan, el incremento del coste de la energía eléctrica con origen térmico, incremento de los costes del agua (desalación, bombeo y depuración), el final del conocido “turismo barato” de corta estancia, generado por el aumento de precios del transporte aéreo, el incremento del precio de los combustibles para el transporte terrestre, gasolina, etc.

Todo ello implicaría un incremento del aislamiento de las islas, aumentando previsiblemente la pobreza y, en consecuencia, un desarrollo negativo e insostenible (Calero, 2006).

Sin embargo, Canarias cuenta con abundantes recursos energéticos renovables, principalmente viento y sol, con excelentes condiciones climatológicas que permiten consumos de energía menores que en otros lugares del planeta con condiciones más extremas y niveles de vida similares.

Por lo que Canarias debería adelantarse a este estallido energético, siendo un ejemplo mundial, desarrollando la región plenamente a lo sostenible (Calero, 2006).

Marcaremos como principales directrices, una implantación máxima de energías renovables (eólica, solar térmica y solar fotovoltaica, así como, procesos de transformación de la biomasa) y un máximo ahorro energético (electricidad, calor, transporte, agua desalada); teniendo en cuenta que las fuentes renovables únicamente contribuyen a un 20% de la producción energética de las islas Canarias (Seguimiento de la demanda de energía eléctrica, 2023).

Sabiendo que es imposible no depender de los recursos tradicionales no renovables, se debe realizar un plan energético en el cuál, haciendo uso de las energías renovables, se puedan considerar estos recursos complementarios.

En definitiva, una adecuada política energética encauzada en las direcciones expuestas representaría un nuevo futuro para Canarias, más sostenible que el actual, diversificando la economía y la no dependencia que existe con el sector turístico, aumentando las oportunidades de desarrollo y competitividad, pasando a ser un referente en todo el mundo del desarrollo sostenible.

1.2 Problemática de residuos

Como se ha mencionado el aumento de la población y el desarrollo de los países ocasiona un aumento tanto de la utilización de recursos como de la generación de residuos. Un manejo incorrecto de los residuos presenta diversos impactos negativos, como pueden ser la contaminación atmosférica, el cambio climático, contaminación tanto del suelo como del agua, y afectar directamente a muchos ecosistemas y especies. Al igual que constituye un riesgo para la salud, en forma de enfermedades y puede tener efectos perjudiciales en lo estético de las ciudades y paisajes naturales.

La mala gestión de los residuos es uno de los principales problemas a los que se enfrenta nuestra sociedad. Las consecuencias pueden ser muy graves si no nos concienciamos de la necesidad de seguir con las normativas establecidas para su tratamiento (Grupo Genia Bioenergy, 2021).

El crecimiento exponencial de la población mundial y su índice de consumo hace que se acumulen muchos más residuos que hace años. Pese a esto, no se dispone del espacio de almacenamiento adecuado para su posterior tratamiento.

La retirada inmediata del entorno para transportarlos a vertederos e incineradoras era el principal objetivo de la gestión de residuos hasta ahora. Aunque esto solo es una solución momentánea.

Como se indicó anteriormente, es necesario concienciar a la sociedad, pues la mala gestión de residuos provoca un alto grado de polución y degradación ambiental.

Según estimaciones a largo plazo de la OMS (Organización Mundial de la Salud), a partir del año 2030 podrían producirse alrededor de 250000 muertes al año a causa de este fenómeno.

A continuación, se detallan algunos tipos de contaminación ocasionados por la mala gestión de los residuos generados.

1.2.1 Contaminación de las aguas

La OMS define el agua contaminada como aquella que sufre cambios en su composición hasta quedar inservible.

Esto ocasiona filtración de lixiviados que contaminan el subsuelo. Se puede hacer una distinción entre los dos tipos de contaminantes del agua, primeramente, los desechos generados por los seres vivos, seguidos por los procedentes de las aguas negras vertidas por empresas, viviendas o industrias de explotaciones agrícolas (Grupo Genia Bioenergy, 2021).

Cuando dicha basura llega al agua, atrae a bacterias y protozoos que se alimentan de los desechos, reproduciéndose a gran escala, consumiendo más oxígeno del agua. Esto, a su vez, implica que los peces que viven en mares y ríos no puedan sobrevivir.

Si a esto le sumamos que las bacterias realizan la respiración anaerobia produciendo que el agua se fermente, generándose ácido sulfhídrico y metano, y la formación de algas por el aprovechamiento de restos orgánicos, que impiden el desarrollo de otros elementos vivos.

1.2.2 Contaminación del suelo

De acuerdo con la Ley 22/2011, de 28 de julio de Residuos y Suelos Contaminados, se define como suelo contaminado como aquel cuyas características han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes químicos de carácter peligroso, procedentes de la actividad humana, en concentración tal que ocasione un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con los criterios y estándares que se determinen por el Gobierno, y así se haya declarado mediante resolución expresa (Envira, 2021).

Sucede, sobre todo, cuando los residuos se almacenan incorrectamente y se acumulan en exceso, dando lugar a fugas y vertidos accidentales o intencionadas. Estas filtraciones provocan fenómenos como la salinización, exceso de acidificación, erosión y la pérdida de carbono orgánico.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) nos informa que la gestión de los desechos de ámbitos como la industria, minería, agricultura y ganadería son los principales agentes causantes de daños medioambientales en este tipo de contaminación.

Existen varios tipos de contaminación del suelo:

- **Contaminación natural.** Se concentra toxicidad entre los que determinan algunos elementos metálicos presentes en los minerales originales de ciertas rocas. Es debido a la presencia de compuestos naturales en el suelo. Como ejemplos se encuentran las erupciones volcánicas o incendios forestales.
- **Contaminación por sustancias químicas.** Generadas por el hombre y que provocan daños y cambios en el suelo. Es el caso de los pesticidas, hidrocarburos y solventes.
- **Contaminación antrópica.** Cuando los contaminantes son introducidos en la atmósfera a causa de actividades humanas como los gases de los automóviles, calefactores, etc.
- **Contaminación por infiltración.** Se desarrolla cuando el agua de la superficie se filtra por el suelo, produciendo un efecto dependiente directamente de la cantidad de agua y el tipo de suelo.
- **Contaminación por eliminación de residuos.** Acumulación de residuos en un lugar determinado, contaminando el suelo tras la degradación, exposición al ambiente y lixiviación.
- **Contaminación por superficies de escorrentía.** Se produce por el arrastre de contaminantes (fertilizantes, petróleo y plaguicidas), debido a la presencia de nieve o lluvia que erosionan y se filtran en el suelo.
- **Contaminación por instalaciones industriales abandonadas.** Denominado también como terreno baldío. Estos poseen concentraciones de elementos, contenedores y recipientes con contaminantes ambientales y residuos peligrosos.

Acto seguido se mostrará un esquema (Fig. 1) sobre la contaminación local y difusa del suelo.

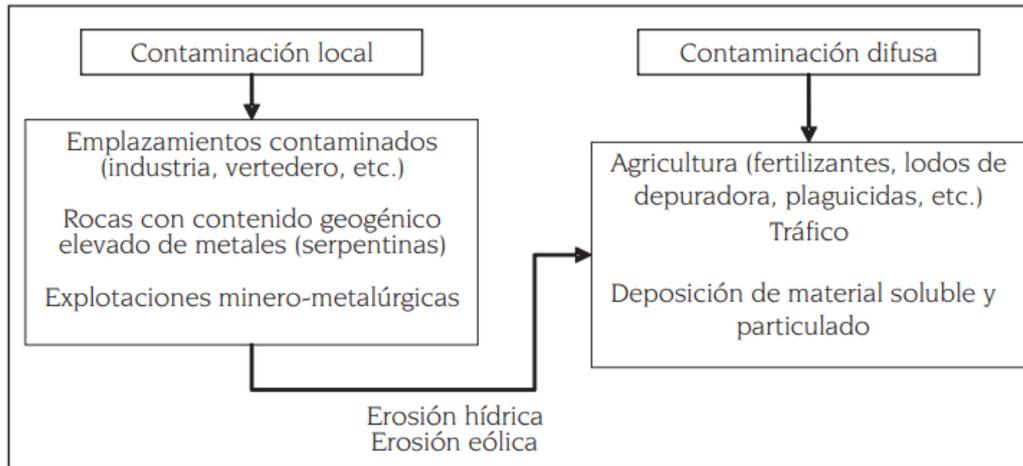


Figura 1. Contaminación local y difusa del suelo (Fuente: AEMA, 2002).

La mejor solución para la contaminación del suelo es la prevención. Un modo de prevención de la contaminación del suelo es un buen diseño de las instalaciones y las correctas prácticas ambientales (Envira, 2021).

Como otras posibles soluciones, podríamos destacar una disposición correcta de los productos y almacenes de sustancias contaminantes; protección de los tanques y depósitos con cubetos de retención; sistemas de detección de fugas; evitar actividades de almacenamiento, carga y descarga al aire libre; protección a la corrosión; impermeabilización de las superficies y redirección de las aguas a instalaciones de tratamiento; disponer de redes de control de vapores presentes en el suelo.

1.3 Cambio Climático

1.3.1 Definición

Según la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992), “por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”.

Una definición más actualizada es dada por el grupo Greenpeace, “el cambio climático es la modificación de la temperatura y del resto de variables del clima, que se está produciendo con una velocidad e intensidad sin precedentes en la historia de la humanidad, como consecuencia de la actividad humana”.

El cambio climático constituye la mayor amenaza medioambiental a la que se enfrenta la humanidad. Está ocurriendo a lo largo de todo el mundo y sus consecuencias pueden ser devastadoras, tanto para el medio ambiente como para las personas (Naciones Unidas, 2010).

1.3.2 Causas y consecuencias

La principal causa del cambio climático es el calentamiento global y tiene múltiples consecuencias negativas en los sistemas físicos, biológicos y humanos, entre otros efectos (Grupo Acciona, 2020).

El grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático de la ONU, conocido como IPCC, fue creado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) con el objetivo de ser una fuente de información científica acerca del calentamiento global.

En el informe del 2021 titulado “Cambio Climático 2021: Bases físicas”, se afirma que el calentamiento global deriva del efecto invernadero antrópico, es decir, determinado por las actividades humanas y que avanza con rapidez. También ponen de manifiesto la urgencia de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Haciendo uso de los datos de la OMM, como principales consecuencias del cambio climático destacaremos:

- La temperatura media mundial ha aumentado en $1,11 \pm 0,13$ °C desde la época preindustrial.
- La década del 2010 es la más cálida jamás registrada.
- La concentración media mensual de CO₂, medida por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) de Estados Unidos, alcanzó un máximo histórico acumulado de 417 partes por millón.
- El nivel medio del mar a escala mundial durante el período 2013-2021 supera en más del doble al registrado entre 1993 y 2002.
- Aparición de fenómenos meteorológicos extremos como tormentas y huracanes, olas de calor más intensas y duraderas, mega-incendios y sequías.

1.3.3 Soluciones y Acuerdos Internacionales

El sector energético, debido al uso de energías fósiles, es uno de los mayores contribuidores al calentamiento global. Las fuentes fósiles fueron responsables del 83% de las emisiones totales de CO₂ y tan solo la producción de electricidad a través del carbón representó el 36% del total (Global Energy Perspective, 2019).

En 1992 la Cumbre para la Tierra originó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como primer paso para afrontar ese grave problema. En la actualidad un total de 197 países han ratificado esta convención cuyo fin es prevenir la interferencia humana peligrosa en el sistema climático.

El Protocolo de Kioto fue aprobado el 11 de diciembre de 1997 y actualmente cuenta con 192 países, los cuales están obligados a cumplir unas metas de reducción de emisiones.

Este tratado jurídicamente vinculante consta con 28 artículos y 2 anexos y que tienen los mismos objetivos y principios que la Convención, pero la refuerza de manera significativa, ya que entre todos los países desarrollados deben sumar un recorte total de emisiones de gases de efecto invernadero de al menos el 5% con respecto a los niveles de 1990 en el período de compromiso de 2008-2012 (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020).

Posteriormente, en la 21ª Conferencia en París de 2015, la CMNUCC alcanzó un acuerdo histórico con el objetivo de combatir el cambio climático, acelerando las acciones necesarias para un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono. Los gobiernos firmantes se comprometían en limitar el aumento de la temperatura por debajo de 2°C respecto a niveles preindustriales y no sobrepasar el límite de 1,5°C.

El Acuerdo de París fue firmado por 175 líderes mundiales en el Día de la Tierra de 2016 celebrado en la Sede de las Naciones Unidas en Nueva York, convirtiéndose en el tratado internacional más firmado en un solo día. Actualmente cuenta con 191 países.

El Sr. Ban Ki-moon, secretario general de las Naciones Unidas 2007-2016, en su intervención expresó “La historia recordará este día, la conferencia es un éxito para los pueblos y el planeta. El cambio climático es el reto que marca nuestra era”.

Otro notable evento fue la Cumbre sobre la Acción Climática, celebrada en 2019, cuya finalidad es respaldar, incrementar y acelerar el proceso multilateral en la acción climática. La Cumbre se centró en la cooperación internacional y las áreas de trabajo para frenar el cambio climático de forma más efectiva, con soluciones ecológicas e invirtiendo en las energías limpias.

El camino hacia la descarbonización es claro y se concentra principalmente en la transición energética, centrado en las fuentes renovables y basado en bajas o cero emisiones de carbono. Las tecnologías necesarias para la descarbonización ya existen y las podemos utilizar en todas las actividades, desde viviendas y transportes a industrias pesadas.

El cambio del clima no espera y no se detiene. Hace falta un cambio cultural fuerte, una auténtica modificación del paradigma para traducir en realidad una idea en que ya coinciden todos (Grupo Enel Green Power, 2019).

1.4 Economía Circular

1.4.1 Modelo lineal y origen del concepto circular

El modelo económico lineal sigue vigente hoy en día, y consiste en “tomar, hacer y tirar”, confiando en la disposición de grandes cantidades baratas y fácilmente accesibles de materiales y energía, además de medios de bajo coste para deshacerse de lo que ya no interesa.

Tal modelo no es sostenible. Una economía circular es una alternativa atractiva y viable que en el ámbito empresarial ya se ha empezado a explorar (Steffen et al., 2015).

El concepto de economía circular fue definido con el objetivo de cambiar por completo el actual sistema lineal de producción y consumo, para evitar la sobreexplotación de los recursos naturales. A diferencia del anterior, estudia la relación entre economía y entorno.

La economía circular es reconstituyente y regenerativa por diseño, y se propone mantener siempre los productos, componentes y materiales en sus niveles de uso más altos. Es un ciclo de desarrollo continuo positivo que preserva y aumenta el capital natural, optimiza los rendimientos de los recursos naturales y minimiza los riesgos del sistema productivo.

Se basa en tres principios fundamentales:

1. Mantener y aumentar el capital natural, controlando los stocks finitos y equilibrando los flujos de recursos renovables. Esto es, escoger tecnologías y procesos que maximicen su rendimiento e intentando incluir en el sistema métodos para la regeneración del suelo.
2. Optimizar el rendimiento de los recursos utilizando aquellos en su mayor nivel de utilidad, en los ciclos técnico y biológico. Significa diseñar para reelaborar, renovar y reciclar para mantener circulando en la economía los materiales y componentes, y contribuyendo a la misma.

3. Fomentar la eficiencia del sistema, haciendo patentes e intentando eliminar las externalidades negativas. Incluye reducir el daño causado a sistemas y áreas que afectan a las personas, tales como alimentos, movilidad, educación, sanidad o entretenimiento y gestionar las externalidades tales como la contaminación del aire, el agua, la tierra, el ruido y las emisiones de gases tóxicos y el cambio climático.

A partir de estos principios se podría decir entonces que las características clave de una economía circular son:

- Reducir las nuevas elaboraciones y hacer el menor uso posible de los recursos naturales, de este modo que se dé una explotación minimizada pero más eficiente de las materias primas, logrando una mayor independencia de la importación de recursos naturales por lo que se minimiza el consumo total de agua y energía.
- Compartir en mayor medida la energía y los recursos renovables y reciclables. Para ello, la economía circular planea reemplazar los recursos no renovables por otros que sí lo sean con niveles sostenibles de oferta. Utilizar mayor proporción de materiales reciclables y reciclados que puedan sustituir a materiales vírgenes y extrayendo las materias primas de manera sostenible.
- Reducción de emisiones. La reducción de emisiones a lo largo del proceso productivo y menor contaminación a través de ciclos materiales limpios.
- Disminuir las pérdidas de materiales y de los residuos, minimizando la acumulación de desechos, limitando la cantidad de residuos incinerados y vertidos, a la vez que se minimizan las pérdidas por disipación de recursos más valiosos.
- Mantener el valor de productos, componentes y materiales en la economía de modo que se extienda la vida útil de los productos (manteniendo el valor de los productos en uso), reutilizando los componentes y preservando el valor de los materiales a través de un reciclaje de alta calidad.

1.4.2 Plan de acción de la Unión Europea para la economía circular

En los últimos años, la economía circular se ha convertido en tema prioritario en la agenda europea, ya que se encuentra dentro de los esfuerzos llevados a cabo para un desarrollo sostenible.

La Comisión Europea publicó en diciembre de 2015 el Plan de Acción de la Unión Europea (UE) para la Economía Circular, en dicho documento se señala la integración de este tipo de economía que exige la colaboración y compromiso a largo plazo a escala nacional, regional y local, con la contribución de todas las partes interesadas (Morató et al., 2017).

Modificar las pautas de producción y consumo favoreciendo la economía circular es un reto que las directrices de la UE incluyen dentro de los planes y las líneas de acción que fomentan el desarrollo sostenible y una economía competitiva (Comisión Europea, 2020). En la Fig. 2 se puede observar una guía básica acerca de la economía circular.

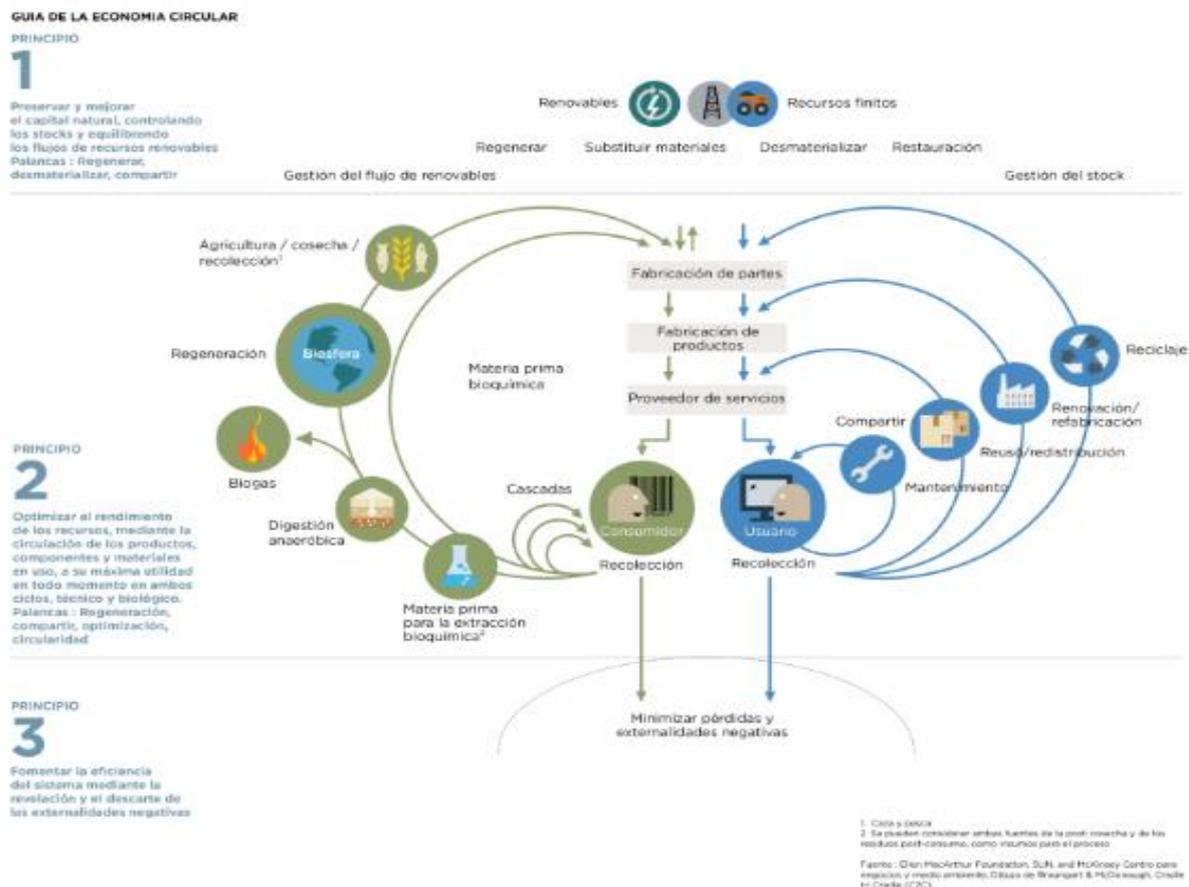


Figura 2. Guía de la Economía Circular (Fuente: Ellen MacArthur Foundation, 2019).

1.4.3 Implementación de la economía circular en el mundo

Si se hace una revisión de los artículos más representativos sobre economía circular publicados entre los años 2004 y 2014 a través de las bases de datos de la *Web of Science* y de *Sciencedirect*, se obtienen un total de 155. Realizando una división por países se reparten en: China 41, Unión Europea 20, Australia 6, Estados Unidos 5, Canadá 4, Corea del Sur 3, Japón 3, India 2, Nueva Zelanda 1, Egipto 1, Sudáfrica 1, Argentina 1 y Brasil 1. Observando que la economía circular en China y en el resto del mundo siguen patrones muy diferentes (Cerdá y Khalilova, 2015).

El concepto de economía circular aparece en la agenda política china en los años 90, con el objetivo de mejorar el uso de los recursos. En 2008 la Ley de Promoción de la Economía Circular otorgó al país ser pionero en promover una legislación específica.

En esta estrategia política nacional se trata de un enfoque de “arriba-abajo” que se refleja en los instrumentos utilizados (fundamentalmente de comando y control) basados en el mercado, al igual que sucede en Japón, Estados Unidos y Europa. La transición hacia el modelo de economía circular llevada a cabo en Europa parece producirse con un enfoque de “abajo-arriba”, esto quiere decir desde la sociedad, organizaciones ecológicas, etc., donde se demanda unos productos más ecológicos y normativas que impliquen a las compañías privadas y las autoridades.

Si nos trasladamos a Estados Unidos veremos que no cuentan con ninguna iniciativa sobre la política de economía circular, a pesar de importantes regulaciones pasadas, tales como la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos de 1976, o la Ley de Prevención de la Contaminación de 1990 (Cerdá y Khalilova, 2015).

Japón y Australia han puesto en marcha planes sobre la transición, caracterizados por una colaboración cercana entre la sociedad civil, los productores y el sector público, al igual que reutilización de residuos y proyectos de reciclaje, aumentando la eficiencia y ahorrar dinero reduciendo la cantidad de residuos depositados en vertederos.

1.5 Antecedentes

Una vez se ha comentado la problemática energética y de residuos que existe en la actualidad y se han visto los efectos negativos que esto conlleva, podemos afirmar que cada vez más se están buscando soluciones viables y renovables para lidiar contra estos fenómenos.

América Latina y el Caribe constituyen una de las regiones más verdes en lo que a futuro energético se refiere, ya que consta con redes eléctricas muy limpias gracias a la abundante energía hidroeléctrica y la creciente presencia de energía eólica y solar.

Las obligaciones en cuanto a la descarbonización y la preocupación por la seguridad energética están aportando un importante papel en la apuesta por estas tecnologías, y la conciencia creciente de que este mercado contribuye en la creación de empleo y desarrollo local.

Debido a esto, encontramos numerosos trabajos de investigación realizados en estos lugares y que comparten similitudes con lo que se hará en este estudio. A continuación, se nombran los más destacados:

- *Valorización energética de residuos: Proyecto WTE Colombia*, elaborado por INERCO Consultoría Colombia en Bogotá, 2018.
- *Evaluación del potencial energético de los recursos biomásicos en Honduras*, realizado por un grupo de alumnos de la Universidad Nacional Autónoma de México en asociación con la CEPAL, 2021.
- *Proyectos de aprovechamiento energético a partir de residuos urbanos en México*, ejecutado por la Dirección General de Fomento Ambiental, Urbano y Turístico, 2018.
- *Análisis de escenarios de aprovechamiento potencial sobre flujos de residuos generados en la sede Chía-Cundinamarca*, presentado por Lina Mercedes Almanza de la Universidad El Bosque Colombia, 2019.

Todos estos estudios evidencian el gran interés a nivel mundial por lograr un aprovechamiento energético de la biomasa residual, centrándose en muchos casos en la obtención de biocombustibles, generando así en zonas como Canarias, una menor dependencia energética y una mejor gestión de los residuos.

1.6 Biocombustibles

Se entiende por biocombustibles aquellos que han sido obtenidos a partir de biomasa, y se posicionan como una alternativa a la hora de combatir la problemática ambiental, pues reducen la dependencia de combustibles fósiles y evitan la acumulación de residuos (Salinas y Gasca, 2009).

Definiremos la biomasa como el tipo de energía que consiste en aprovechar toda la materia orgánica susceptible de ser utilizada como fuente de energía, que contribuye al aprovechamiento de los residuos urbanos y forestales, como también a los desechos orgánicos producidos por diversas industrias, generalmente, ganaderas, agroalimentarias o forestales.

Por supuesto, la biomasa representa una fuente renovable de energía, debido a que, el dióxido de carbono consumido al construirse es el que posteriormente se generará en el proceso de combustión del biocombustible. Esto se puede ver gráficamente en el siguiente esquema (Fig. 3).

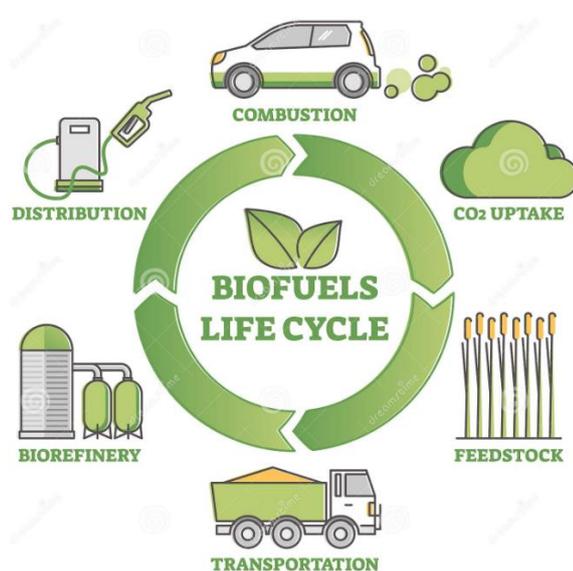


Figura 3. Diagrama del ciclo de vida del biocombustible (Fuente: Dreamstime.com).

1.6.1 Clasificación de los biocombustibles

La biomasa utilizada para la obtención de los biocombustibles ya sea una materia orgánica de origen animal o vegetal, debe de ser transformada por medio de procesos mecánicos, termoquímicos y biológicos. Por lo que, diferenciaremos los distintos tipos de biocombustibles en función de la procedencia de la materia prima y los procesos utilizados.

- **Biocombustibles de primera generación:** aquellos combustibles que han sido obtenidos a partir de cultivos agrícolas. Cumplen con los criterios de sostenibilidad y reducción de huella de carbono que establece la Directiva Europea. Los ejemplos más destacados son los creados a partir de aceites vegetales (soja o palma) como el bioetanol y el biodiesel.
- **Biocombustibles de segunda generación:** provenientes de residuos o cultivos no destinados a la alimentación, de industrias agroalimentarias y forestales, aceites de cocina usados y la fracción orgánica de los residuos urbanos. El uso de este tipo de biocombustibles es menor pero más sostenible que el de primera generación, pues favorece la reutilización y reduce la llegada de residuos a los vertederos. En este caso encontramos el biodiesel, el biogás y el biometano.
- **Biocombustibles de tercera generación:** extraídos de algas y plantas acuáticas con un contenido de aceite natural de al menos un 50%. La producción a escala comercial de este tipo de biocombustible aún no se ha llevado a cabo, pero numerosos estudios y proyectos de investigación, como EULAFUEL, donde participan las empresas españolas Synergia y Repsol, remarcan su viabilidad.
- **Biocombustibles de cuarta generación:** esta cuarta generación de biocombustibles da un paso más, pues se basa en la búsqueda de modificar genéticamente los microorganismos para mejorar la eficiencia en la captación y almacenamiento del CO₂. Hoy en día, estos biocombustibles tampoco se comercializan, aunque existen plantas piloto en Estados Unidos y Brasil.

1.6.2 Ventajas y desventajas de los biocombustibles

Actualmente, gobiernos y empresas a nivel mundial están realizando campañas para dar a conocer la alternativa que suponen los biocombustibles en la lucha contra el cambio climático.

1.6.2.1 Primera generación

Considerada por muchos como energía renovable, los biocombustibles de primera generación como el caso del bioetanol utilizado como combustible en automóviles se adapta con mayor facilidad a la tecnología ya existente, en cambio sí se tomase otra fuente como el hidrógeno, requeriría la necesidad de una tecnología diferente para el desarrollo de hidrocarburos (Salinas y Gasca, 2009).

Por lo cual, encontramos varias ventajas en el uso de estos biocarburantes como son el menor costo con respecto a la gasolina o el diésel, procesos productivos más eficientes al consumir y contaminar menos; reducción de emisiones de azufre y carbono; generación de empleo a nivel local; un nivel de seguridad mayor en lo que a manejo y almacenamiento se refiere en comparación con los combustibles fósiles.

Una cuestión recurrente cuando se plantea la expansión de la bioenergía es el impacto sobre la producción y el precio de los alimentos. Sin embargo, estudios detallados han demostrado exhaustivamente que existen alternativas eficientes y sostenibles de reducido impacto en la oferta de alimentos (Vieira de Carvalho et al., 2016).

Debemos indicar que el uso de estos biocombustibles también cuenta con algunas desventajas o contras, como es la implicación de un consumo elevado de agua dulce para regar los campos, pues la producción de bioetanol está directamente relacionada con el aumento de la demanda de agua dulce. La extensión de superficies destinadas a biocombustibles también se postula como una negativa, pues, si se quisiese satisfacer el consumo energético a base de esta tecnología, Europa debería emplear el 72% de su superficie agrícola, Estados Unidos requeriría un 30% y por ejemplo México no cuenta con suficientes tierras agrícolas disponibles para este uso.

1.6.2.2 Segunda generación

Al tratarse de este segundo grupo de biocombustibles se abre la posibilidad de obtener combustibles más respetuosos con el medio que no compiten con los cultivos dedicados a la alimentación.

Las ventajas más destacables serían la posible plantación en áreas no agrícolas ni ganaderas, pudiendo diversificar el uso de los bosques, incluso en algunos casos servir para recuperar terrenos erosionados; el agua consumida es generada por los propios bosques con la generación de lluvias; no se requieren masivos usos de agroquímicos como fertilizantes o pesticidas; utilización de la biomasa procedente de los desechos industriales o de consumo humano; incentivan el desarrollo tecnológico en el sector agroindustrial; altamente eficientes para reducir emisiones de CO y CO₂, al igual que abaratan los costos de producción a largo plazo en comparación con los biocarburantes actuales.

Por contrapunto, en cuanto a los posibles inconvenientes de estos biocombustibles de segunda generación, el más remarcable es su elevado costo al tratarse de un producto que se encuentra en su umbral de comercialización, no pudiéndose producir económicamente a gran escala por su gasto relativamente alto de la manufactura. Asimismo, estos nuevos carburantes pueden propagar especies modificadas genéticamente con impactos aún desconocidos, o la pérdida de hábitats naturales por los monocultivos.

1.6.2.3 Tercera generación

Como ocurre con los biocombustibles de segunda generación, esta tercera generación tampoco utiliza cultivos destinados a alimentación y, por tanto, no interfiere en la producción convencional y en sus precios de venta. Su alta productividad permite a sus responsables recoger cultivos cada pocos días (Fernández, 2014).

Varios impulsores, como el proyecto EULAFUEL, señalan que las microalgas pueden convertirse en una herramienta en la lucha contra el cambio climático por su gran absorción de CO₂ colocándose los cultivos en las industrias productoras de dicho gas, lográndose así alimentar a estas algas y a su vez reducir las emisiones a la atmósfera.

Otra función ecológica sería usar las aguas residuales de sustento, que sirvan como alimento de las microalgas y a la vez las depurarían.

La principal desventaja de este tipo de biocombustible radica en que hoy en día siguen siendo un desafío, pues, aunque las microalgas crecen en aguas residuales y con CO₂ necesitan también otros nutrientes como nitrógeno o fósforo, siendo los costes de inversión y mantenimiento altamente elevados.

1.6.3 Biogás como solución ambiental

El biogás, producido por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, se define como la mezcla de metano (CH₄), en una proporción que oscila entre el 40 y 70%, y dióxido de carbono (CO₂), además de contener pequeñas cantidades de otros gases tales como nitrógeno, oxígeno o sulfuro de hidrógeno.

El proceso de funcionamiento del biogás, desde el inicio hasta el resultado final, sigue una serie de pasos básicos (Villasur, 2022):

1. La materia orgánica, como pueden ser excrementos de origen animal o desperdicios derivados de procesos industriales o agrícolas se recoge y almacena.
2. Se ingresa en una planta biodigestora que se encarga de realizar el proceso de descomposición en un entorno nulo en oxígeno.
3. El biogás se expulsa poco a poco por una serie de válvulas y tuberías.
4. La energía se transforma en electricidad, vapor, luz o calor al llegar a los generadores o motores.
5. Tras extraer todo el biogás, la materia resultante puede utilizarse como fertilizante natural con fines agrícolas.

1.6.3.1 Funcionamiento del biodigestor de biogás

El biodigestor funciona a través de un esquema y unas pautas establecidas, que permiten convertir la materia orgánica en energía limpia y renovable (Villasur, 2022):

1. Por debajo del nivel del suelo se sitúa la cámara de digestión.
2. La mezcla de materia prima más agua es introducida en dicha cámara.
3. Al empezar el proceso de descomposición, el biogás se va formando y, mediante una válvula colocada fuera del terreno, se puede regular su canalización por una tubería que conecta con un generador o un sistema de almacenamiento.
4. La salida de la materia prima se produce desde la cámara subterránea hasta el exterior, separando el biofertilizante.

1.6.3.2 Beneficios del biogás

De entre las ventajas de utilizar biogás podemos destacar su carácter de energía renovable e inagotable. Dependerá de la materia orgánica que se utilice como materia prima, pero mediante un correcto procedimiento:

- Genera poco contaminante y permite emplear la reutilización de residuos sólidos, con una revalorización de estos o impidiendo que de otra manera pudiesen llegar a ser perjudiciales para el medioambiente.
- Permite el autoconsumo en sitios rurales y en explotaciones ganaderas.
- El proceso da lugar a una materia que puede servir como un fertilizante ecológico al tratarse de manera correcta.
- Reduce la dependencia de energías perjudiciales y limitadas a la vez que reduce la contaminación de suelos y acuíferos, evitando el vertido o un inadecuado almacenamiento de los residuos.

Ante los problemas ocasionados por la mala gestión de residuos, el biogás se coloca como una de las mejores alternativas en la obtención de energía. Cuenta con diversas aplicaciones energéticas, en la Fig. 4 se muestra la equivalencia del biogás respecto a otras fuentes de energía.

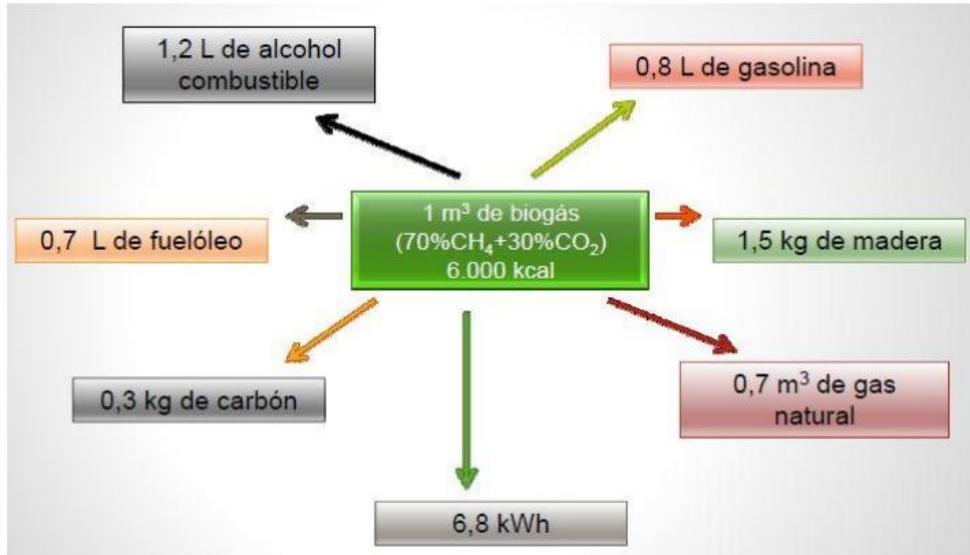


Figura 4. *Equivalencia energética del biogás respecto a otras fuentes de energía (Fuente: CIEMAT).*

Además del biogás, existen otros biocombustibles y otras tecnologías para obtenerlos que se describirán en el apartado 2. Análisis: Caso Estudio Tenerife.

1.6.4 Los biocombustibles en Canarias

El Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) se ha propuesto ser un referente internacional en el desarrollo de tecnologías para la sostenibilidad medioambiental y la eficiencia energética.

El ITC, en colaboración con la empresa canaria Atlantic Biofuels, comenzaron en noviembre del 2021 un nuevo proyecto llamado “Nave Biodiésel Canarias” que se utilizará como planta piloto y plataforma de ensayo en la búsqueda de optimizar el rendimiento y viabilidad económica para la producción de este biocombustible a partir de aceite vegetal de cocina.

La comunidad canaria depende de las exportaciones hacia la Península, por lo que esta apuesta significa una gran noticia para transformar un residuo en una fuente de energía (Consejería de Turismo, Industria y Comercio, 2021). Una de las grandes ventajas del biodiésel procedente del reciclado de aceites usados es la posibilidad de sustituir parcial o totalmente al diésel fósil, emitiendo hasta un 75% menos de gases de efecto invernadero.

En la Fig. 5 se muestra el proceso de generación de biodiésel a partir de la recolección de aceites vegetales usados.



Figura 5. Proceso de generación del biodiésel (Fuente: Atlantic Biofuels).

Asimismo, el ITC tiene en marcha otros proyectos de biocombustibles como pueden ser la incubación y valorización de algas, para la potabilización del agua marina o conseguir energía térmica de la radiación solar.

A esto hay que sumarle proyectos como BIOGREENFINERY (Hidrógeno verde para biorrefinería), donde se plantea un sistema de producción de hidrógeno alimentado con un sistema híbrido eólico-fotovoltaico, para su utilización en la síntesis de combustibles (Gobierno de Canarias, 2020).

En la Universidad de La Laguna el Grupo de Investigación del Departamento de Ingeniería Química “Catálisis Heterogénea” trabaja con dos proyectos dedicados al aprovechamiento energético de diferentes residuos como un camino hacia la implementación de una economía circular y un autoabastecimiento energético en Canarias, estos proyectos son: “ACLIEMAC – Adaptación al cambio climático de los sistemas energéticos de la Macaronesia” financiado por fondos FEDER (Programa INTERREG MAC 2014-2020 y “Economía circular en el aprovechamiento energético de residuos del sector primario agrícola y ganadero”, financiado por la Fundación CajaCanarias y Fundación Bancaria “La Caixa”. Este trabajo de Fin de Grado se enmarca dentro de estos dos proyectos.

1.6.4.1 Realidad de la biomasa en Canarias

La biomasa en Canarias no cuenta con un elevado protagonismo y no existen apenas instalaciones de aprovechamiento energético.

Las instalaciones de aprovechamiento de la biomasa en el archipiélago canario son reducidas, y en su mayoría no se han ejecutado por motivos energéticos sino por la obligación de la normativa ambiental de tratar los residuos antes de su vertido (Piernavieja, 2010).

Pero Canarias ya cuenta con el primer centro logístico para la generación de energía renovable a partir de restos forestales. Se encuentra en el municipio de Fasnia, Tenerife, y tiene como tarea prioritaria la colaboración para la protección de los montes y generar astilla forestal.

Es un caso de economía circular, pues la energía resultante es rentable para calentar el agua de diferentes recintos, como hoteles y hospitales, y, su vez, el beneficio revierte en la administración, que puede destinar el dinero para el personal encargado de cuidar y proteger los montes (Aldea, 2020).

1.6.4.2 Proyectos futuros en las islas

La compañía Cepsa invertirá 400 millones de euros en Canarias para liderar la movilidad eléctrica e impulsar la descarbonización de las islas, llegando a acuerdos con aerolíneas como Binter, Iberia o Air Nostrum para asegurar el abastecimiento de SAF (Sustainable Aviation Fuel), y la desinstalación de la refinería de Tenerife que se convertirán en zonas verdes.

El proyecto SEAFUEL, cuya instalación piloto se encuentra en el Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (ITER), llegó a Tenerife el pasado año, y trata de demostrar la viabilidad tecnológica, social y económica de la implantación de combustibles renovables para el transporte en regiones insulares o aisladas. Cuenta con un fondo de más de tres millones de euros cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional a través del Programa Espacio Atlántico, y la última fase del proyecto incluye la puesta en servicio de la estación y la producción de hidrógeno verde.

Este trabajo de Fin de Grado pretende contribuir en la línea de investigación de la valorización energética de residuos, la cual presenta una oportunidad para dar solución a dos problemas que se presentan en regiones como Canarias: la dependencia energética con el exterior y los problemas medioambientales que genera una inadecuada gestión de los residuos. Se centrará principalmente en el estudio en la isla de Tenerife, planteándose los objetivos que se detallan en el siguiente apartado.

1.7 Objetivos

El objetivo general de este Trabajo de Fin de Grado es la identificación, cuantificación y clasificación de los residuos orgánicos en Tenerife para su posible valorización energética, reduciendo así su vertido y aumentando la autonomía energética de la isla.

Se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Identificación de los residuos que se generan en Canarias.
- Estudio de las diferentes tecnologías de aprovechamiento energético existentes
- Cuantificación de diferentes residuos orgánicos en la isla de Tenerife.

- Calcular el potencial energético global de residuos seleccionados y analizar la aportación al autoabastecimiento energético de Tenerife.
- Realizar propuestas futuras para lograr un aumento del uso de energías renovables en Canarias.

2. ANÁLISIS: CASO ESTUDIO CANARIAS - TENERIFE

En este apartado se realizará la identificación de algunos de los residuos mayoritarios generados en Canarias, específicamente en la Isla de Tenerife y posteriormente se nombrarán y explicarán algunas de las tecnologías que pueden aplicarse para su aprovechamiento energético según sus características.

2.1 Identificación de los residuos en Canarias

Entendemos por residuo aquel material resultante de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza, que se destina al abandono (Gobierno de Canarias, 2016).

Según la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) los residuos son los productos de desechos sólidos, líquidos y gaseosos, generados en actividades de producción y consumo, que ya no poseen valor económico por la falta de tecnología adecuada que permita su aprovechamiento o por la inexistencia de un mercado para los posibles productos a recuperar.

2.1.1 Tipos de residuos

Cuando se trata de residuos sólidos, uno suele pensar inmediatamente en las basuras domésticas. Sin embargo, el origen y los tipos de residuos son muy variados, y para clasificarlos podemos aplicar diferentes criterios basados en sus características, los materiales que los componen, en los tratamientos a los que se les puede someter o en su procedencia, esta última es la clasificación más utilizada (Gobierno de Canarias, 2016).

- **Residuos Sólidos Urbanos (RSU).** Originados en las ciudades y áreas próximas, incluyen los residuos domiciliarios, los generados en vías urbanas, zonas verdes y recreativas, los de construcción (demoliciones y obras domiciliarias), muebles, enseres, animales domésticos, al igual que vehículos abandonados.

Su composición es muy heterogénea, pues están constituidos por materiales muy diversos que son agrupados según su naturaleza en:

- Inertes (vidrio, escoria, etc.).
- Fermentables (materia orgánica procedente de restos de alimentos).
- Combustibles (papel, cartón, plásticos).
- Voluminosos (muebles, lámparas, etc.).
- Electrodomésticos (frigoríficos, radios, televisores), así como teléfonos móviles, baterías, neumáticos, pilas, aceites.

A continuación, se muestra la caracterización de los RSU en Canarias (Fig. 6).

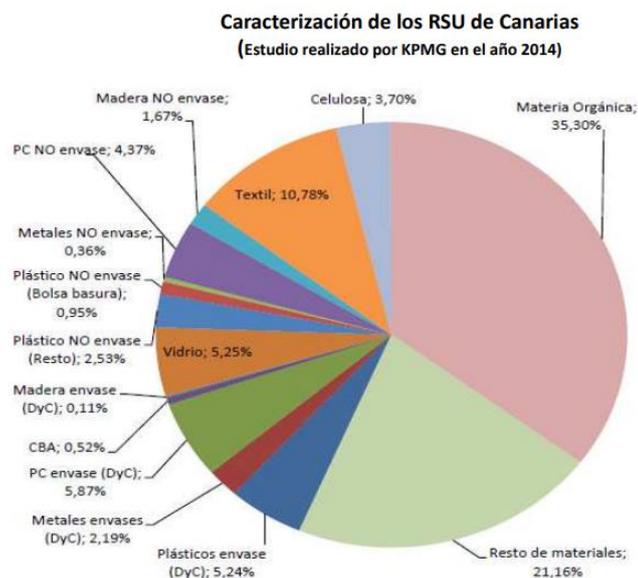


Figura 6. Gráfico de composición de los RSU (Fuente: KPMG, 2014).

- **Residuos Industriales.** Son aquellos generados en actividades industriales, muy variados en función del tipo de industrial que los genera, pero suelen compartir la característica de ser potencialmente peligrosos.
- **Residuos Mineros y Radioactivos.** Los primeros, generados en actividades mineras procedentes de las etapas de prospección, extracción y almacenamiento,

pudiendo ser sólidos o líquidos. Los radioactivos, provenientes de centrales nucleares y en instalaciones donde se utilizan materiales radioactivos (plantas de Uranio).

- **Residuos Sanitarios o Clínicos.** Están originados en hospitales, clínicas, centros de salud, que pueden entrañar una extrema peligrosidad.
- **Residuos Agropecuarios y Forestales.** Pueden ser agrícolas o ganaderos, o bien del mantenimiento y mejora de las masas forestales, podas, limpiezas, tala de árboles, etc.

Este estudio se centra únicamente en algunos de los residuos orgánicos presentes en Canarias, específicamente en Tenerife, tales como: Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos, Residuos Agrícolas y Forestales.

2.1.2 Residuos específicos para la isla de Tenerife

En este apartado nombraremos los residuos seleccionados que serán posteriormente cuantificados, estos son los más representativos, o los que consideramos más importantes para su estudio.

Comenzaremos con los residuos sólidos urbanos (RSU), y más concretamente los residuos domésticos, los cuáles, según un estudio de la comisión de seguimiento de la Gestión de Residuos de la Isla de Tenerife, han aumentado en un 8,91% respecto al año 2021. Con un aumento total de residuos en el Complejo Ambiental de Tenerife de hasta un 9,6% más que en el año 2021.

Posteriormente, los residuos forestales, centrándonos en la pinocha de pino canario y los procedentes de las podas, clareos y cortas sanitarias, pues suponen una importante cantidad de este tipo de residuo.

Finalmente, los residuos agrícolas, como pueden ser los obtenidos a partir del plátano, la viña, la papa, el tomate y la horticultura intensiva (todos los cultivos de hortalizas tanto al aire libre como en invernaderos).

2.1.2.1 Residuo cero del plátano

Residuo cero corresponde a la expresión inglesa “zero waste”, dada por la Alianza Internacional Zero Waste (ZWIA) y remite a los principios que aspiran a reutilizar los productos para que no vuelvan a la naturaleza en forma de residuos o basura. Exige incluir en su composición la mayor cantidad posible de materiales biodegradables que no dañen el planeta.

Ahora, si bien se puede hablar de que el plátano canario, con el sello de Indicación Geográfica Protegida (IGP) que avala su calidad, dado por los estándares de control de la Unión Europea, es de los alimentos con menor huella de CO₂ del mundo, no se puede afirmar de manera inequívoca que se trate de un residuo cero.

La planta de plátano es un recurso natural que no es explotado eficientemente por el cultivador, ya que una vez que produce el racimo, la planta es cortada quedando como abono para la cosecha, al igual que su cáscara considerada como desecho (Halo - Velastegui et al., 2017).

Dicho residuo se destina a la elaboración de alimento para el ganado, como materia prima para la elaboración de harina o muchas veces es considerado material de desecho sin ningún uso. Sin embargo, las cáscaras de plátano poseen un gran potencial como fuente para la obtención de pectina, un subproducto vegetal de gran importancia económica para la industria alimentaria, y al utilizarlas se pueden disminuir los problemas por la contaminación ambiental que ocasionan los residuos agroindustriales en el procesamiento del plátano (Ramos et al., 2016).

Por ser el cultivo de plátano uno de los principales en las Islas Canarias, los residuos de las plataneras son uno de los escogidos para el estudio.

2.2 Procesos y tecnologías aplicadas a los residuos

A continuación, se describen los diferentes procesos y tecnologías que existen para el aprovechamiento energético de residuos.

2.2.1 Procesos termoquímicos

Basados en someter a los residuos a la acción de elevadas temperaturas, en estos procesos ocurren reacciones irreversibles, donde se obtienen diferentes productos finales e intermedios dependiendo de cada proceso de conversión.

Realizando una revisión de las ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías de conversión termoquímica con posibilidades reales de aplicación a escala industrial, podemos dividir las en cuatro categorías: combustión, pirólisis, gasificación y licuefacción (Corona et al., 2018).

- Combustión: es la oxidación completa de la biomasa por el oxígeno del aire al aplicar temperaturas en torno a 800-1000 °C, liberando agua, gas carbónico, cenizas y calor. Utilizando este último para el calentamiento doméstico o industrial, o para la producción de electricidad. Considerando una eficacia global de los productos finales aproximadamente del 30%, no se posiciona como un proceso de conversión adecuado (Grupo BioElectricidad Industrial, 2016).
- Gasificación: somete a los residuos sólidos a altas temperaturas, generalmente sobre los 600 °C, en un ambiente casi sin oxígeno. Los niveles de oxígeno se mantienen bajos para prevenir una combustión inmediata, en cambio, la parte a base de carbono de los residuos sólidos se descompone en gas de síntesis (syngas) y un remanente sólido conocido como escoria o ceniza. Este syngas puede ser utilizado más adelante como materia prima en procesos químicos en calderas o turbinas de gas (Tangri y Wilson, 2017).
- Pirólisis: propuesta similar a la gasificación, aplica calor sin añadir oxígeno con el fin de generar combustibles y/o syngas, al igual que residuos sólidos residuales (residuo carbonoso), y requiere de un flujo de residuos más homogéneo (Tangri y Wilson, 2017).

- Licuefacción: con el objetivo de mejorar los rendimientos en combustibles líquidos, los procesos denominados de licuefacción son variantes de la pirólisis en el aspecto que no utilizan oxígeno como comburente, pero se llevan a cabo con un gas reductor (como puede ser monóxido de carbono, hidrógeno o gas de síntesis), en presencia de catalizadores en solución acuosa a alta presión (100-300 atmósferas) y temperaturas entre 300 y 500 °C (Jarabo et al., 1983).

2.2.2 Procesos biológicos o bioquímicos

- Fermentación alcohólica: denominada también como fermentación del etanol o fermentación etílica, es un proceso anaeróbico realizado por las levaduras, mohos y algunas clases de bacterias, que producen cambios químicos en las sustancias orgánicas. La fermentación alcohólica tiene como finalidad biológica proporcionar energía anaeróbica a los microorganismos unicelulares (levaduras) en ausencia de oxígeno para ello disociar las moléculas de glucosa y obtener la energía necesaria para sobrevivir, produciendo el alcohol y CO₂ como desechos de la fermentación (Vázquez, 2007).

Aunque, en la actualidad, se empieza a sintetizar también el etanol mediante la fermentación a nivel industrial a gran escala para ser empleado como biocombustible.

- Digestión anaerobia: es un proceso en el que la materia orgánica es degradada por la acción de microorganismos en ausencia de oxígeno, originando una mezcla, fundamentalmente, de metano y dióxido de carbono (biogás) y una suspensión acuosa de materiales sólidos degradados junto con nitrógeno, fósforo y otros elementos minerales inicialmente presentes en la biomasa (Palau, 2016).

La elección del proceso o tecnología aplicada para la valorización energética se basa según las características del residuo que se quiere valorizar y del producto final que se quiere obtener.

2.3 Poder potencial energético de los residuos

Como se ha mencionado la selección de una u otra tecnología depende de las características y propiedades de la biomasa, es decir, humedad, valor calorífico, etc. En general, para fuentes de biomasa con más del 50% de humedad, lo indicado sería utilizar procesos de bioconversión, como es el caso de la digestión anaerobia. De lo contrario, los procesos termoquímicos como la combustión de biomasa son una mejor alternativa. En este trabajo realizaremos un estudio del potencial global posible que se pueda alcanzar para cualquier tipo de residuo.

Para calcular la disponibilidad del potencial teórico (PT), potencial energético (PE) y el poder potencial energético (PPE) de los residuos, en este caso en Tenerife, se ha de calcular en primer lugar el PT de cada tipo de residuo, tal y como se muestra en la Ec. 1 (Rhofita et al., 2022):

$$PT = RRP \cdot H \cdot P \cdot (1 - MC) \quad [\text{Ec. 1}]$$

donde:

RRP – Relación residuo producción

H – Superficie agrícola cultivada (hectáreas)

P – Productividad del cultivo (t/ha)

MC – Porcentaje de humedad (%)

En segundo lugar, se determina el PE considerando los poderes caloríficos inferiores (PCI), de acuerdo con la Ec. 2:

$$PE = PT \cdot PCI \quad [\text{Ec. 2}]$$

El PPE de cada uno de los residuos puede evaluarse según la Ec. 3:

$$PPE = \frac{PE \cdot n}{3600 \cdot t} \quad [\text{Ec. 3}]$$

donde:

n – Rendimiento

t – Tiempo de funcionamiento (h/año)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Cuantificación de los residuos

3.1.1 Residuos Agrícolas

En el presente estudio, se hará una cuantificación de los restos agrícolas en Canarias, seguidamente nos centraremos en la isla de Tenerife.

Destacaremos aquellos cuyo volumen de producción y generación de residuos supongan viabilidad económica, así como su recogida. En la Tabla 1 se presentan las principales producciones agrarias de Canarias para el año 2021.

Tabla 1. *Principales producciones agrarias de Canarias en 2021 (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).*

Tipo de cultivo	Producción (t)
Cereales	1.966
Papa (extra temprana)	28.696
Papa (temprana)	46.958
Papa (media estación)	4.116
Papa (tardía)	11.593
Papa (total)	91.363
Batata y boniato	3.162
Caña de azúcar	662
Flores y plantas ornamentales	3.679
Cultivos forrajeros	19.175
Hortalizas	253.026
Lechuga	34.956
Sandía	12.094
Calabaza	15.253
Pepino	17.667
Berenjena	4.103
Tomate	53.756
Pimiento	15.618
Cítricos	16.119
Plátano	409.106
Palmera datilera	9,7
Viñedo	13.561

Observando la diferencia que tienen el plátano, la viña, el tomate, la papa con respecto al resto de cultivos agrícolas, queda claro que éstos son los cultivos mayormente producidos en Canarias.

A continuación, se mostrarán a lo largo de los años, la producción y hectáreas cultivadas de estos, así como los residuos que se generan en la isla de Tenerife.

3.1.1.1 El plátano

En la Tabla 2 se presenta la cuantificación referente de los residuos producidos de las plataneras generados en Tenerife.

Tabla 2. *Producción, hectáreas cultivadas y residuos totales generados del plátano en Tenerife (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).*

Año	Producción (t/año)	Hectáreas	Plátano de desecho (t/año)	Plátano de destrío (t/año)	Rolo de platanera (t/año)	Residuos Totales (t/año)
2010	174.742	5.486	26.111	23.269	174.742	224.122
2011	145.115	5.505	21.684	19.324	145.115	186.123
2012	157.887	5.530	23.592	21.024	157.887	202.503
2013	150.536	5.592	22.494	20.046	150.536	193.076
2014	151.758	5.596	22.676	20.208	151.758	194.642
2015	170.375	5.544	25.458	22.687	170.375	218.520
2016	178.088	5.541	26.611	23.714	178.088	228.413
2017	180.180	5.539	26.923	23.993	180.180	231.096
2018	159.815	5.542	23.880	21.281	159.815	204.976
2019	167.775	5.519	25.070	22.341	167.775	215.186
2020	182.533	5.519	27.275	24.306	182.533	234.114

Se observa que las hectáreas de cultivo se mantienen constantes con el tiempo, y los residuos totales no varían significativamente, salvo en los años 2016, 2017 y 2020 donde se alcanzaron valores más elevados; también destacar que los residuos que se generan son muy abundantes en comparación con lo producido, esto es debido a que el rolo, la planta de la platanera, es el mayor productor de residuos (Fig. 7), pero actualmente se está empleando como abono en las propias fincas.

En la Fig. 7, se muestra de forma gráfica la evolución de la producción de los residuos generados en la platanera en la isla de Tenerife para el período 2010-2020.

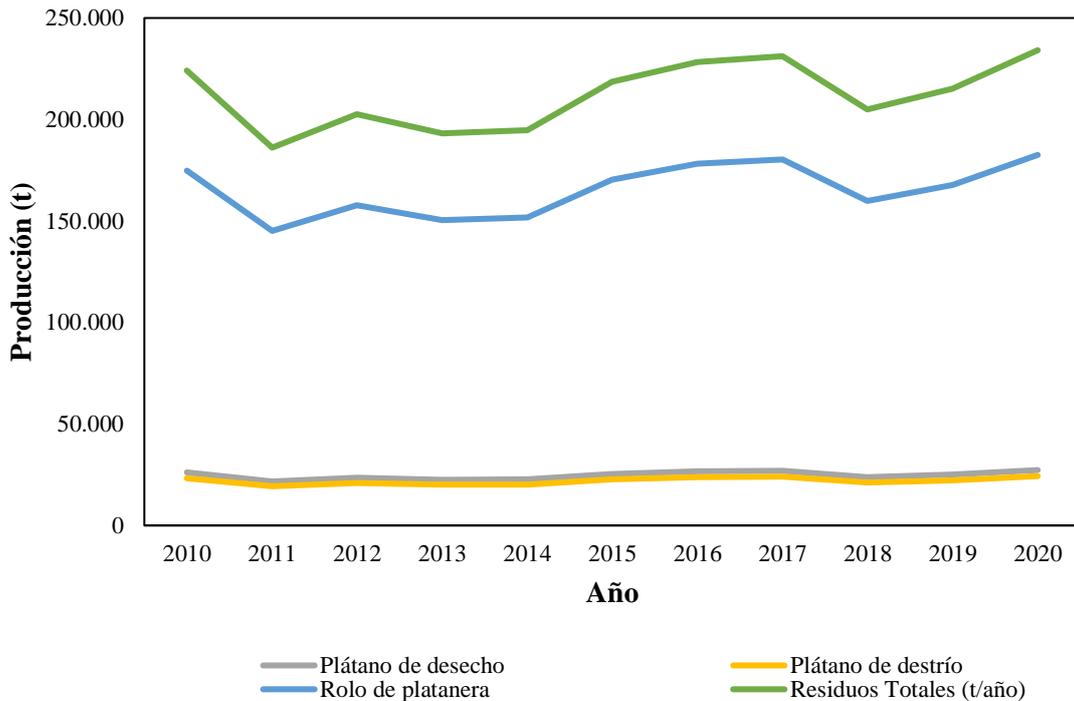


Figura 7. *Evolución de la producción de los residuos generados del plátano en Tenerife entre 2010 y 2020.*

Se observa que los residuos de desecho y destrío generados en la producción de plátano se han mantenido estables en los últimos 10 años en un valor promedio de 24.707 t y 22.018 t respectivamente.

3.1.1.2 La viña

En esta sección la Tabla 3 hace referencia a la cuantificación de los residuos producidos de la viña.

Tabla 3. *Producción, hectáreas cultivadas y residuos totales generados de la viña en Tenerife (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).*

Año	Producción (t/año)	Hectáreas	Residuos prensado (t/año)	Residuos poda (t/año)	Residuos Totales (t/año)
2010	7.963	4.756	3.519	15.166	18.685
2011	7.603	4.739	3.360	15.094	18.454
2012	11.979	4.740	5.294	15.330	20.624
2013	14.576	4.722	6.441	15.413	21.855
2014	13.152	4.717	5.812	15.322	21.134
2015	11.077	4.687	4.895	15.119	20.014
2016	6.504	3.122	2.874	10.022	12.897
2017	8.878	3.020	3.923	9.835	13.758
2018	8.602	3.008	3.801	9.783	13.584
2019	6.766	2.977	2.990	9.588	12.578
2020	8.495	2.977	3.754	9.680	13.434

Podemos observar una mayor fluctuación de la producción de este cultivo en los últimos 10 años en comparación con el plátano, por otro lado en este caso también queda claro que la poda de la viña es la mayor generadora de residuos para este cultivo, superando al igual que el plátano la cantidad de residuos generados respecto a la cantidad de viña producida.

En la Fig. 8, se muestra de forma gráfica la evolución de la producción de los residuos generados de la viña en la isla de Tenerife para el período 2010-2020.

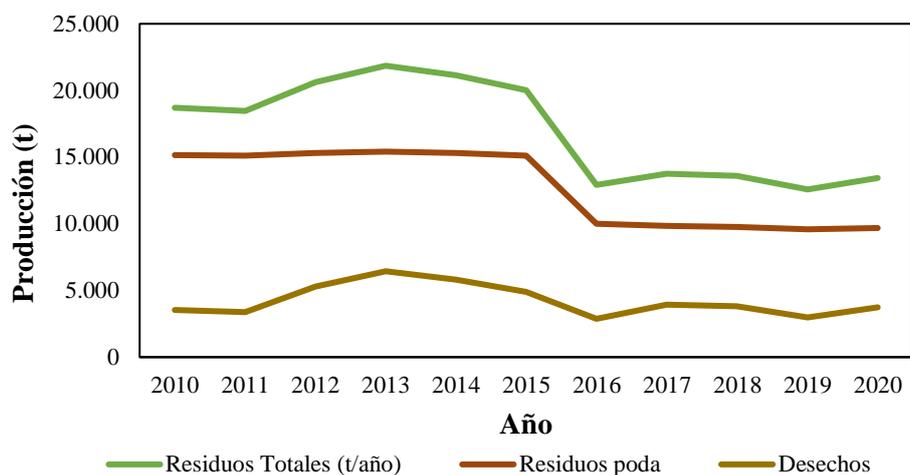


Figura 8. Evolución de la producción de los residuos generados de la viña en Tenerife entre 2010 y 2020.

En la Fig. 8 se observa de forma general una disminución de los residuos generados en el viñedo, lo que concuerda con la disminución en la cantidad producida de viña.

3.1.1.3 El tomate

En esta sección se presenta en la Tabla 4 la cuantificación referente a los residuos producidos del tomate.

Tabla 4. Producción, hectáreas cultivadas y residuos totales generados del tomate en Tenerife (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).

Año	Producción (t/año)	Hectáreas	Tomate de desecho (t/año)	Residuos poda (t/año)	Residuos Totales (t/año)
2010	38.783	556	7.941	21.398	29.339
2011	40.341	460	8.260	17.719	25.977
2012	38.511	405	7.885	15.588	23.473
2013	40.109	354	8.212	13.631	21.844
2014	30.900	330	6.327	12.703	19.030
2015	23.724	288	4.858	11.094	15.951
2016	17.050	234	3.491	9.018	12.509

2017	18.711	243	3.831	3.665	13.196
2018	16.934	235	3.467	9.061	12.528
2019	18.107	187	3.708	7.182	10.889
2020	13.420	187	2.748	7.182	9.930

El cultivo del tomate está disminuyendo, pues se observa como su producción y las hectáreas cultivadas disminuyen con el paso de los años, haciendo que los residuos totales decrezcan.

En la Fig. 9, se muestra de forma gráfica la evolución de la producción de los residuos generados del tomate en la isla de Tenerife para el período 2010-2020.

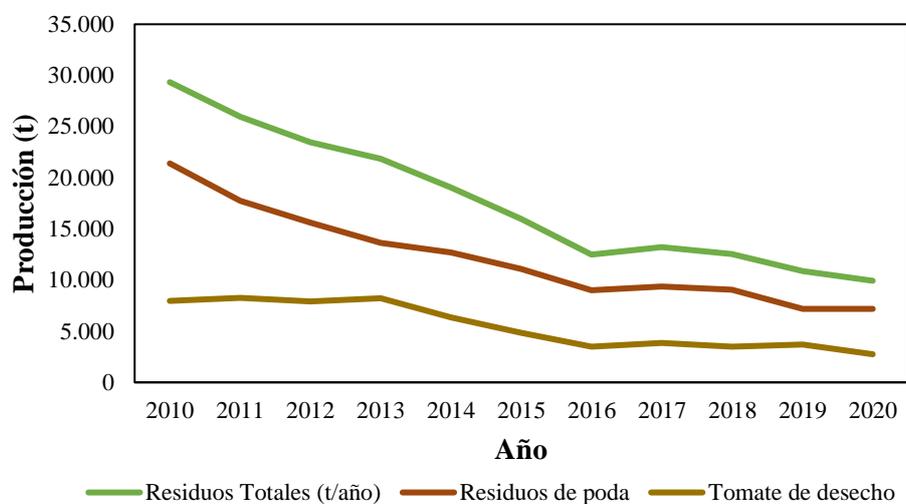


Figura 9. *Evolución de la producción de los residuos generados del tomate en Tenerife entre 2010 y 2020.*

Debido al complejo mantenimiento del cultivo del tomate y la necesidad de mantenerlo en el exterior, se observa que tanto la producción del tomate, y por consecuencia, sus residuos disminuyen progresivamente a medida que pasan los años.

3.1.1.4 La papa

Esta sección hace referencia en la Tabla 5 a la cuantificación de los residuos y la producción del cultivo de la papa.

Tabla 5. *Producción, hectáreas cultivadas y residuos totales generados de la papa en Tenerife (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).*

Año	Producción (t/año)	Hectáreas	Residuos Totales (t/año)
2010	27.118	6.806	12.112
2011	41.637	7.120	18.597
2012	26.006	7.341	11.615
2013	47.962	8.134	21.422
2014	50.250	8.385	22.443
2015	49.264	8.606	22.003
2016	50.559	8.355	22.581
2017	35.485	8.017	15.849
2018	47.071	7.759	21.024
2019	46.693	7.056	20.855
2020	43.104	7.056	19.252

A diferencia del tomate, el cultivo de papa si está en aumento con respecto a los primeros años. Los años de mayor producción, y en consecuencia que mayor cantidad de residuos generan, fueron del 2013 al 2016.

En la Fig. 10, se mostrará de forma gráfica la evolución de la producción de los residuos generados de la papa en la isla de Tenerife para el período 2010-2020.

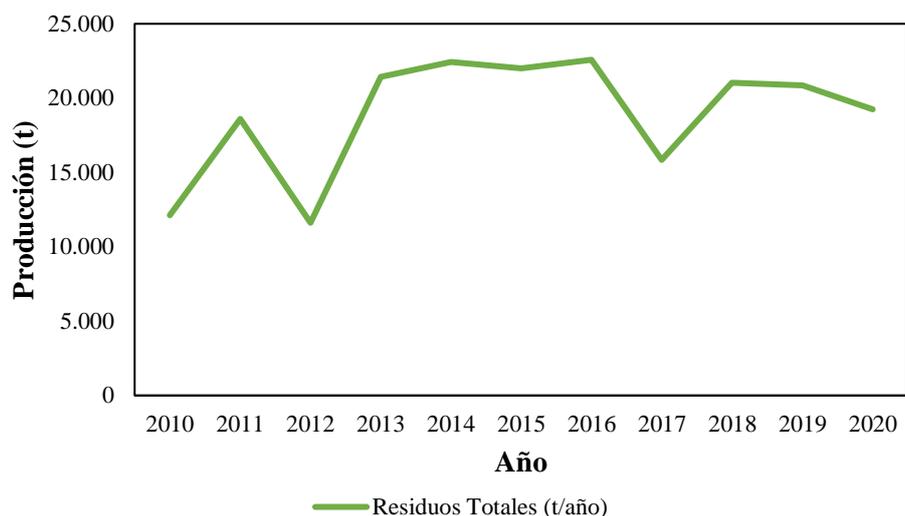


Figura 10. Evolución de la producción de los residuos generados de la papa en Tenerife entre 2010 y 2020.

3.1.1.5 Las hortalizas

Finalmente, en esta sección en la Tabla 6 se presenta la cuantificación referente de los residuos producidos de la hortaliza.

Tabla 6. Producción, hectáreas cultivadas y residuos totales generados de la hortaliza en Tenerife (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).

Año	Producción (t/año)	Hectáreas	Residuos Totales (t/año)
2009	93.992	2.047	85.113
2010	79.547	2.045	81.398
2011	82.201	1.994	80.555
2012	76.113	1.968	78.243
2013	85.210	1.955	80.126
2014	83.157	2.102	84.027
2015	82.857	2.182	86.343
2016	83.243	2.270	89.098
2017	88.054	2.310	91.496
2018	108.513	3.111	120.683
2019	99.954	2.887	111.819

La horticultura muestra un patrón más estable, pero también experimentó un crecimiento de las hectáreas cultivadas a partir del año 2014. En cuanto a los residuos totales generados, en los años 2018 y 2019 alcanzaron sus máximos. Debido a la gran variedad de cultivos que produce la horticultura habría que estudiar un posible método para su aprovechamiento energético que tenga en cuenta las variaciones de poderes caloríficos y humedad de cada uno de ellos.

En la Fig. 11, se muestra gráficamente la evolución de la producción de los residuos generados de la horticultura en la isla de Tenerife para el período 2009-2019.

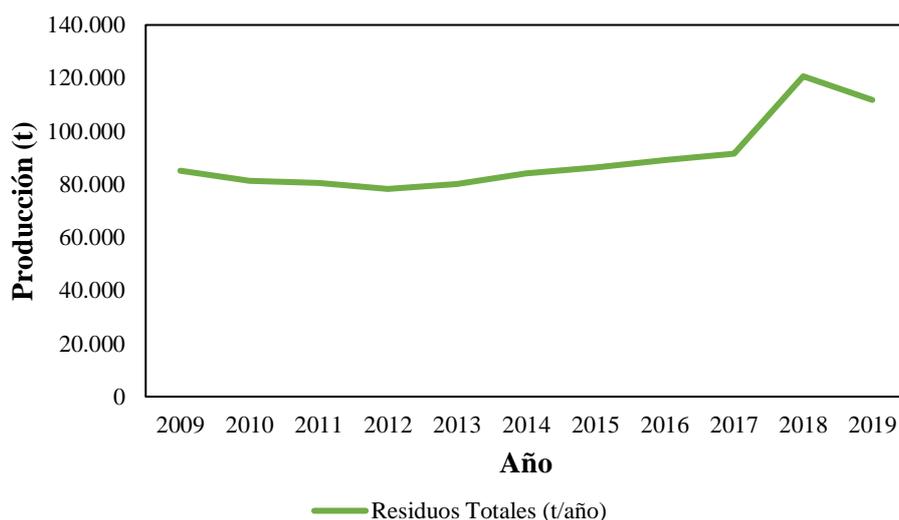


Figura 11. *Evolución de la producción de los residuos generados de las hortalizas en Tenerife entre 2009 y 2019.*

3.1.1.6 Comparación general de los tipos de residuos agrícolas

Se ha tomado este rango de años del 2009 al 2019 para conseguir, en la medida de lo posible, un rango de valores que pueda ser representativo.

En la Fig. 12 se presenta una comparación de la producción de los diferentes cultivos agrícolas en Tenerife, se puede observar que el de mayor producción es el de plátano y que el sector hortícola está en aumento, pues cultivos como pueden ser el caso de la lechuga, la calabaza, el pimiento, el pepino, y los cítricos podrían tener importancia para su aprovechamiento en un futuro por su elevada producción.

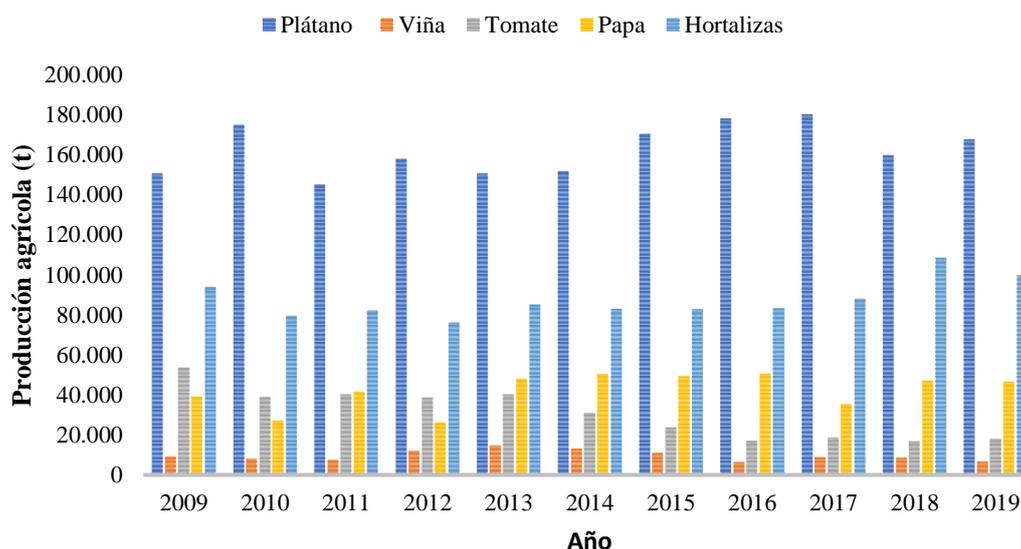


Figura 12. Producción de cultivos agrícolas en Tenerife entre 2009 y 2019 (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).

En la Fig. 13 se muestra la variación de los residuos totales generados en los cultivos agrícolas en Tenerife desde el año 2009 hasta el 2019.

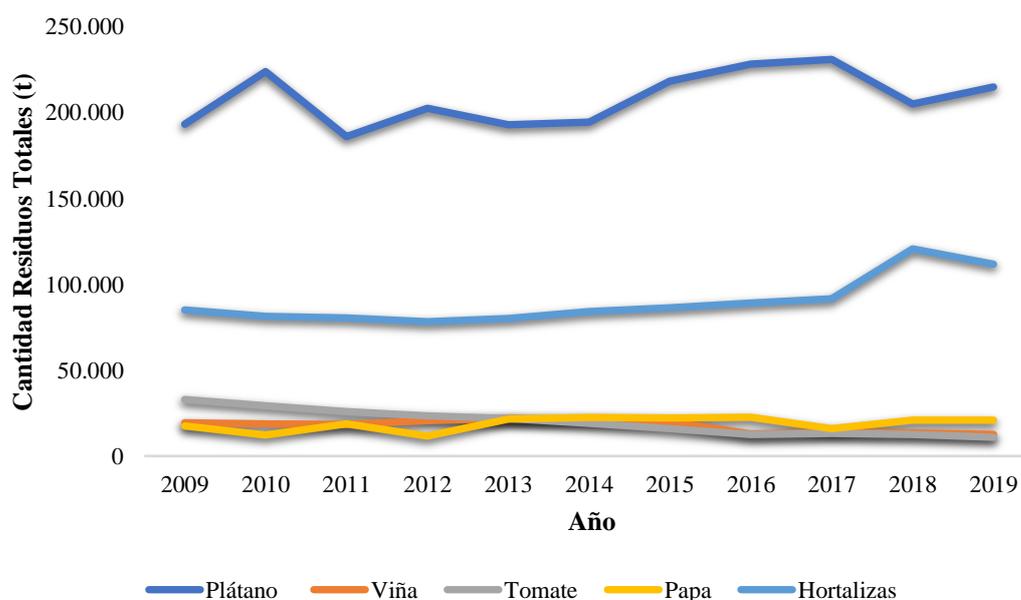


Figura 13. Residuos totales de cultivos agrícolas en Tenerife entre 2009 y 2019 (Fuente: Instituto Canario de Estadística (ISTAC) y Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca).

Como se observa en la Fig. 13, el cultivo de platanera constituye el principal generador de residuos, pues también es el de mayor producción (Fig. 12). Seguido del cultivo de hortalizas, donde destacan mayoritariamente el tomate, el pepino y la lechuga. Y finalmente, se encuentran los cultivos de la papa y el viñedo, con valores notablemente inferiores a los nombrados con anterioridad.

3.1.2 Residuos Sólidos Urbanos

Los residuos generados en Canarias se pueden dividir en residuos mezclados, aquellos residuos domésticos generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, vías públicas y enseres domésticos (Instituto Canario de Estadística, 2019), y residuos selectivos, todos aquellos que su recogida se realiza de forma separada, como es el caso de los residuos sanitarios, metálicos, vidrio, papel y cartón, plásticos, etc.

En Canarias ya existe la recogida selectiva de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), esta parte de los RSU hace referencia a la constituida por residuos de origen orgánico, como son los restos de alimentos y de cocina, el estiércol, poda de árboles, barrido de calles, ramas, etc.

En el Complejo Ambiental de Tenerife, con excepción del papel y el vidrio que siguen otro camino específico para su reciclado, los residuos tanto mezclados como selectivos llegan allí para su correspondiente gestión. En la Planta de Clasificación de envases se separan dependiendo del material del que estén hechos. Una vez clasificados, se prensan y se envían a las plantas de reciclaje.

El resto, si el proceso se ha llevado a cabo de manera correcta, debería estar formado únicamente por materia orgánica y algunos residuos que no fueron depositados en contenedores de recogida selectiva debido a su composición, entran en la Planta de Clasificación “todo-uno”, donde son separados de forma mecánica y manual (Cabildo de Tenerife, 2022).

El porcentaje de reutilización de estos materiales es bajo, pues tienen una baja calidad al estar mezclados con materia orgánica. La materia orgánica separada se envía a la Planta de Bioestabilización, ubicada dentro del complejo, y se elabora un subproducto empleado en jardinería. Los llamados rechazos, parte que no se puede reciclar, se depositan en celdas especializadas de vertido (Cabildo de Tenerife, 2022).

En la Tabla 7 se muestra la población generadora en la isla de Tenerife, pues más adelante se utilizará para conseguir los residuos generados y el porcentaje de fracción orgánica en dicha isla.

Tabla 7. *Población generadora de residuos en Canarias por isla (Fuente: Instituto Nacional de Estadística).*

Año	LANZAROTE	FUERTEVENTURA	GRAN CANARIA	TENERIFE	LA GOMERA	LA PALMA	EL HIERRO
2010	141.437	103.492	845.676	906.854	22.776	87.324	10.960
2011	142.517	104.072	850.391	908.555	23.076	87.163	10.995
2012	142.132	106.456	852.225	898.680	22.350	85.468	11.033
2013	141.953	109.174	852.723	897.582	21.153	85.115	10.979
2014	141.940	106.930	851.157	889.936	20.721	83.456	10.675
2015	143.209	107.367	847.830	888.184	20.783	82.346	10.587
2016	145.084	107.521	845.195	891.111	20.940	81.486	10.587
2017	147.023	110.299	843.158	894.636	20.976	81.350	10.679
2018	149.183	113.275	846.717	904.713	21.136	81.863	10.798
2019	152.289	116.886	851.231	917.841	21.503	82.671	10.968
2020	155.812	119.732	855.521	928.604	21.678	83.458	11.147

Cabe destacar que la isla de Tenerife constituye la mayor población generadora de residuos, seguida de Gran Canaria, segunda isla más poblada de Canarias. Y, por otro lado, la Tabla 8 recaba los datos de los residuos generados y el FORSU en Canarias.

Tabla 8. Residuos generados, población generadora y porcentaje de fracción orgánica en Canarias (Fuente: Instituto Nacional de Estadística).

Año	Residuos Generados (t/año)	Población Generadora	Cantidad por persona de residuos (t/hab·año)	%FORSU	FORSU Generado (t/año)
2010	1.439.982	2.118.519	0,6797	28,43%	409.386,9
2011	1.388.895	2.126.769	0,6531	28,43%	394.862,8
2012	1.310.231	2.118.344	0,6185	27,36%	358.422,2
2013	1.204.821	2.118.679	0,5687	29,93%	360.557,8
2014	1.259.718	2.104.815	0,5985	28,62%	360.556,4
2015	1.264.095	2.100.306	0,6019	28,48%	360.064,3
2016	1.245.102	2.101.924	0,5924	28,86%	359.297,9
2017	1.295.469	2.108.121	0,6145	27,64%	358.015,4
2018	1.331.187	2.127.685	0,6257	26,75%	356.109,6
2019	1.315.537	2.153.389	0,6109	26,90%	353.879,3
2020	1.302.485	2.175.952	0,5986	26,90%	350.368,6

Progresivamente el FORSU generado ha ido disminuyendo, pese a que la población generadora ha ido aumentando, esto indica que los ciudadanos se están concienciando de la problemática de los residuos que se generan. En la Tabla 9 se muestra el FORSU generado en Tenerife.

Tabla 9. *Residuos generados, población generadora y porcentaje de fracción orgánica en la isla de Tenerife (Fuente: Instituto Nacional de Estadística).*

Año	Residuos Generados (t/año)	Población Generadora	Cantidad por persona de residuos (t/hab·año)	FORSU Generados (t/año)
2010	555.978	906.854	0,6131	146.222
2011	536.253	908.555	0,5902	141.035
2012	505.881	898.680	0,5629	133.047
2013	465.182	897.582	0,5183	122.343
2014	486.378	889.936	0,5465	127.917
2015	488.068	888.184	0,5495	128.362
2016	480.734	891.111	0,5395	126.433
2017	500.181	894.636	0,5591	131.548
2018	513.972	904.713	0,5681	135.175
2019	507.929	917.841	0,5534	133.585
2020	502.890	928.604	0,5416	132.260

Observamos en esta tabla los valores constantes tanto de la cantidad de residuos generados como el porcentaje FORSU, pese al aumento de la población.

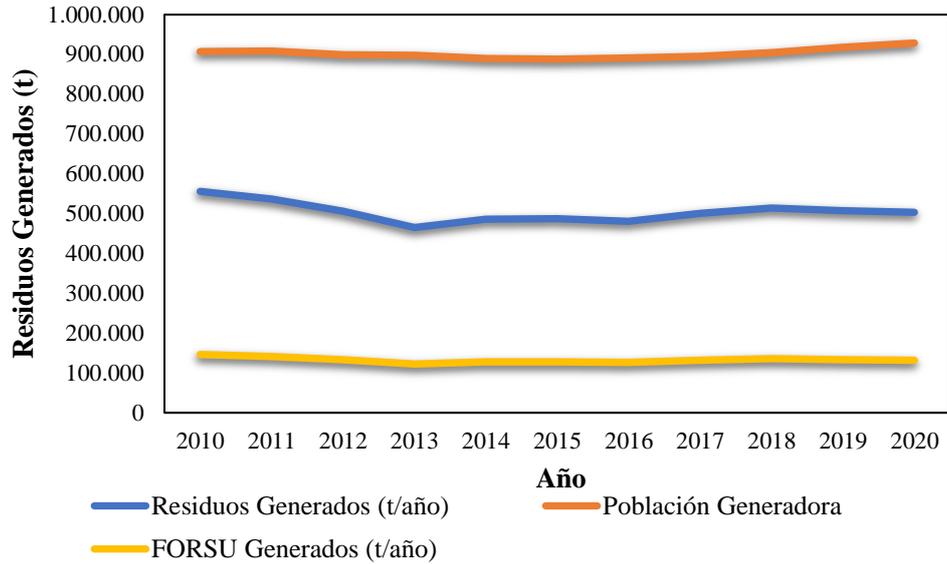


Figura 14. *Residuos sólidos urbanos generados en la isla de Tenerife entre 2010 y 2020 (Fuente: Instituto Nacional de Estadística).*

Si observamos las diferentes tablas mostradas, y la Fig. 14, la población generadora de estos residuos está en aumento, por lo que también conlleva el aumento en los residuos totales aunque no está siendo así, andan reduciendo muy lentamente, debido a la buena gestión de los residuos y en el reciclaje de estos.

3.1.3 Residuos Forestales

Se considera residuos forestales a la fracción biodegradable proveniente de la selvicultura aplicada a la vegetación que cubre los terrenos forestales.

La clasificación de las masas forestales se basará en los mapas de vegetación actualizados según los tratamientos forestales efectuados que corresponden a cada isla, centrándonos en Tenerife.

Sin embargo, en este tipo de residuos se pueden encontrar lagunas en cuanto a su análisis, por lo que debemos hacer uso de estimaciones.

Los tipos de masa considerados serán los equivalentes a claras en pinar canario de repoblación, cortas de radiata y otra arbolada, cortas en monteverde, desbroces y podas, y la extracción de pinocha.

Seguidamente, en la Fig. 15, se puede observar la distribución de las concentraciones de pinares en la isla de Tenerife, mayoritariamente situados en sus zonas altas.

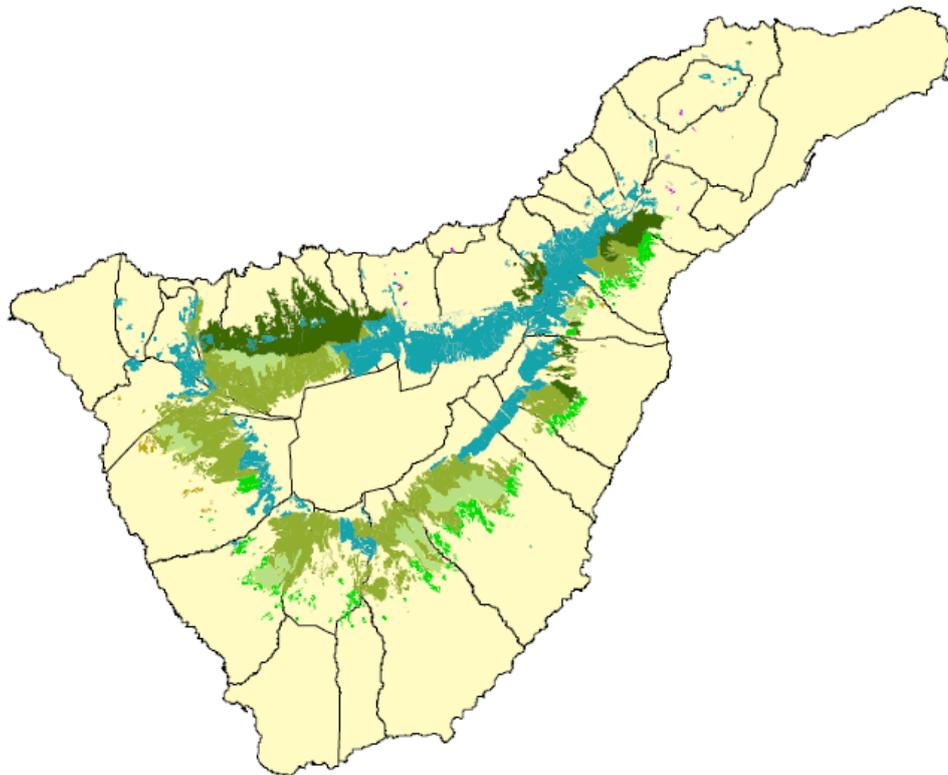


Figura 15. *Distribución de los pinares en Tenerife. Basado en el mapa de vegetación actualizado por el Cabildo de Tenerife.*

3.1.3.1 Claras en pinar canario de repoblación

Los productos que pueden obtenerse hacen referencia a madera y restos, englobando leñas y astillas, al igual que biomasa.

Los resultados que se muestran a continuación (Tabla 10) se han obtenido a partir del Plan de Gestión de los pinares de repoblación elaborado por el Cabildo de Tenerife 2011.

Tabla 10. Superficie y producto de las claras en pinar canario (Fuente: Plan de Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Forestales en Canarias).

	PC-I	PC-II	PC-III	TOTAL
Superficie total (ha)	1.759	5.483	2.741	9.983
Superficie Útil Total (ha)	827	1.737	322	2.886
Superficie Útil Dificultad Baja (ha)	234	737	122	1.093
Superficie Útil Dificultad Media (ha)	314	627	200	1.141
Superficie Útil Dificultad Alta (ha)	278	373	0	651
CLARA				
Vcc fustes extraídos (m3/ha)	179	118	65	
MADERA + RESTOS				
Vcc madera (m3/ha)	118	71	28	
Restos (t/ha)	84	63	46	
BIOMASA				
Biomasa total (t/ha)	196	130	72	

En la Tabla 10 las siglas “Vcc” equivalen al volumen con corteza por hectárea y “PC” aclarados en tres etapas. Esta tabla engloba las cantidades de residuo que se pueden obtener por hectárea y por etapa de aclarado.

En la Tabla 11 y 12 se muestran las claras de pinar canario para la obtención, por un lado, de madera y restos, y por otro la obtención de biomasa total, tomando en consideración los valores de la Tabla 10.

Tabla 11. Claras totales de pino canario para la obtención de madera y restos.

CLARAS PARA LA OBTENCIÓN DE MADERA Y RESTOS			
Dificultad de ejecución	Superficie (ha)	Madera (m3)	Restos (t)
<i>Claras en PC I</i>			
Baja	234	27.690	19.711
Media	314	37.144	26.441
Alta	278	32.907	23.425
Total	826	97.741	69.577
<i>Claras en PC II</i>			
Baja	737	52.166	46.420
Media	627	44.410	39.519
Alta	373	26.423	23.513
Total	1.737	122.999	109.452
<i>Claras en PC III</i>			
Baja	122	3.346	5.579
Media	200	5.517	9.197
Total	322	8.863	14.776
TOTAL	2.885	229.603	193.805

Tabla 12. Claras totales de pino canario para la obtención de biomasa.

CLARAS PARA OBTENCIÓN DE BIOMASA		
Dificultad de ejecución	Superficie (ha)	Biomasa total (t)
<i>Claras en PC I</i>		
Baja	234	46.017
Media	314	61.727
Alta	278	54.687
Total	826	162.431
<i>Claras en PC II</i>		
Baja	737	95.978

Media	627	81.709
Alta	373	48.615
Total	1.737	226.302
<i>Claras en PC III</i>		
Baja	122	8.758
Media	200	14.437
Total	322	23.195
TOTAL	2.885	411.928

De las tablas 11 y 12 se evidencia una posible disponibilidad de residuos forestales provenientes de restos de madera y biomasa de pino canario durante el proceso de aclarado de alrededor de 193.805 t y 411.928 t respectivamente.

3.1.3.2 Cortas de radiata y otra arbolada

Generalmente esta corta está contemplada en todos los espacios protegidos, mediante sustitución por vegetación autóctona.

Se tomará en consideración los estratos “Pr” y “Pmixto” correspondiente a la mezcla de pinares. Además, las superficies analizadas se limitan a zonas consideradas como aprovechables sin restricciones por sotobosque.

Los resultados que se muestran a continuación, en la Tabla 13, se han obtenido a partir del Plan de Gestión de los pinares de repoblación elaborado por el Cabildo de Tenerife 2011.

Tabla 13. *Superficie y producto de las cortas de radiata y otra arbolada (Fuente: Plan de Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Forestales en Canarias).*

	Pr-I	Pr-II	Pr-III	P Mixto	TOTAL
Superficie total (ha)	129	466	321	222	1.138
Superficie Útil Total (ha)	97	250	105	146	598
Superficie Útil Dificultad Baja (ha)	87,3	150	105	43,8	386,1
Superficie Útil Dificultad Media (ha)	9,7	100	0	102,2	211,9

Productos				
Vcc fustes extraídos (m3/ha)	431	358	299	283
MADERA + RESTOS				
Vcc madera (m3/ha)	407	330	290	271
Restos (t/ha)	60	55	37	36
BIOMASA				
Biomasa total (t/ha)	386	319	269	253

En las Tablas 14 y 15 se muestran las cortas de radiata y de otra arbolada para la obtención de madera más restos y de biomasa, tomando en cuenta los datos de la Tabla 13.

Tabla 14. Total cortas de radiata y otra arbolada para la obtención de madera y restos.

CORTAS DE RADIATA PARA LA OBTENCIÓN DE MADERA Y RESTOS			
Dificultad de ejecución	Superficie (ha)	Madera (m3)	Restos (t)
<i>Claros en Pr I</i>			
Baja	87	35.531	5.238
Media	10	3.948	582
Total	97	39.479	5.820
<i>Claros en Pr II</i>			
Baja	150	49.500	8.250
Media	100	33.000	5.500
Total	250	82.500	13.750
<i>Claros en Pr III</i>			
Baja	105	30.450	3.885
Total	105	30.450	3.885
<i>Claros en P Mixto</i>			
Baja	44	11.870	1.577
Media	102	27.696	3.679
Total	146	39.566	5.256
TOTAL	598	191.995	28.711

Como se evidencia en las tablas 14 y 15 se podría disponer de residuos forestales provenientes de restos de madera y biomasa de cortas de radiata y otra arbolada de 28.711 t y 182.375 t respectivamente.

Tabla 15. *Total cortas de radiata y otra arbolada para la obtención de biomasa.*

CORTAS DE RADIATA PARA LA OBTENCIÓN DE BIOMASA		
Dificultad de ejecución	Superficie (ha)	Biomasa total (t)
<i>Claras en Pr I</i>		
Baja	87	33.698
Media	10	3.744
Total	97	37.442
<i>Claras en Pr II</i>		
Baja	150	47.850
Media	100	31.900
Total	250	79.750
<i>Claras en Pr III</i>		
Baja	105	28.245
Total	105	28.245
<i>Claras en P Mixto</i>		
Baja	44	11.081
Media	102	25.857
Total	146	36.938
TOTAL	598	182.375

3.1.3.3 Cortas en monteverde

Siguiendo la Normativa de los Espacios Naturales Protegidos se pueden efectuar en ellos tratamientos de restauración y preventivos, y aprovechar los productos que se obtengan en la superficie, exceptuando los de las zonas de exclusión.

Por lo tanto, partiendo del monteverde, se considera toda la superficie incluida en espacios protegidos a tratamientos selvícolas. Los resultados que se muestran a continuación en la Tabla 16 se han obtenido a partir del Plan de Gestión de los pinares de repoblación elaborado por el Cabildo de Tenerife 2011.

Tabla 16. Superficie de las cortas en monteverde (Fuente: Plan de Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Forestales en Canarias).

	TOTAL	Tratamientos silvícolas	Cortas para aprovechamiento
Superficie total (ha)	5.700	3.850	1.850
Superficie Útil Total (ha)	2.780	1.300	1.480

La cantidad de producto que puede aprovecharse en los tratamientos silvícolas es muy reducida. A esto, hay que añadirle unos elevados costes del aprovechamiento, y tratándose de vegetación potencial podría producirse una extensión debida al abandono de las tierras de cultivo. En la Tabla 17 mostraremos los valores totales de las cortas en monteverde para la obtención de biomasa.

Tabla 17. Valores totales y posibilidad anual de cortas en monteverde para la obtención de biomasa.

	Superficie (ha)	Biomasa extraíble (t/ha)	Biomasa total (t)
Mejora silvícola y preventiva	1.300	15	19.500
Aprovechamiento	1.480	35	51.800
TOTAL	2.780	50	71.300
<i>Posibilidad Anual</i>			
Turno (años)	Superficie de cota anual (ha)	Posibilidad (t/ha/año)	Posibilidad total (t/año)
10	148	3,5	5.180

A pesar de la poca disponibilidad de residuos forestales a partir de cortas en Monteverde, se evidencia en la Tabla 17 una posibilidad de biomasa total de 71.300 t.

3.1.3.4 Desbroces y podas

La Normativa de los Espacios Naturales Protegidos indica que pueden efectuarse tanto los desbroces y podas como tratamientos de selvicultura preventiva, así como también se permite el control de rebrote en zonas de repoblado.

En los terrenos de uso particular se pueden hacer labores de limpieza de fincas, tratamientos preventivos, podas, cultivos, etc., pero con relación a las podas, al realizarse de manera puntual, su evaluación resulta difícil.

La superficie destinada a desbroces por tratamientos preventivos se obtiene a partir de las superficies señaladas en los estudios de existencias para pinares, arbolado exótico y otra vegetación.

Los resultados que se muestran en la Tabla 18 se han obtenido a partir del Plan de Gestión de los pinares de repoblación elaborado por el Cabildo de Tenerife 2011, se considera los valores para el desbroce en pinar húmedo y monteverde, y para pinar no húmedo y matorral, el turno de corta es de 5 años. Además, se hace referencia a los valores totales de desbroces y poda para la obtención de biomasa.

Tabla 18. *Valores totales de desbroces y podas para la obtención de biomasa.*

	Superficie (ha)	Biomasa (t/ha)	Biomasa total (t)
Fajas húmedas	2.128	25	53.200
Otras superficies preventivas húmedas	1.839	25	45.975
Fajas no húmedas	2.934	15	44.010
Otras superficies preventivas no húmedas	100	15	1.500
TOTAL	7.001	80	144.685

En la Tabla 18 se muestra que existe una disponibilidad de residuos forestales con una biomasa total proveniente de desbroces y podas de 144.685 t.

3.1.3.5 Extracción de pinocha

Siguiendo el Planeamiento de los Espacios Naturales Protegidos de Tenerife, la recogida de pinocha se puede realizar en todas las superficies de pinar, señalando como única zona excluida el Parque Natural de la Corona Forestal.

En cuanto al posible producto usado como biomasa presenta un escaso rendimiento al tener una baja relación volumen-peso.

Los resultados de la Tabla 19 se han obtenido a partir del Plan de Gestión de los pinares de repoblación elaborado por el Cabildo de Tenerife 2011.

Tabla 19. *Superficie de la extracción de pinocha (Fuente: Plan de Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Forestales en Canarias).*

Superficie total (ha)	9.900
Superficie Útil Total (ha)	8.000

En la Tabla 20 se muestran los valores totales de la extracción de pinocha para la obtención de biomasa, evidenciándose una disponibilidad de 48.000 t de biomasa total.

Tabla 20. *Valores totales de la extracción de pinocha para la obtención de biomasa.*

Superficie (ha)	Biomasa total (t)
8.000	48.000

Según estudios de la producción de pinocha en los montes de Tenerife, elaborados por el Cabildo de Tenerife, se estima como producción de tipo pinocha una cantidad de 6 t/ha.

En resumen, con este análisis se evidencia la gran cantidad de residuos potenciales que se pueden generar de restos de madera y biomasa en las zonas forestales de Tenerife, los cuales podrían ser aprovechados energéticamente.

3.2 Cuantificación del potencial energético global

En este apartado se realiza la cuantificación del potencial energético global, considerando únicamente los residuos provenientes del sector agrícola, debido a que las cantidades estimadas de estos residuos se disponen anualmente y se dispone a partir de la bibliografía de los datos necesarios para la realización de los cálculos.

Teniendo en cuenta los valores de humedad y poderes caloríficos de los residuos agrícolas escogidos que se muestran en la Tabla 21, se puede cuantificar el potencial energético global en Tenerife, utilizando las ecuaciones descritas en el apartado 2.3.

Tabla 21. *Características de los residuos agrícolas mayoritarios de Tenerife.*

Cultivo	Tipo de residuo	RRP	Humedad (%)	Poder calorífico inferior (MJ/t)	Referencias
Plátano	Desecho	0,28	83	16.120	(Rojas et al., 2019)
Papa	Desecho	0,45	73	3.500	(Asquer et al., 2013)
Tomate	Desecho	0,20	70	21.300	(Martínez et al., 2017)
	Poda	0,54	12	19.665	
Viña	Desecho	0,44	75	17.900	(Bazurto et al., 2020)
	Poda	1,14	13	18.828	

El principal cultivo generador de residuos es el plátano, tal y como se muestra en la Fig. 16 ; con una contribución total sobre los residuos agrícolas de un 46,58%, seguido de la papa (18,83%), el tomate (17,64%) y la viña (16,95%).

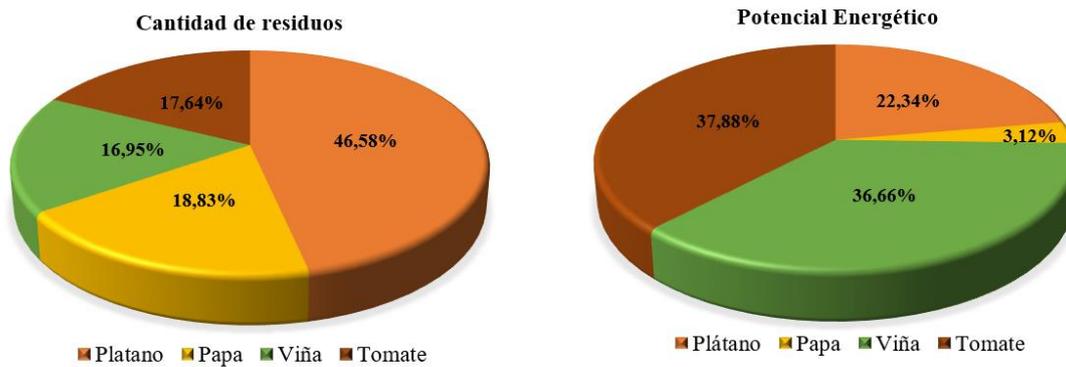


Figura 16. Cantidad de residuos y potencial energético de los residuos estudiados.

El potencial residual teórico, la cantidad de biomasa residual generada en la isla de Tenerife, se estimó en 39.003 t. Del cultivo del plátano se generó un PRT de 8.798 t de residuos totales, del cultivo del tomate 12.113 t, de la papa un total de 5.668 t, y el resto de las toneladas es proveniente del cultivo de la vid. Por lo cual, se puede observar un importante potencial residual teórico de biomasa anual en la isla de Tenerife.

De todos los residuos agrícolas que se han estudiado, el tomate y la viña exhiben el mayor potencial energético, tal como se muestra en la Fig. 16.

Una vez tenido en cuenta los poderes caloríficos inferiores de cada cultivo, se determinó el potencial energético residual; y con éste se obtuvo el poder potencial energético que representa el contenido energético total de los residuos que pueden ser aprovechados para la obtención de energía. El poder potencial energético de los residuos agrícolas puede alcanzar 22,04 MW en Tenerife, considerando un tiempo de funcionamiento de 8000 horas al año.

Teniendo en cuenta la disponibilidad de los residuos, este estudio consideró su disponibilidad completa. Sin embargo, se analizaron 3 posibles escenarios para considerar las variaciones en el rendimiento. Estos escenarios involucraron tres factores de conversión de eficiencia, uno del 20% (Escenario 1), 30% (Escenario 2), y 50% (Escenario 3) (Rhofita et al., 2022). La Fig. 17 muestra un diagrama de Sankey con el poder potencial energético de los residuos estudiados.

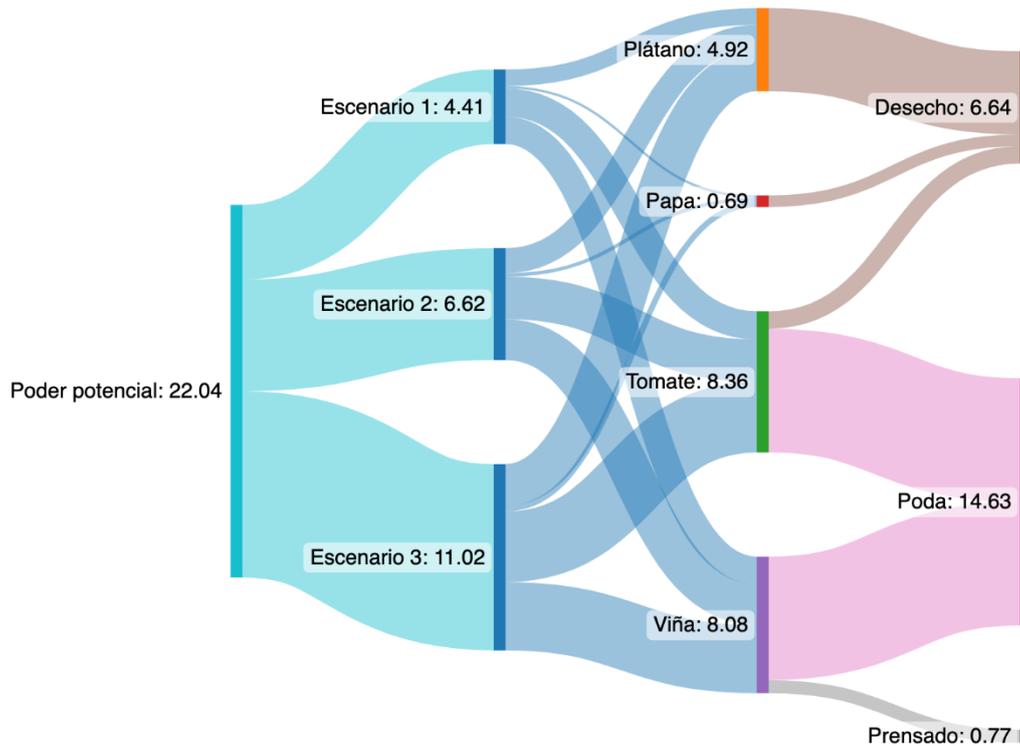


Figura 17. Diagrama de Sankey: poder potencial energético medio anual (MW).

Tal y como se ha comentado anteriormente el poder potencial energético total es de 22,04 MW, dividido de la siguiente manera: escenario 1 con 4,41 MW, escenario 2 con 6,62 MW, y el escenario 3 con 11,02 MW. La poda derivada del cultivo del tomate y la viña genera el poder potencial energético más elevado con un total de 14,63 MW, convirtiendo así estos residuos en la combinación más favorable en cuanto a poder calorífico y humedad para la producción de energía; seguidos de los residuos de desecho, principalmente el del plátano, con un PPE de 4,92 MW. Por otro lado, en la Fig. 17, observamos que los residuos de la papa muestran un PPE bajo debido a su alto contenido en humedad y bajo poder calorífico.

Todos estos hallazgos brindan una valiosa información sobre qué tipo de desechos generan un mayor potencial para la generación de energía, ya que los resultados de este estudio indican que la producción anual de biomasa residual de estos cultivos en Tenerife podría generar un potencial energético de aproximadamente 176.364 MWh, cubriendo en torno al 5,67% del consumo energético actual de Tenerife (Seguimiento de la demanda de energía eléctrica, 2023), un valor bastante significativo sabiendo que en las Islas Canarias solo se produce un 20% de energías renovables; por lo que, la disponibilidad de estos recursos daría una oportunidad excepcional para la región.

3.3 Propuestas futuras

- Una vez cuantificados los residuos generados por el cultivo de las hortalizas en Tenerife, sería de gran interés obtener el poder potencial energético total teniendo en cuenta los distintos tipos de residuos dentro de este campo.
- Se podrían valorizar los residuos sólidos urbanos empleando estimaciones que tomen en cuenta las características de estos desechos.
- En el caso de los residuos forestales, ya cuantificados en este trabajo, se podría realizar una estimación del poder potencial energético tras una caracterización previa de los distintos tipos de estos residuos en Tenerife.
- Sería de interés realizar un estudio del poder potencial energético para toda la región de las Islas Canarias de los residuos agrícolas estudiados en este proyecto, debido a que son los mayormente cultivados.
- Una vez realizados todos estos estudios se podrían clasificar los residuos por mayor o menor contenido de humedad para someterlos a una evaluación energética; los desechos más húmedos podrían ser sometidos a un cálculo del poder potencial energético mediante procesos biológicos, tales como la digestión anaerobia. Finalmente, los residuos con menor porcentaje de humedad calcularlos mediante combustión, pirólisis o gasificación.

Por lo tanto, es crucial que futuras investigaciones se centren en optimizar la selección de tecnologías y explorar enfoques innovadores para el aprovechamiento de los residuos para la producción de energía sostenible.

4. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones extraídas de este trabajo son:

- 1) Se identifican como residuos potenciales para su aprovechamiento energético generados en Tenerife los provenientes del sector agrícola, forestal y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.
- 2) Para la selección de diferentes los procesos y tecnologías para la valorización energética de residuos se deben considerar las características y propiedades de la biomasa a tratar, es decir, humedad, valor calorífico, entre otras.
- 3) El plátano constituye el cultivo con mayor cantidad de residuos generados en Tenerife, seguido del cultivo de hortalizas, tomate, papa y viña.
- 4) La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos es una biomasa disponible en Tenerife para ser aprovechada, sin embargo, su aprovechamiento va más hacia procesos bioquímicos que a procesos térmicos, por la heterogeneidad de su composición.
- 5) Los residuos forestales parecen ser un residuo prometedor para la generación de energía, pero deben ser caracterizados y asegurar su plena disponibilidad.
- 6) El método propuesto permite la una estimación del poder potencial energético de los residuos seleccionados.
- 7) El poder potencial energético de los residuos agrícolas puede alcanzar un valor de 22,04 MW en Tenerife, considerando un tiempo de funcionamiento de 8000 horas al año.
- 8) Los residuos seleccionados provenientes de cultivos en Tenerife podrían generar un potencial energético de aproximadamente 176.364 MWh, cubriendo en torno al 5,67% del consumo energético actual de Tenerife.
- 9) Se evidencia con este trabajo que se podría lograr un autoabastecimiento el Tenerife con el aprovechamiento de los residuos generados en la isla, contribuyendo a una independencia energética.

CONCLUSIONS

The main conclusions drawn from this work are:

- 1) Waste from the agricultural and forestry sectors and the organic fraction of solid urban waste are identified as potential waste for energy use generated in Tenerife.
- 2) For the selection of different processes and technologies for the energy recovery of waste, the characteristics, and properties of the biomass to be treated, i.e., moisture, calorific value, among others, must be considered.
- 3) Bananas are the crop with the highest amount of waste generated in Tenerife, followed by vegetables, tomatoes, potatoes and vines.
- 4) The organic fraction of municipal solid waste is a biomass available in Tenerife to be used, however, its use is more towards biochemical processes than thermal processes, due to the heterogeneity of its composition.
- 5) Forest residues appear to be a promising waste for energy generation, but they need to be characterized and their full availability ensured.
- 6) The proposed method allows the estimation of the energy potential of the selected waste.
- 7) The energy potential of agricultural waste can reach a value of 22.04 MW in Tenerife, considering an operating time of 8000 hours per year.
- 8) The selected crop residues in Tenerife could generate an energy potential of approximately 176,364 MWh, covering around 5.67% of Tenerife's current energy consumption.
- 9) This work shows that Tenerife could achieve self-sufficiency by using the waste generated on the island, contributing to energy independence.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Acciona. ¿Qué es el cambio climático y cómo te afecta? (web visitada el 29/10/22).
- Acuña, E. E. (2021). Análisis de la aportación al autoabastecimiento energético del Syngas obtenido a partir de la gasificación inicial de residuos. (Trabajo de fin de grado). Universidad de La Laguna.
- Asquer, C., Pistis, A., & Scano, E. A. (2013). Characterization of fruit and vegetable wastes as a single substrate for the anaerobic digestion.
- Bazarro, K., Cevallos, M., & Vilcacundo, A. (2020). Cinética de deshidratación de la uva (*Vitis Vinifera* L.).
- BioElectricidad Industrial. (2016). Métodos Termoquímicos.
- Boundy, B., Diegel, S. W., Wright, L., & Davis, S. C. (2011). Biomass Energy Data Book, fourth ed. U.S. Department of Energy, Tennessee.
- Borunda, A. (2022). ¿Qué es la acidificación de los océanos y por qué se produce? National Geographic.
- Calero, R. (2006). El futuro energético de Canarias. Amenazas y oportunidades.
- Cerdá, E., & Khalilova, A. (2015). Economía circular.
- Chocho, A. (2016). Valorización de residuos de *Jatropha Curcas*: energética, química y/o mecánica. (Trabajo de fin de grado). Universidad de La Laguna.
- Coll, C. (2019). Adaptación de los recursos energéticos dentro de la economía circular para mitigar los efectos del cambio climático. (Trabajo de fin de grado). Universidad de La Laguna.
- Corona, F., Hidalgo, M. D., Diez, D., & Ureña, A. (2018). Procesos termoquímicos: alternativa sostenible de valorización de residuos.
- Cortés, M. D., Gata-Montero, E., Pipió, A., Rodríguez, A., & Sánchez, J. M. (2018). Biocombustibles: tipos y estrategias de producción.
- Díez de Velasco, F. (2015). Los agrocombustibles. ¿Solución o problema a la escasez de energía fósil?
- Dupuis, I. (2006). Estimación de los residuos agrícolas generados en la isla de Tenerife.

- Ecoembes. (2022). China también quiere ser líder en economía circular.
- Enel Green Power. El cambio climático: causas, efectos y remedios. (web visitada el 31/10/22).
- ENT Environment and Management. (2011). Estudio sobre modelos de gestión de residuos en zonas insulares.
- Eurofins Environment Testing. (2021). Contaminación del suelo: causas y soluciones. (web visitada el 26/10/22).
- Fernández, A. (2014). Biocombustibles de tercera generación.
- Fernández, B. (2014). Ingeniería básica de una planta de acondicionamiento de biogás para uso en pilas de combustible de carbonatos fundidos (MCFC). (Trabajo de fin de grado). Universidad de Sevilla.
- Fernández, J. (2006). Los residuos de las agroindustrias como biocombustibles sólidos (I).
- FORESMAC. (2011). Plan de aprovechamiento sostenible de los recursos forestales de Canarias.
- García, F. (2007). La producción de biocombustibles en los territorios insulares.
- GeniaBioenergy. (2021). Daño medioambiental de una mala gestión de los residuos orgánicos. (web visitada el 26/10/22).
- Geoinnova. (2016). Acidificación en los océanos. ¿Cómo se puede solucionar?
- Gobierno de Canarias. (2016). Tema 2.2: Los residuos.
- Greenpeace. Cambio Climático. (web visitada el 28/10/22).
- Guadarrama, I., & Reyes, A. (2016). Análisis de la situación energética actual de Canarias y propuestas de mejora del sistema. (Trabajo de fin de grado). Universidad de La Laguna.
- Haro-Velasteguí, A., Borja, A., & Triviño, S. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables.
- Iberdrola. Contaminación del suelo, sus efectos sobre nuestro futuro y qué podemos hacer para reducirla. (web visitada el 26/10/22).

- Jarabo, F., Fernández, J., Trujillo, D., Elortegui, N., & Pérez, C. (1983). La energía de la biomasa.
- Mapfre. Revista Gerencia de Riesgos y Seguros. Energías renovables, tendencias en Latinoamérica. (web visitada el 29/11/22).
- Martín, V., & Méndez, D. (2019), Reciclaje y gestión de residuos en Tenerife: un paso hacia la economía circular. (Trabajo de fin de grado). Universidad de La Laguna.
- Morató, J., Tollin, N., & Jiménez, L. (2017). Situación y evolución de la economía circular en España.
- Moriana, L. (2018). Qué son los biocombustibles, ventajas y desventajas.
- Naciones Unidas. Cambio Climático. (web visitada el 29/10/22).
- Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Palau, C. V. (2016). Digestión anaerobia de residuos de biomasa para la producción de biogás.
- Pérez, J. A. (2017). Aprovechamiento energético de los residuos de purines de animales y lodos de depuradora. (Trabajo de fin de grado). Universidad de La Laguna.
- Planetica.org (2011). Clasificación de los residuos. (web visitada el 26/11/22).
- Piernavieja, G. (2010). Posibilidades reales de producción de combustibles alternativos en Canarias a partir de diferentes formas de biomasa.
- Pinilla, J. A. (2019). El problema energético mundial. Energías renovables y cambio climático. Energy management magazine.
- Ramos, V., Aguilera, A., & Ochoa, E. (2016). Residuos de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para obtener pectinas útiles en la industria alimentaria.
- Reinoso, J. V., Ación, F. G., Fernández, M. D., López, J. C., Rodríguez, F., & Sánchez, J. A. (2016). Caracterización de los residuos vegetales de invernadero para su aprovechamiento en sistemas de calefacción y enriquecimiento.
- RETEMA. (2022). El Complejo Ambiental de Tenerife trata más residuos que el año pasado. (web visitada el 23/01/23).

- Rhofita, E. I., Rachmat, R., Meyer, M., & Montastruc, L. (2022). Mapping analysis of biomass residue valorization as the future green energy generation in Indonesia.
- Rodríguez, N., Lucas, D., Noguez, J., & Sánchez, S. (2016). Evaluación del sustrato de olote en la retención de humedad en el suelo para el cultivo de tomate. (*Lycopersicum esculentum* Mill). Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias.
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta.
- Rojas, A., Rodríguez, S., & Montoya, J. (2019). Evaluación de alternativas de aprovechamiento energético y bioactivo de la cáscara de plátano.
- Salinas, E., & Gasca, V. (2009). Los biocombustibles.
- Santamarta, J. C. (2014). Puesta en valor del bosque macaronésico como vector de los recursos hídricos, energía y turismo.
- SEAFUEL. (2022). El proyecto SEAFUEL celebra la llegada a Tenerife de la primera hidrogenera de Canarias.
- Seguimiento de la demanda de energía eléctrica. (2023). demanda.ree.es (web visitada el 10/07/2023).
- Señorans, S. (2021). Catalizador de Cerio soportado para la gasificación de biomasa. (Trabajo de fin de grado). Universidad de La Laguna.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S., Fetzer, I., Bennet, E., Biggs, R., & Carpenter, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet.
- Tadeu, L., Loureiro, M., & Zaiat, M. (2018). Seasonal characterization of sugarcane vinasse: Assessing environmental impacts from fertirrigation and the bioenergy recovery potencial through biodigestion.
- Tangri, N., & Wilson, M. (2017). Gasificación y pirólisis de residuos: procedimientos de alto riesgo y baja rentabilidad para el tratamiento de residuos.
- Thomsen, S. T., Spliid, H., & Ostergard, H. (2014). Statistical prediction of biomethane potentials based on the composition of lignocellulosic biomass. 154, 80-86.

- Vázquez, H. J., & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. VIII. 4. 249-259.
- Velázquez, C. (2015). Valorización de los productos forestales para la consolidación del sector de la biomasa en la comarca norte de Gran Canaria.
- Vieira de Carvalho, A., Horta, L. A., & Regis, M. (2016). ¿Cuáles son las ventajas de los biocombustibles modernos?
- Villasur, S. (2022). ¿Cómo funciona el biogás?
- Wang, S., Jena, U., & Das, K. C. (2018). Biomethane production potential of slaughterhouse waste in the United States. Energy Covers Manag. 173, 143-157.