



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA
DE MINAS Y ENERGÍA



Trabajo de fin de grado

APORTANDO VALOR AMBIENTAL A LOS SISTEMAS BIOENERGÉTICOS EN ESPAÑA MEDIANTE LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE ALIMENTOS BAJO UN ENFOQUE DE CICLO DE VIDA

BRINGING VALUE TO THE ENERGY SYSTEMS IN SPAIN THROUGH
THE FOOD WASTE MANAGEMENT UNDER A LIFE CYCLE
APPROACH

Para acceder al título de:
Grado en Ingeniería de Recursos Energéticos

Autor: Juan Díaz Barquín

Tutores: Rubén Aldaco García
Daniel Hoehn Capracci

Convocatoria: septiembre 2019

Índice de contenidos

1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVOS	10
3. ESTADO DEL ARTE	13
3.1. Situación de las energías renovables. Políticas que promueven las energías renovables, situación actual.....	13
3.2. Situación de las energías renovables en España	14
3.3. Objetivos y estrategias en la UE	15
3.4. Situación de la biomasa respecto a los residuos alimentarios. Políticas de reducción de residuos.....	16
4. METODOLOGÍA	22
4.1 Objetivos, alcance y límites del sistema.	22
4.2. Análisis del flujo de material.	23
4.3. Análisis del flujo de energía y evaluación de impacto ambiental	26
4.4. Asignaciones	27
4.5. Inventario del ciclo de vida	28
4.6. Análisis de demanda energética y de CO ₂ en los escenarios de gestión	28
4.7. Predicción de emisiones de CO ₂ a futuro	29
5. Resultados	31
5.1. Análisis del flujo de materia	31
5.2. Análisis del flujo de energía	32
5.3. Emisiones de CO ₂	34
5.4. Escenarios de gestión de CO ₂	35
5.5. Predicción de emisiones de CO ₂	37
6. Conclusiones	39
7. Bibliografía	41

Índice de figuras

Figura 1.1. Principales fuentes de consumo de la biomasa en la Unión Europea.....	7
Figura 2.1. Jerarquía de actuación en materia de gestión de residuos formulada por la Comisión Europea.....	11
Figura 3.1. Fuentes de producción de energías renovables en la unión europea.....	14
Figura 3.2. Situación del mix energético en España.....	15
Figura 5.1. Pérdidas en masa producidas en cada etapa de los alimentos.....	32
Figura 5.2. Pérdidas de energía en cada etapa de los alimentos.....	33
Figura 5.3. Diagrama Sankey de la demanda de energía primaria para cada etapa de la cadena de suministros, medidos en kilojulios por día para España en 2015.	34
Figura 5.4. Demanda energética primaria en cada escenario estudiado para pescado, cereales, verduras y carne.....	36
Figura 5.5. Emisiones de CO ₂ /kg en cada escenario estudiado para pescado, cereales, verduras y carne.....	36
Figura 5.6. Predicción de emisiones de CO ₂ en gramos por kg de residuo generado, en el escenario de no cumplimiento del tratado de París.....	37
Figura 5.7. Predicción de emisiones de CO ₂ en gramos por kg de residuo generado, en el escenario de cumplimiento del tratado de París.	38

Índice de tablas

Tabla 4.1. Factores de asignación y de conversión para cada categoría de alimentos.	24
Tabla 4.2. Factores de Gustavsson en cada categoría de alimentos y para cada etapa de la cadena de suministro.	25
Tabla 4.3. Emisiones de CO ₂ , en gramos por kilovatio hora, para distintos años.....	29
Tabla 4.4. Emisiones de CO ₂ en el escenario de no cumplimiento de los acuerdos de París.	29
Tabla 4.5. Emisiones de CO ₂ en el escenario de cumplimiento de los acuerdos de París.	30
Tabla 5.1. Miles de toneladas totales producidas en 2015 para cada categoría de los alimentos y en cada etapa de la cadena de suministros.	31
Tabla 5.2. Pérdidas de energía en kJ para cada categoría de los alimentos y en cada etapa de la cadena de suministros.....	33
Tabla 5.3. Emisiones de CO ₂ en gramos de cada categoría de los alimentos y en cada etapa de la cadena de suministros.....	35

1. INTRODUCCIÓN

Gran parte de la energía utilizada por la población desde tiempos remotos ha sido a partir de fuentes renovables, especialmente la solar, eólica y la hidráulica. A partir del siglo XIX, con la aparición de la máquina de vapor, se van abandonando estas formas de abastecimiento, dando más prioridad a los motores térmicos y eléctricos y a fuentes de energía fósiles, sin prever el agotamiento futuro de estos recursos [1]. A partir de los años 70, con la crisis energética mundial y la dependencia de estas fuentes de energía, se marcó un límite estructural en el desarrollo socio-económico, por el que las energías renovables se consideraron una alternativa, tanto por su disponibilidad presente y futura garantizada, como por su menor impacto ambiental para el caso de las energías limpias [2].

Los 15 últimos años han significado un cambio importante en el consumo de las fuentes de energía. En concreto, el porcentaje de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía se ha duplicado prácticamente en los últimos años, pasando del 8,5 % aproximadamente en 2004 al 17 % en 2016. Si bien, tal incremento, no ha contribuido a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero [3]. También muchos países han conseguido tener un mix energético muy diversificado en cuanto a la procedencia de las fuentes de energía, como Reino Unido y Alemania, que lideran en la UE con una previsión del 40% de producción de renovables en 2022, mientras que España recogería un 30% para estas fuentes de energía [4].

Todas estas fuentes de energía producen cierto grado de impacto ambiental, aunque las renovables mucho menor que las energías fósiles. Algunos ejemplos de los impactos e inconvenientes que tienen estas energías frente a las no renovables pueden enumerarse como: i) la energía eólica produce un impacto en el paisaje en forma de ruido de baja frecuencia y es perjudicial para las aves debido a las turbinas de los aerogeneradores; ii) la hidráulica genera, además del impacto ambiental por la construcción de presas, una pérdida de biodiversidad y el movimiento de poblaciones enteras; iii) la solar es una de las energías menos agresivas, aunque tarda bastante en rentabilizarse la inversión que supone la producción de paneles fotovoltaicos, lo que

supone una desventaja para dicha inversión; iv) la energía geotérmica puede ser nociva si se arrastran metales pesados y gases de efecto invernadero a la superficie; v) la mareomotriz tiene muy altos costes iniciales y no está muy desarrollada actualmente; por último, vi) la biomasa puede producir CO₂ debido a la combustión de ésta, y tiene mucho potencial en la generación de energía, pero se necesitan nuevas técnicas más eficientes para aprovechar dicho potencial [5].

La aplicación de energías alternativas, como el viento, el agua, el sol o la biomasa, están a la cabeza de la innovación tecnológica. En este contexto, se va a centrar el trabajo en las fuentes de biomasa.

En este contexto, es necesaria la mejora de los rendimientos en los procesos de transformación de la biomasa a energía. Por esto, las principales líneas de investigación van encaminadas a la mejora de los sistemas de manipulación de la biomasa en planta, así como a la optimización de los equipos para la producción de la energía eléctrica [6].

Dentro del sector de la biomasa, se engloba a cualquier materia orgánica capaz de aprovecharse para la obtención de energía, por lo que los recursos de biomasa pueden proceder de fuentes muy diversas, además del forestal, como los residuos de los cultivos agrícolas, en cosechas o de los llamados cultivos energéticos, en los que se trabaja en el aprovechamiento de especies verduras destinadas a la producción de energía [7]. Así, la madera en Europa, además de otros materiales, ha sido tradicionalmente la fuente de energía procedente de la biomasa más popular. Otras fuentes de biomasa pueden ser los productos de desecho de la agricultura, como las semillas o pepitas de las frutas o el maíz [8]. El sector residencial es el principal consumidor de energía proveniente de la madera (27%), pero seguido de cerca por el uso industrial de astillas y trozos de madera (en torno a 22%) y un uso a pequeña escala de éstas (14%). El consumo de aglomerados de madera también está creciendo rápido, representando un 6% del total del consume de madera en la Unión Europea [9].

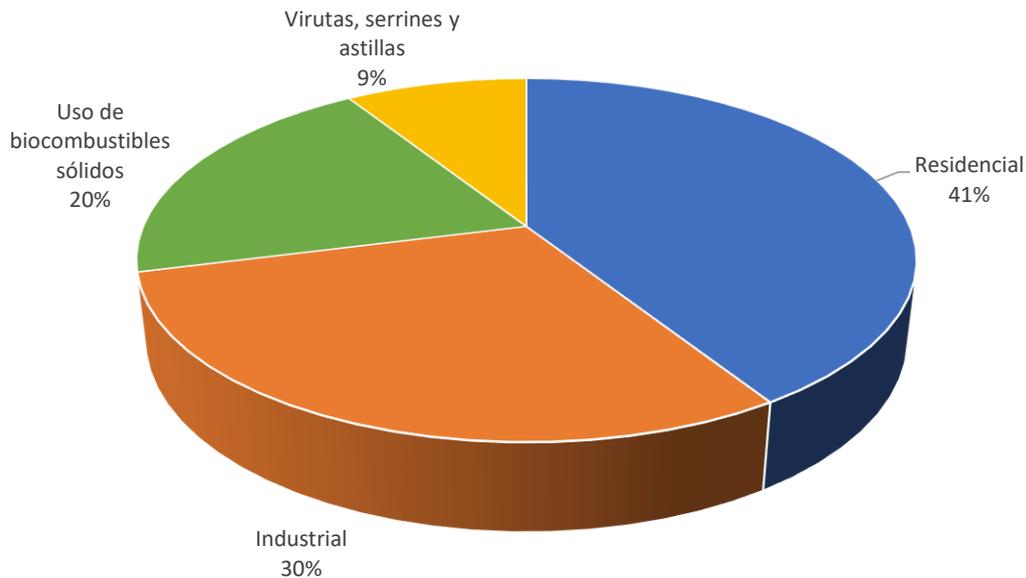


Figura 1.1. Principales fuentes de consumo de la biomasa en la Unión Europea.

A pesar del potencial de la biomasa para la generación de energía, hay mucha controversia en torno al origen de ésta, por temas ecológicos, según expertos en la materia y académicos.

Por un lado, la biomasa presenta un balance energético positivo ya que la energía obtenida es superior a la invertida en el proceso de transformación y su utilización para conseguir energía a partir de los residuos generados en la cadena de suministros alimentaria conseguiría frenar las altas cifras de residuos que se producen sin posibilidad de recuperación. Pero otras opiniones niegan el potencial que tiene la biomasa en el sistema energético y sugieren devolver a la tierra la materia orgánica utilizada y convertida en residuos [10].

Este desarrollo de las energías renovables y especialmente de la biomasa, beneficia al acceso de los sistemas alimentarios. Estos sistemas alimentarios consumen cerca de un 30% de la energía y el 70% de las extracciones de agua dulce en el mundo. Además, se ha estimado que entre el 20-30% de las emisiones de gases de efecto invernadero

proceden de los sistemas de alimentación [11].

Por otro lado, los estudios sugieren que una tercera parte de los alimentos producidos es desperdiciada, y supone cifras de 1,3 miles de millones de toneladas por año [12]. Este desperdicio de comida ocurre a lo largo de la cadena de suministro, desde la producción de la agricultura hasta el consumo particular. Las causas de estas pérdidas en cada país pueden deberse a cuestiones financieras, de gestiones de los recursos y a limitaciones técnicas en las técnicas de recolectar, almacenar y refrigerar en condiciones climáticas difíciles, de infraestructuras o de sistemas de marketing entre otras [13]. Así, las cadenas de suministro deben desarrollarse desde los pequeños granjeros, organizando y diversificando su producción, hasta en las empresas mayores del sector, aunque las inversiones en infraestructuras, transporte y la industria alimentaria también son necesarias para llevar a cabo esta mejora de la eficiencia de estos sistemas de producción y distribución de los recursos generados [12].

De esta forma, los residuos alimentarios aparecen como otra fuente de biomasa, con la que, a partir de la recuperación de su energía, se puede contribuir a limitar la utilización y la dependencia del carbón como fuente de obtención de energía. Asimismo, los desechos de los alimentos representan un tercio de la producción en la cadena de suministros de alimentación, como asegura la ONU, lo que está promoviendo el estudio de diversas estrategias para reducir estos residuos, para una reducción del 50% de estos, en 2030, tratándose de los objetivos 2 y 12 de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) presentados por la ONU [14].

Sin embargo, estas estrategias podrían estar entrando en contradicción con políticas energéticas que buscan aumentar la producción de bioenergía, para conseguir una energía más limpia y reducir los gases de efecto invernadero, propósito del objetivo número 7 de los ODS [15].

En el contexto global definido, el presente estudio tiene por objeto por un lado analizar

las estrategias de reducción del desperdicio de alimentos desarrolladas en la Unión Europea y en el caso concreto de España. Por otro lado, analiza las estrategias de apoyo al desarrollo de las energías renovables existentes a nivel de la Unión Europea y de España. Finalmente, se intentarán extraer conclusiones acerca de la posible influencia y contradicción entre unas y otras estrategias, tratando de determinar posibles escenarios de estrategias integrales que conlleven a una mayor eficiencia de las políticas enfocadas a estos objetivos y menores tasas de emisión de gases de efecto invernadero.

Así, este estudio considera todas las fases en el sistema de suministro de los alimentos, como son la agricultura, el procesado, la distribución, el consumo y la gestión de residuos generados. Para la gestión de los residuos se analizarán varias alternativas que influyan en la recuperación de energía: vertederos, incineración y digestión anaerobia y compostaje.

2. OBJETIVOS

Existe una tendencia, tanto en las instituciones responsables de la administración de los recursos naturales como en una sociedad cada vez más concienciada, de reducir los desechos de los alimentos durante toda la cadena de suministro para favorecer su eficiencia, disminuyendo a la mitad las emisiones de gases de efecto invernadero, como propone la ONU para el progreso mundial en sus objetivos de desarrollo sostenible hasta el año 2030. Además, en esta línea, existen distintas regulaciones de la Comisión Europea para los países miembros donde se indican pautas de prevención para las pérdidas alimentarias y los objetivos a cumplir para en un horizonte 2030. “Art 22 (2a) los Estados Miembros deberán adoptar programas específicos de prevención de residuos alimentarios dentro de sus programas de reducción de residuos, como se refiere en este artículo.” [16]. Esta normativa al respecto se basa en los estudios sobre las pérdidas en cada etapa de la cadena de suministros, por los que se sabe que los sectores donde más desechos se producen son los ámbitos particulares de consumo, en las casas y en el procesado de estos alimentos. Estos dos sectores representan un 72% de los residuos alimentarios en la Unión Europea [17].

Cada fase de la cadena alimentaria (producción, procesado, distribución y consumo) se puede optimizar teniendo en cuenta que un tercio de los alimentos producidos en ellas son desperdiciados. Es por ello que se desprende la necesidad de una producción y consumo responsable; y, a su vez, en el que toda la población debe disponer de recursos suficientes para su seguridad alimentaria y desarrollo.

Para esto se dispone de una jerarquía de actuación en materia de gestión de residuos [18] consistente, en primera instancia, en una “prevención” [19] usando menos material y aprovechando su vida útil, así como disminuyendo los materiales peligrosos. Le sigue la fase de “preparación para reutilizar”, examinando, reparando y aprovechando partes de él. Continuando con la jerarquía de actuación, el “reciclado” permite aportar un segundo uso al producto. Existen también “otros métodos de recuperación” [20] de estos materiales, como la digestión anaeróbica, compostajes e incineración con recuperación de energía. La última etapa de esta jerarquía consiste en el depósito en vertederos que

no disponen de un método de recuperación de esta energía con la incineración [21]. La figura 2.1 muestra la jerarquía de actuación en materia de gestión de residuos formulada por la Comisión Europea.



Figura 2.1. Jerarquía de actuación en materia de gestión de residuos formulada por la Comisión Europea.

En torno a un 30% del consumo total de energía se debe a los sistemas de producción alimentaria, por lo que reduciendo estos residuos y combinado con el desarrollo de las energías renovables se contribuiría a una eficiencia energética mayor, aminorando así la huella de los gases de efecto invernadero [14].

En definitiva, todo ello se traduce en una mejor calidad de vida para todos y, además, ayuda a lograr planes generales de desarrollo, que rebajen costos económicos, ambientales y sociales, que aumenten la competitividad y que reduzcan la pobreza.

En este sentido, las hipótesis propuestas podrían ser contradictorias respecto a los objetivos dictados por la ONU, ya que el hecho de reducir los desechos alimentarios podría suponer un aumento del uso del carbón y energías no renovables en el mix

energético, lo que contrasta con el objetivo del aumento de las energías limpias y renovables para toda la población.

Otra hipótesis se centra en la posibilidad de que se pudiera recuperar la energía propuesta de los residuos de los alimentos y cómo variaría el mix energético para este caso. En esta situación se esperaría un aumento en la producción de energías renovables debido, entre otras cosas, al potencial que los residuos alimentos pueden tener en cuanto a generación de energía.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. SITUACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES. POLÍTICAS QUE PROMUEVEN LAS ENERGÍAS RENOVABLES, SITUACIÓN ACTUAL

Europa consume menos energía que hace 10 años debido a la mejora de la eficiencia energética. Además, se ha conseguido depender menos de los combustibles fósiles gracias al ahorro de energía y a la utilización de energías renovables. Entre 2005 y 2015, el consumo proveniente de energías renovables dentro de la UE se duplicó, llegando a un 17% [22].

Dentro de las energías renovables, la biomasa es la más importante, con un 42% de producción de energía renovable primaria. A ésta le sigue la energía del viento con un 14% de este total, justo con la energía hidráulica, con un 11%. A pesar de que actualmente todavía sus niveles de producción de energía son bajos, el biogás y otros biocombustibles líquidos han alcanzado un 7.4% y 6.7% de energía producida en 2017, por lo que han superado a la producción de energía solar, que cuenta con otro 6.4% en el mix energético. La energía geotérmica cuenta con un 3% del total, mientras que los residuos renovables aumentaron hasta un 4.4% en 2017 [22]. Pero a pesar de esto, los combustibles fósiles siguen siendo la fuente de energía dominante en Europa.

Desde 2005, las energías renovables han crecido considerablemente. Este hecho puede atribuirse a las políticas de apoyo para favorecer su utilización, a escala nacional y dentro de la UE de todos los países miembros; además de una reducción de los costes asociados a la implantación de estas tecnologías, en particular para las energías solar fotovoltaica y eólica [22]. Debido al crecimiento de estas energías, muchos hogares europeos ya pueden comprar electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables [23].

En cada estado miembro de la UE, la utilización de las energías renovables varía, lo que implica que el transporte de éstas también varía. El transporte por carretera ha mejorado mucho respecto a la eficiencia energética en los últimos años, gracias a las medidas de

mejora de consumo de combustibles dentro de la UE para los vehículos. Sin embargo, con esta mejora, la demanda del transporte por carretera ha ido en aumento, lo que ha generado un leve incremento en las emisiones de gases.

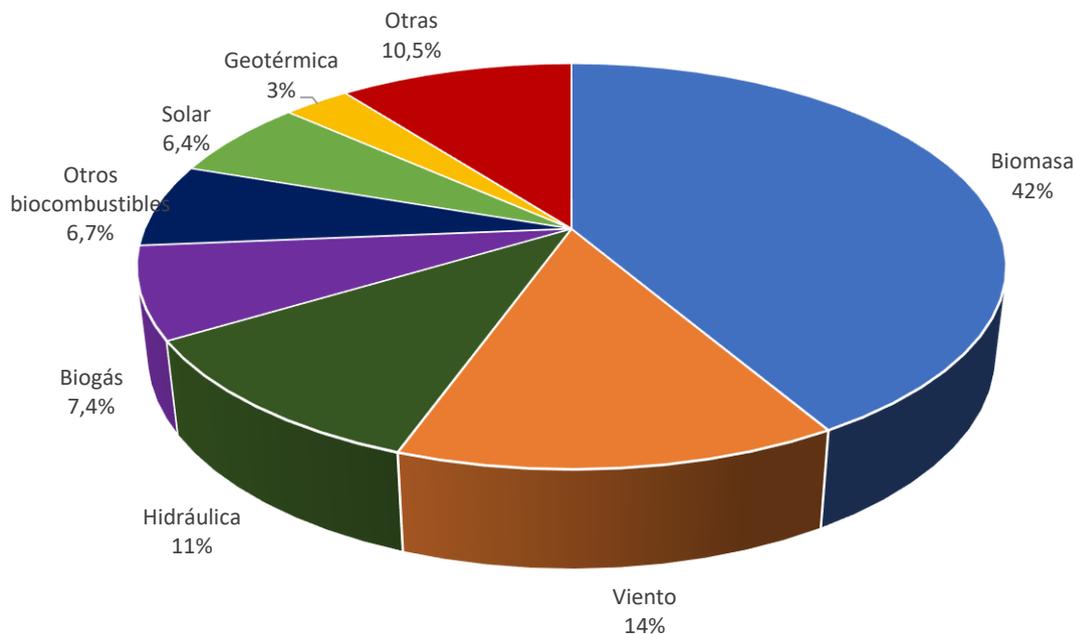


Figura 3.1. Fuentes de producción de energías renovables en la unión europea.

Para el transporte aéreo, aunque están disminuyéndose, las emisiones de estos gases son aún notables en comparación con el transporte por carretera, y el transporte ferroviario sigue siendo el medio más rentable para las emisiones [23].

3.2. SITUACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA

En España, las energías renovables suponen en torno a un 14% de la energía primaria producida, por lo que, después del petróleo y del gas natural, se consolidan como la tercera fuente de energía en términos de consumo, aunque todavía el consumo de energías procedentes de fuentes fósiles es muy importante, lo que indica una necesidad de sustituir estas fuentes por renovables [24]. En el mismo marco, la generación bruta de electricidad puso a las renovables como la primera fuente de energía con cerca de

un 40% de dicha generación, en 2016.

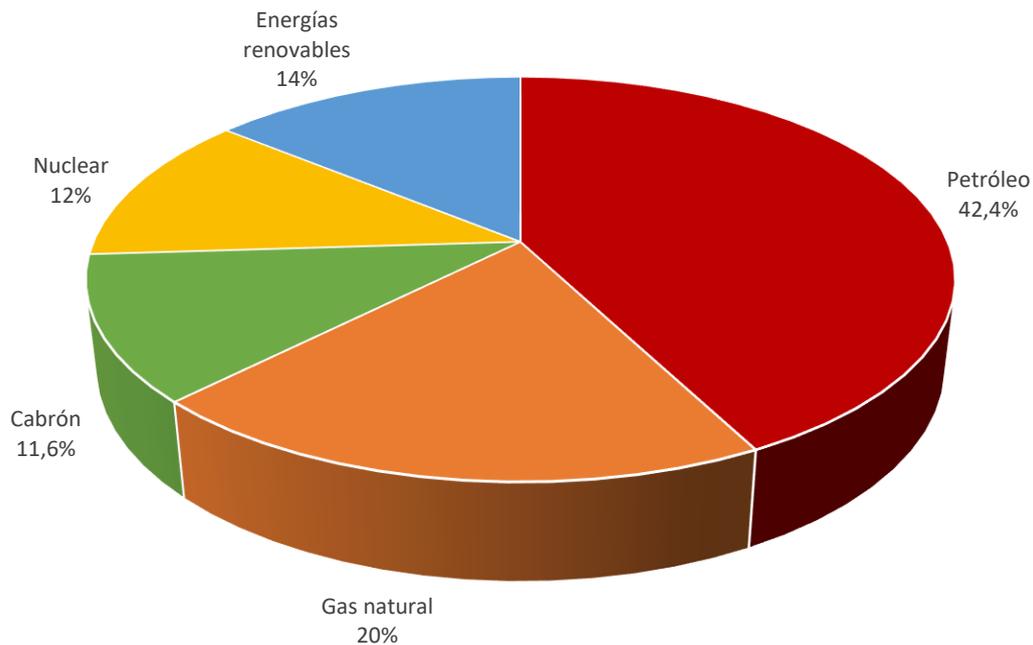


Figura 3.2. Situación del mix energético en España.

La biomasa supone un porcentaje en el mix energético de aproximadamente un 2% [24]. Un porcentaje que se ha visto estancado desde 2010, pero a pesar de este dato, España ocupa el séptimo lugar en la UE en la producción y consumo de la energía primaria basada en la biomasa sólida con 639 MWh [24]. En la producción de electricidad mediante biomasa sólida España se sitúa con un total de electricidad producida de 4.400 TWh, ocupando, de la misma forma, el séptimo lugar entre los países miembros de la UE; en cambio, en lo referido a la generación térmica, España está en la cola de Europa pese al potencial de los recursos autóctonos, siendo el tercer país con más recursos forestales [24].

3.3. OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS EN LA UE

Para impulsar la utilización de las energías renovables en la UE se han redactado unos objetivos para el 2020.

El objetivo principal es alcanzar un consumo de energía del 20% de fuentes renovables, para ello, cada estado miembro de la UE ha adoptado planes para las energías renovables, como unos objetivos de electricidad para cada región, de transporte y políticas de medición en los diferentes sistemas energéticos [25]. Para esto, los países miembros han desarrollado planes de acción en este sentido, para cumplir con estos objetivos. Objetivos individuales sobre la energía renovable para electricidad, para calefacción y refrigeración y para transportes, políticas nacionales para desarrollar el aumento de las fuentes de biomasa o planes para la utilización de un mix de las diferentes tecnologías en las renovables son algunos de los planes de desarrollo en cada país [26].

En materia del clima y la energía, el Consejo Europeo incluyó también objetivos y políticas para el periodo de años entre 2020 y 2030. Así la UE pretende tener un mercado más competitivo, seguro y con un sistema de energía sostenible, para llegar a los objetivos de la ONU (ODS) en la reducción de los gases de efecto invernadero. Estos objetivos están basados en medidas de análisis económico para la descarbonización de la UE para el año 2050.

En 2030 los objetivos principales son los de reducir en un 40% las emisiones de gases de efecto invernadero, respecto a los niveles de 1990 y tener un consumo de al menos un 27% de energías renovables. Para conseguir estos objetivos, se ha propuesto una reforma en el comercio de energía en la UE, así como nuevos indicadores para el sistema energético, nuevas ideas para este sistema, basado en los planes nacionales de cada país miembro y mejorar la capacidad de interconexión entre estos países [27].

3.4. SITUACIÓN DE LA BIOMASA RESPECTO A LOS RESIDUOS ALIMENTARIOS. POLÍTICAS DE REDUCCIÓN DE RESIDUOS.

En la Unión Europea, el 56,7% de la energía producida con biomasa procede de Francia, Suecia, Alemania, Finlandia y Polonia y los principales consumidores de esta energía son los países nórdicos y los bálticos [7]. Con la creciente producción de pellets se ha aumentado la utilización de calderas de biomasa de forma muy significativa en los

últimos 15 años, lo que dio lugar a un mercado europeo de biomasa [7]. Como se ha mencionado anteriormente, la madera es la fuente de biomasa más importante en muchos países de la UE, pero también existen fuentes que no contienen madera, como los residuos de los alimentos y los residuos municipales, cuyas opciones para su gestión incluyen el depósito en vertederos, el compostaje, la incineración, con y sin recuperación de energía y la digestión anaerobia, con la que también se puede recuperar energía [28].

Los residuos alimentarios se encuentran, como ya se ha visto, en cada una de las etapas de la cadena de suministro de alimentos, sin embargo, se obtienen recursos de biomasa desde estos procesos de la cadena. La agricultura produce gran parte de la biomasa proveniente de los residuos alimentarios, especialmente en los cultivos, incluyendo cereales, azúcar y almidón, verduras, tubérculos y cosechas industriales [29].

Debido a estos aspectos, la reducción de residuos ha cobrado especial importancia en la UE en los últimos años. Los residuos municipales se encuentran en el nivel más alto de los últimos quince años. Así, la prevención de residuos es un concepto esencial para la gestión de estos, por lo que se han puesto en marcha unas estrategias para su reducción en los países miembros de la UE, que consisten en varias fases [30]. Para el caso de España, en primera instancia, se fomenta profundizar en el conocimiento sobre este desperdicio de los alimentos, permitiendo cuantificar las pérdidas para cada fase de la cadena alimentaria y así conocer las cantidades, el valor y las causas de los desperdicios. Las siguientes fases consisten en campañas de formación y sensibilización en este aspecto, para cambiar los hábitos de la población, así como creación de concursos para evaluar iniciativas que redunden en la reducción del desperdicio. También se establecen colaboraciones con ONGs, bancos de alimentos y otras entidades comprometidas con la reducción de estos residuos, en los sectores de distribución, restauración y escuelas de cocina. Las últimas etapas inciden en los aspectos normativos identificando las barreras que pueden suponer un desperdicio alimentario, y así elaborar guías y medidas que ayuden a esta reducción. También así se fomenta el emprendimiento y la innovación de proyectos encaminados a esta

reducción, junto con acuerdos para el desarrollo de estudios que detectan el impacto del desperdicio alimentario [31].

Además de las estrategias que se están siguiendo para la concienciación de la necesidad de acabar con las pérdidas y desperdicios alimentarios (PDA), también existen una serie de políticas y recomendaciones fomentadas desde el gobierno, que van dirigidas a tres sectores: al sector público, al sector social y al sector empresarial.

En el sector público, como se ha comentado anteriormente, la primera recomendación a considerar significa mejorar la coordinación entre departamentos de las administraciones públicas de diferentes niveles en relación con la prevención y reducción de PDA. Otro aspecto por considerar es la incorporación de la preocupación por las PDA en las normativas y reglamentaciones, siempre con cierta flexibilidad para mejorar las prácticas comerciales y así incorporar criterios de sostenibilidad en las políticas públicas, incluyendo incentivos a la producción y el comercio que intervengan en la reducción de las PDA [32].

Las recomendaciones en el sector social se basan en tres principales: la concienciación social, la revisión del consumo de las personas, y el papel que desempeñan las entidades sociales de ayuda a estas iniciativas.

Es necesario un cambio cultural en torno al valor de los alimentos para poder reducir los residuos alimentarios. Por esto, las campañas de sensibilización por parte de los medios son fundamentales para poder situar el problema y buscar la colaboración de la población frente a este problema.

Otro factor fundamental son las campañas de formación a los consumidores para un consumo responsable de los alimentos. También para evitar los problemas de la abundancia y superoferta de los alimentos se pretende fomentar un aumento de la frecuencia de compra de alimentos para reducir su acumulación en cada hogar y una mejora de las capacidades de aprovechamiento de los alimentos, así como la

comprensión del etiquetado de los productos. Además, se debe mejorar la interacción entre las entidades sociales con el objetivo de aumentar la incidencia en los actores en cada etapa de la cadena de suministros [32].

Para el sector empresarial las prioridades son similares en cuanto a la estructura de las acciones, ya que se debe, en primera instancia, detectar el problema de las PDA en el mundo empresarial y así mejorar la coordinación de la cadena alimentaria, optimizando el funcionamiento entre los diferentes departamentos y eslabones en ella. Así se pretende también, mejorar las previsiones en los flujos de oferta y demanda para evitar malas prácticas y mejorar la calidad en cada etapa de la cadena.

De la misma forma, se requiere innovación en los ámbitos de actuación, como el transporte y logística, en las tecnologías de conservación y en la ingeniería de los procesos, para mejorar la eficiencia de estos y el aprovechamiento de los subproductos con los que se trabaja [33].

Las anteriores medidas para cada sector de la sociedad marcan las estrategias que los gobiernos autonómicos pretenden seguir para conseguir esta reducción de los residuos y conseguir así un sistema alimentario sostenible, garantizando la seguridad alimentaria y nutrición para todos sin poner en riesgo las bases económicas [32].

En el ámbito energético, se pretende reducir la huella del carbón en nuestra economía invirtiendo en las energías renovables, y entre ellas, impulsando la energía de la biomasa debido a su amplio potencial en el mix energético.

De esta forma, la Unión Europea y en ella España, se han comprometido a una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, establecida dicha reducción tanto en las Naciones Unidas como en el Protocolo de Kioto y en el Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático, en los que se marca, como objetivos, como se ha comentado anteriormente, unos porcentajes a cumplir en materia del uso de renovables y eficiencia energética en diversos periodos temporales [34].

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos, la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia propone las acciones para su cumplimiento, buscando, del mismo modo, una mejora social, protección del medio ambiente y un crecimiento económico [35]. Los principales planes para esta estrategia son:

- Asegurar la reducción de emisiones, especialmente en el sector energético.
- Contribuir al desarrollo sostenible mediante mecanismos de flexibilidad basados en proyectos.
- Aumentar la concienciación pública en torno a energía limpia y cambio climático
- Impulsar la investigación, el desarrollo y la innovación en cuestiones de cambio climático y energía [35].

Asimismo, estos objetivos, se han dividido en varios planes de actuación en cuanto a la eficiencia energética, las energías renovables, la gestión de la demanda y la investigación, desarrollo e innovación. En materia de eficiencia energética se han propuesto las siguientes medidas:

- Incentivar las campañas de información en empresas para permitir realizar inversiones en la mejora energética.
- Desalentar los consumos excesivos con alteraciones en la estructura tarifaria.
- Estimular la integración de alternativas eficientes en la planificación de las industrias
- Promover los compromisos de las empresas hacia nuevas tecnologías que obtengan una mejor optimización energética con ayudas o créditos blandos.
- Ayudar al desarrollo de proyectos de eficiencia energética dentro del desarrollo limpio [35].

En cuanto a las energías renovables se propone lo siguiente:

- Impulsar actuaciones que beneficien aquellas menos avanzadas, como es el caso de la biomasa y la energía solar, estimulando la inversión en su desarrollo y que permita abaratar los costos de instalación.
- Ayudar a las instalaciones fotovoltaicas de menos de 5kw mediante la mejora de las condiciones de acceso a la red.
- Rehabilitación de pequeñas centrales hidráulicas cerradas, mejorando sus instalaciones.
- Establecer un marco de seguridad económica para las inversiones en energías renovables y cogeneración.
- Fomentar el cambio a biocombustibles en las calderas domésticas.
- Impulsar proyectos que desarrollen las energías renovables [35].

4. METODOLOGÍA

4.1 OBJETIVOS, ALCANCE Y LÍMITES DEL SISTEMA.

El objetivo de este trabajo, como se ha comentado, está centrado en el estudio de las alternativas que permitan establecer las estrategias en la gestión de los residuos alimentarios, de forma que contribuyan a los objetivos presentados anteriormente. Se comparan así, tres escenarios usados para la recuperación de energía de los residuos, como son a) los vertederos con recuperación de biogás, b) la incineración con recuperación de energía y c) la digestión anaerobia y el compostaje [36].

A continuación, se describen estos 3 escenarios basados en el trabajo realizado por Laso et al. [37]:

- a) Vertedero con recuperación de biogás. Este escenario incluye, además de la deposición de los residuos en vertederos, la recuperación de biogás y tratamiento de los lixiviados. Los datos para este escenario se basan en la base de datos de Thinkstep [38]. El 17% del biogás liberado en los vertederos es tratado y quemado para producir electricidad, pero el 21% se quema sin ninguna recuperación y el 62% restante se libera a la atmósfera.
- b) Incineración con recuperación de energía. En una planta de incineración los gases propios de la combustión se procesan en varios sistemas, uno para reducir los NO_x, un filtro para desechar dioxinas, polvos y otro sistema de depuradores semisecos, para los gases ácidos. Los residuos principales se someten a una separación magnética para reestablecer, así, los materiales ferrosos. A continuación, los materiales inutilizados se desechan cerca de la planta y las cenizas resultantes se estabilizan para destinarlas a un vertedero inerte. De esta forma, los gases de combustión generados se utilizan para la generación de energía [39].
- c) Digestión anaerobia y compostaje (DA y C). Este escenario combina estos dos métodos en base a Righi et al. [40]. Una planta de digestión anaerobia consiste en dos procesos. El primero supone un reactor químico de flujo y el segundo consiste en un reactor de tanque. Así, tras 100 días de almacenamiento de los

sustratos, el producto es el biogás, con 60% de metano. Seguidamente, el metano se utiliza en un motor produciendo energía. Paralelamente, las pérdidas de alimentos restantes se conducen a una planta de compostaje, donde se produce el biocompost. El metano producido se calcula en base a lo descrito por Eriksson et al. [41]

De este modo, se podrá comparar, gracias a los resultados obtenidos, el método más adecuado para una mayor recuperación de energía, objeto del tratamiento de dichos residuos. Asimismo, se pretende crear una discusión en torno a las nuevas estrategias de gestión de los residuos, o incluso implementar estas tecnologías en las estrategias actuales.

La función principal de esta parte del estudio es determinar qué tipo de estrategia de gestión de los residuos es más apropiada, dentro de las 11 categorías de alimentos estudiadas, agrupadas siguiendo las recomendaciones de la FAOSTAT's Food Balance Sheets (FBS) [42], excepto los lácteos y los huevos, para los cuales se utilizan distintas FBS. De esta forma se siguen las normas ISO 14040 [43] e ISO 14044 [44] en la que definen el análisis del ciclo de vida (ACV) como una metodología de evaluación ambiental que permite analizar y cuantificar los aspectos ambientales y determinar los posibles impactos ambientales que se podrían producir a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto [45].

Asimismo, los límites de este trabajo incluyen las etapas de producción agrícola, procesado y envasado, distribución y consumo, basándonos en los porcentajes de pérdidas de alimentos presentados por la "Food and Agriculture Organisation" [12].

4.2. ANÁLISIS DEL FLUJO DE MATERIAL.

Para realizar un análisis, se ha desarrollado un análisis de flujo de material, utilizando datos de producción de alimentos del anuario de estadística del gobierno español en

2015. Partiendo de datos de producción, utilizando factores de Gustavsson [12], se han ido calculando los desperdicios alimentarios por etapa y por categoría de alimentos (se han tenido en cuenta 11 categorías, como se ha comentado).

Tabla 4.1. Factores de asignación y de conversión para cada categoría de alimentos.

	FACTOR DE ASIGNACIÓN	FACTOR DE CONVERSIÓN
Cereales	0,2	0,77
Raíces Y Tubérculos	0,78	0,82
Azúcar	1	1
Aceites	0,2	1
Verduras	0,81	0,78
Frutas	0,83	0,78
Legumbres	0,5	0,78
Carne	1	0,66
Pescado	1	0,5
Lácteos	1	1
Huevos	1	0,85

Los factores de asignación determinan la parte de la agricultura apta para el consumo humano. Los factores de conversión determinan la fracción del producto primario proveniente de la agricultura que es comestible [12]. Así, de la categoría de cereales la mayoría es centeno, maíz y cebada. El valor del factor de conversión de las raíces y tubérculos y el de las legumbres se ha determinado con la media entre el pelado (despellejado) a mano e industrial.

Así, aplicando dicha metodología, se han ido multiplicando los factores de asignación y de conversión por sus respectivos porcentajes de pérdidas (normalmente utilizado este término para la producción agrícola y el procesado) y los residuos (utilizado para las etapas finales de distribución y consumo), en cada etapa de la cadena de suministro. De esta forma se sacan, como se ve en la tabla 4.2, los porcentajes totales de pérdidas que se producen de cada tipo de alimento [12].

Tabla 4.2. Factores de Gustavsson en cada categoría de alimentos y para cada etapa de la cadena de suministro.

Factores Gustavsson	Producción agrícola, manejo postcosecha y almacenamiento	PROCESADO Y ENVASADO	DISTRIBUCIÓN	CONSUMO
		Procesado y molido	Fresco y procesado	Fresco y procesado
Cereales (%)	6	5,25	2	18,5
Raíces y tubérculos (%)	20	15	5	16
Azúcar y dulces (%)	25	2	6	19
Aceites (%)	21,9	5	1	9,5
Verduras (%)	26	2	6	17
Frutas (%)	20	2	6	19
Legumbres (%)	10	5	1	4
Carne (%)	3,2	5	4	11
Pescado (%)	9,4	6	7	10,5
Lácteos (%)	3,5	1,2	0,5	7
Huevos (%)	4	0,5	2	8

Se cuantifica el flujo de pérdidas en un sistema en un espacio y tiempo [46]. Como se puede ver, se consideran las pérdidas de los alimentos (FL en inglés) durante la cadena de suministro:

$$FL_{i,j} = \frac{F_{i,1} \cdot \alpha_{i,j}}{\prod_{j=1}^j 1 - \alpha_{i,j}}$$

Donde $F_{i,j}$ es el alimento disponible en cada categoría i dentro de la cadena de suministro j ($j = 1$ producción agrícola, $j = 2$ procesado y envasado, $j = 3$ distribución, $j = 4$ consumo). $\alpha_{i,j}$ es el porcentaje de pérdidas de alimentos generados en cada etapa j por categoría de alimentos i [36].

4.3. ANÁLISIS DEL FLUJO DE ENERGÍA Y EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

A continuación, en base al trabajo realizado por Hoehn et al. [36], se extrajeron valores de pérdida energética en los residuos de alimentos por etapas, y haciendo una asignación en masa, se hizo un cálculo de la energía perdida debido a los desperdicios de cada categoría de alimento en cada una de las etapas [36]. El análisis del flujo de energía se desarrolla mediante una composición entre el análisis del flujo de material anteriormente estudiado y la demanda de energía primaria (PED) que se calculará seguidamente durante cada etapa de la cadena de suministros y para cada categoría de alimentos.

$$PED_{i,j} = W_{i,j} \cdot AP_{i,j}$$

Donde $W_{i,j}$ es la media ponderada de la intensidad energética en masa para cada categoría de alimentos i , en cada etapa de la cadena de suministro j ($j = 1$ la producción agrícola, $j = 2$ procesado y envasado, $j = 3$ distribución, $j = 4$ consumo), medida en kJ/kg y donde $AP_{i,j}$ es la producción anual de cada categoría i , en cada etapa j , medida en kg [36].

Seguidamente, se calcula la pérdida de energía incorporada que se genera al producir los alimentos:

$$EEL_{i,j} = \sum_{j=1}^i (PED_{i,j} \cdot \alpha_{i,j} - PED_{i,j-1} \cdot \alpha_{i,j-1})$$

Así, los resultados de la multiplicación del PED por sus respectivas pérdidas se restan a los resultados de dicha multiplicación, de la etapa anterior $\alpha_{i,j-1}$ [36]. Una vez obtenidos estos datos, el FEL de cada categoría de alimentos y en estudio se calcula. Siguiendo el concepto Organización para la Agricultura y la Alimentación de pérdidas de alimentos [47], FEL se puede definir, como la cantidad de energía química contenida en los alimentos, en un principio, dirigida al consumo humano y que, por cualquier razón no se destina a su propósito principal.

$$FEL_{i,j} = [(Prod_{i,j} \cdot F) \cdot NE_i] \cdot \alpha_{i,j} - [(Prod_{i,j-1} \cdot F) \cdot NE_i] \cdot \alpha_{i,j-1}$$

dónde $Prod_{i,j}$ es la producción de cada categoría de alimentos, que se multiplica por F , que son los factores de asignación y conversión propuestas por Gustavsson et al. [12] para representar la cantidad de alimento que se utiliza para el consumo humano y que es considerado comestible [36].

Seguidamente, utilizando los factores de conversión de Aldaco et al. (2018), se transformaron las pérdidas energéticas en emisiones de CO_2 [48].

Posteriormente, se han analizado tres posibles escenarios de gestión de residuos para ver, tanto desde un punto de vista energético, como desde un punto de vista de emisiones de CO_2 , cuál es la estrategia de gestión más adecuada.

Dichos factores de conversión se obtienen utilizando datos temporales relacionados con la evolución potencial del sistema de energía bajo dos predicciones a futuro en cuanto a emisiones de CO_2 hasta el año 2040. Una en un escenario de cumplimiento de los acuerdos del tratado de París de 2015 de reducción de emisiones de CO_2 , y otra en un escenario de no cumplimiento [48].

4.4. ASIGNACIONES

La gestión de la pérdida de alimentos en masa es la función principal del sistema y la producción de energía y CO_2 es una función adicional, para los escenarios de estudio. En el escenario de vertedero, la producción de energía varía dependiendo de la concentración de metano en el biogás. Así, la energía recuperada a través de las pérdidas de los alimentos es atribuida al total de carbono disponible en los residuos orgánicos [36].

En el escenario de incineración, basado en [39], la energía producida se calcula a raíz del poder calorífico superior (PCS) de cada porción de pérdidas y la cantidad que se incinera.

La eficiencia del metano al combustionar es de un 25% de poder calorífico inferior para generar electricidad, en el escenario de digestión anaerobia [49]. De este modo, el residuo resultado de la digestión anaerobia se conduce hasta una planta de compostaje, donde se produce biocompost.

El fertilizante mineral se reemplaza por el compost producido, con una relación de sustitución de 20 kg N por tonelada de compost [40].

4.5. INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA

Los datos de origen están basados del anuario de estadística del año 2015 del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio ambiente [50], el Instituto Español para la Diversificación y Ahorro de la Energía [51], la Asociación Española de la Industria de plásticos [52], la Asociación Española de Fabricantes de Pasta, papel y cartón [53] y la Base de Datos de Comercio Exterior [54]. Los datos correspondientes a 48 productos representativos se obtienen de la base de datos de consumo del MAPAMA [55]. Los productos que se agrupan en 11 categorías de alimentos (cereales, raíces y tubérculos, azúcar, aceites, verduras, frutas, legumbres, carne, pescado, lácteos y huevos), para cada etapa de la cadena de suministro [56], como se puede ver en las tablas [36].

Los factores de asignación, de conversión y de las pérdidas utilizado en las tablas 4.1 y 4.2 se basan en la metodología de Gustavsson et al. [12]. La excepción fueron algunos factores de pérdidas productos, tales como manzanas y plátanos, para los cuales estaban disponibles en Vinyes et al. factores FL específicos [57] y Roibas et al. [58].

4.6. ANÁLISIS DE DEMANDA ENERGÉTICA Y DE CO₂ EN LOS ESCENARIOS DE GESTIÓN

Basándonos en la metodología de Hoehn et al. [37], se analizó la demanda de energía primaria, para gestionar los residuos de las distintas categorías de alimentos en cada uno de los escenarios y además, como aspecto novedoso, se hizo un análisis de los

gramos de CO₂ por kilogramo de residuos gestionado que se emitieron en cada uno de los escenarios. Para hacer esta conversión de energía primaria utilizada en la gestión a las emisiones en gramos de CO₂ se utilizaron los factores de conversión de un trabajo realizado por Aldaco et al. [48].

Tabla 4.3. Emisiones de CO₂, en gramos por kilovatio hora, para distintos años.

gCO ₂ /kWh	2015	2020	2025	2030	2035	2040
ELC-Centralizado	319	335	397	476	488	550
ELC-Total	317	333	397	471	479	534

4.7. PREDICCIÓN DE EMISIONES DE CO₂ A FUTURO

El total de pérdidas alimenticias se ha hallado, sumando las pérdidas de cada categoría de alimentos, y en cada etapa, extraídos de Hoehn et al. [36] y después se ha multiplicado dicho total por los kWh que equivalen dichas pérdidas, considerando un total de 4,616 kWh de energía.

Este total se ha ido multiplicando por los factores de conversión de Aldaco et al. [48] para 2015, 2020, 2025, 2030, 2035 y 2040, en los dos casos analizados, en el que uno de ellos supone las emisiones de CO₂/kWh en un escenario en el que no se cumplan los acuerdos del tratado de París del año 2015; en cambio, el otro caso, supone que sí se cumplen los acuerdos del tratado de París.

Tabla 4.4. Emisiones de CO₂ en el escenario de no cumplimiento de los acuerdos de París.

gCO ₂ /kWh	2015	2020	2025	2030	2035	2040
ELC-Centralizado	319	335	397	476	488	550
ELC-Total	317	333	397	471	479	534

Tabla 4.5. Emisiones de CO₂ en el escenario de cumplimiento de los acuerdos de París.

gCO₂/kWh	2015	2020	2025	2030	2035	2040
ELC-Centralizado	319	175	121	69	13	56
ELC-Total	318	174	121	70	14	55

5. RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS DEL FLUJO DE MATERIA

En la tabla 5.1 se pueden ver las toneladas totales producidas en 2015, como se ha analizado, para cada categoría de los alimentos junto con las destinadas para el consumo humano. Las totales se obtienen mediante la suma de las pérdidas de alimentos en cada etapa de la cadena de suministros.

Así, se observa que donde más pérdidas de alimentos se producen es en las etapas de la producción agrícola y en la de consumo, pero especialmente las categorías de carne, frutas y verduras se encuentran entre las que producen más pérdidas a lo largo de la cadena de suministros.

Tabla 5.1. Miles de toneladas totales producidas en 2015 para cada categoría de los alimentos y en cada etapa de la cadena de suministros.

	TOTAL PRODUCIDAS 2015	COMIDA PARA EL CONSUMO HUMANO	PÉRDIDAS EN AGRICULTURA	PÉRDIDAS EN PROCESADO Y ENVASADO	PÉRDIDAS EN DISTRIBUCIÓN	PÉRDIDAS EN CONSUMO
Cereales	19699	3048	182	150	54	492
Raíces y tubérculos	2284	1460	292	175	49	150
Azúcar	512	512	127	7	22	67
Aceites vegetales	3912	782	171	30	5	54
Verduras	12788	8079	2104	119	351	935
Frutas	12548	8071	1614	129	379	1130
Legumbre s	503	194	19	8	2	7
Carne	6053	3982	127	192	146	386
Pescado	1258	629	59	34	37	52
Lácteos	8105	8105	283	93	38	538
Huevos	2040	1734	69	8	33	129
Total	69702	36600	5052	950	1120	3944

También, en la figura 5.1 se puede apreciar la diferencia entre las pérdidas producidas en cada etapa de la cadena alimentaria.

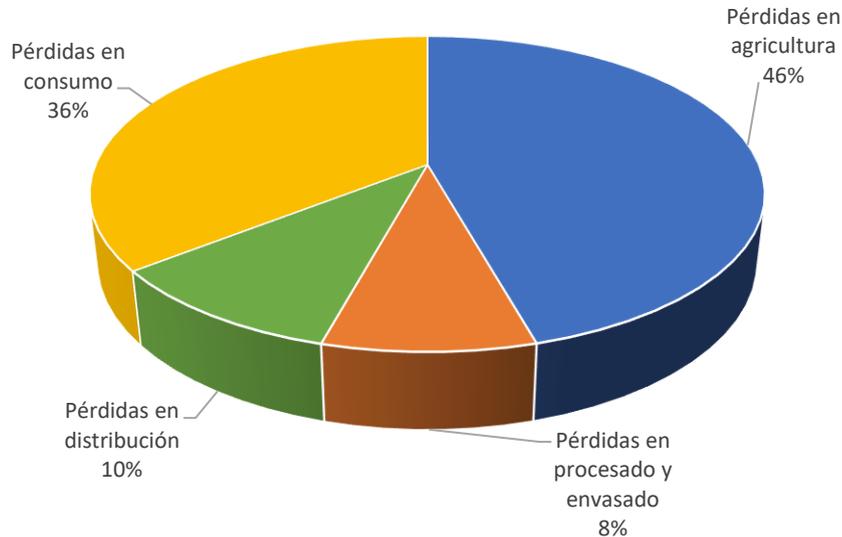


Figura 5.1. Pérdidas en masa producidas en cada etapa de los alimentos.

5.2. ANÁLISIS DEL FLUJO DE ENERGÍA

A partir de las pérdidas en toneladas, se obtienen los kJ de energía, como se puede apreciar en la tabla 5.2, en la que se ven que cereales, verduras, frutas, carnes y lácteos producen más pérdidas que las demás categorías de alimentos.

Por otra parte, se puede apreciar en la figura 5.2 que en la etapa de consumo de los alimentos se produce el mayor desperdicio de energía, de entre las demás etapas de la cadena de suministro.

Tabla 5.2. Pérdidas de energía en kJ para cada categoría de los alimentos y en cada etapa de la cadena de suministros.

	PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	PROCESADO Y ENVASADO	DISTRIBUCIÓN	CONSUMO	TOTAL
Cereales	59,7	254,5	135,7	1317,6	1767,6
Raíces y tubérculos	95,4	296,5	124,1	404,2	920,3
Azúcar	41,8	13,0	56,4	179,9	291,2
Aceites vegetales	55,9	51,7	14,5	146,2	268,3
Verduras	687,4	202,2	878,0	2504,6	4272,1
Frutas	527,2	218,5	948,9	3025,2	4719,8
Legumbres	6,4	14,8	4,2	17,7	43,0
Carne	41,6	326,1	366,1	1035,3	1769,2
Pescado	19,3	57,8	93,7	140,0	310,9
Lácteos	92,7	158,8	96,6	1440,7	1788,6
Huevos	22,6	14,1	82,8	347,6	467,1
Total	1650	1608	2801	10559	16618

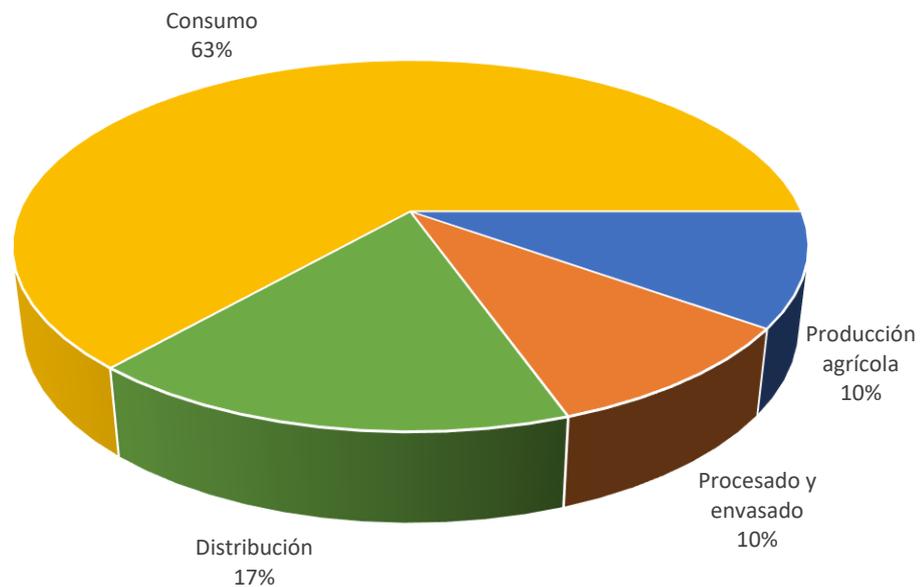


Figura 5.2. Pérdidas de energía en cada etapa de los alimentos.

Los resultados del análisis de flujo de energía se muestran también, en el diagrama de Sankey. El diagrama representa las entradas y salidas de energía primaria a lo largo de toda la cadena, en cada etapa utilizando la unidad de referencia (kJ / día) [36].

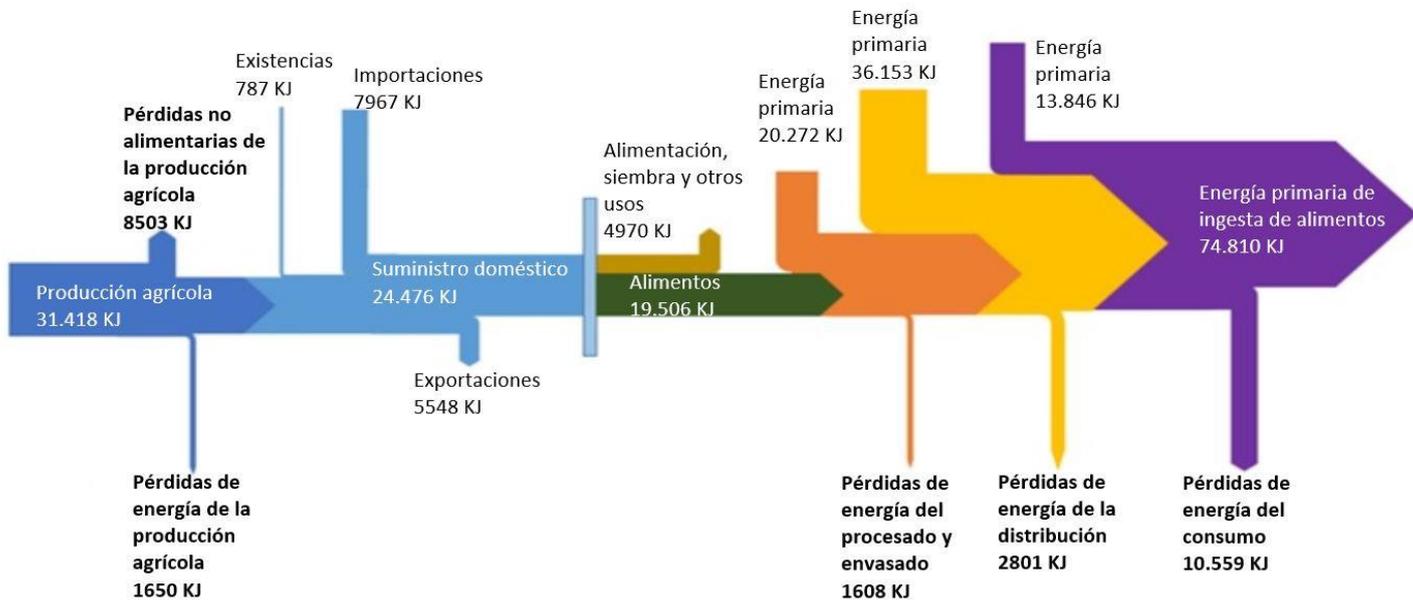


Figura 5.3. Diagrama Sankey de la demanda de energía primaria para cada etapa de la cadena de suministros, medidos en kilojulios por día para España en 2015.

5.3. EMISIONES DE CO₂

Aquí se aprecia las etapas en las que se produce mayor impacto en cuanto a huella de carbono ya que son mediciones en emisiones de CO₂, en gramos. Así, de nuevo, se puede apreciar en las emisiones de CO₂ que en la etapa de consumo se producen más gases de efecto invernadero y los cereales, verduras, frutas y carne son las categorías más perjudiciales en la producción de estos gases. Esto podría significar que cuanto más vegetariana sea la dieta, menos CO₂ se produce, ya que la suma entre las categorías de verduras, frutas, cereales y lácteos supone más de un 70% del total de emisiones producidas.

Tabla 5.3. Emisiones de CO₂ en gramos de cada categoría de los alimentos y en cada etapa de la cadena de suministros.

	PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	PROCESADO Y ENVASADO	DISTRIBUCIÓN	CONSUMO	TOTAL
Cereales	5,3	22,4	11,9	116	155,6
Raíces y tubérculos	8,4	26,1	10,9	35,6	81
Azúcar	3,7	1,1	5	15,9	25,6
Aceites vegetales	4,9	4,5	1,3	12,9	23,6
Verduras	60,5	17,8	77,3	220,5	376,2
Frutas	46,4	19,2	83,6	266,4	415,6
Legumbres	0,6	1,3	0,4	1,6	3,8
Carne	3,7	28,7	32,2	91,2	155,8
Pescado	1,7	5,1	8,2	12,3	27,4
Lácteos	8,2	14	8,5	126,9	157,5
Huevos	2	1,2	7,3	30,6	41,1
Total	145,3	141,6	246,6	929,8	1463,3

5.4. ESCENARIOS DE GESTIÓN DE CO₂

En el siguiente gráfico, los escenarios con valores negativos señalan que la demanda de energía primaria es menor que la energía que se recupera con los residuos, con lo que el escenario de vertedero es muy perjudicial y en general el escenario de digestión anaerobia y compostaje es el que mejor balance tiene.

De la misma forma, en el siguiente gráfico se transforma, la demanda de energía primaria a gramos de CO₂ por kilogramo y se puede ver que el escenario de digestión anaerobia y compostaje es el más interesante en términos de huella de carbono, salvo para las verduras, en los que la incineración es ligeramente mejor.

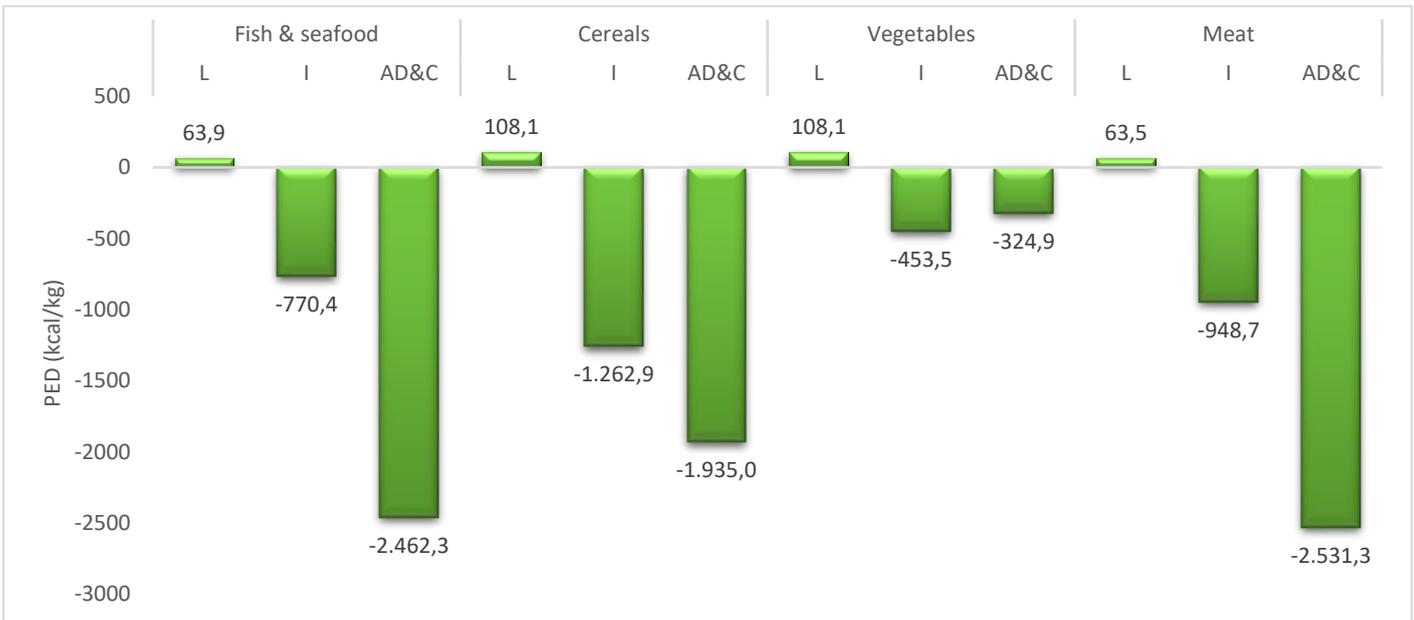


Figura 5.4. Demanda energética primaria en cada escenario estudiado para pescado, cereales, verduras y carne.

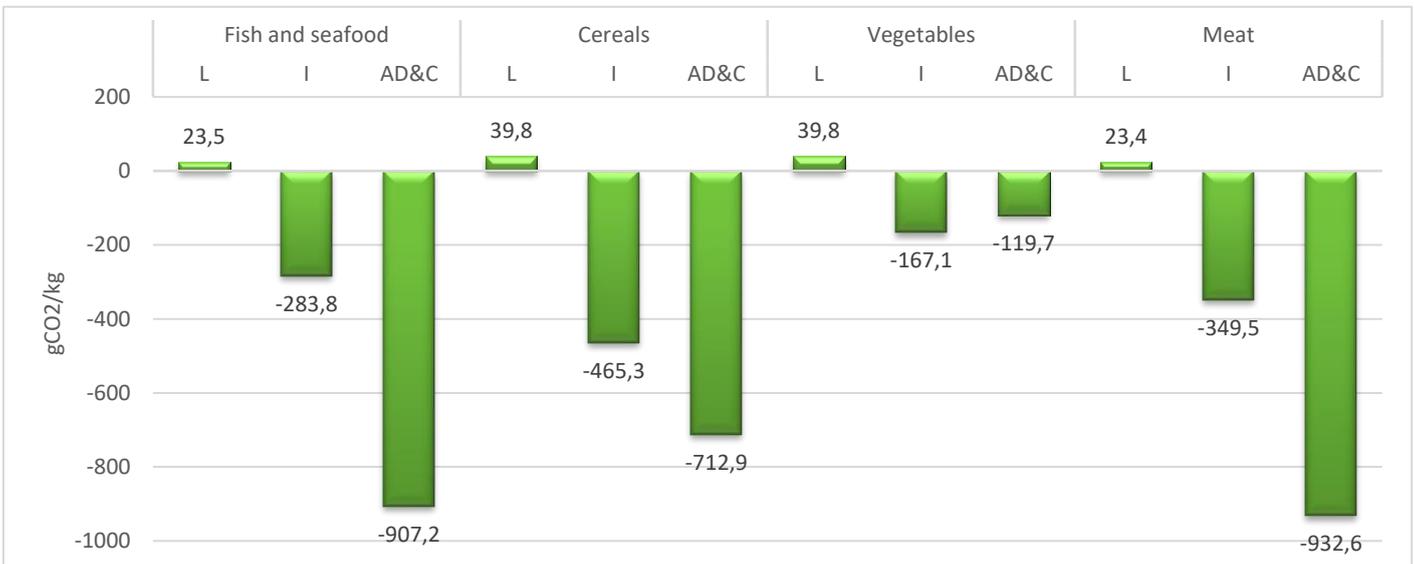


Figura 5.5. Emisiones de CO₂/kg en cada escenario estudiado para pescado, cereales, verduras y carne.

5.5. PREDICCIÓN DE EMISIONES DE CO₂

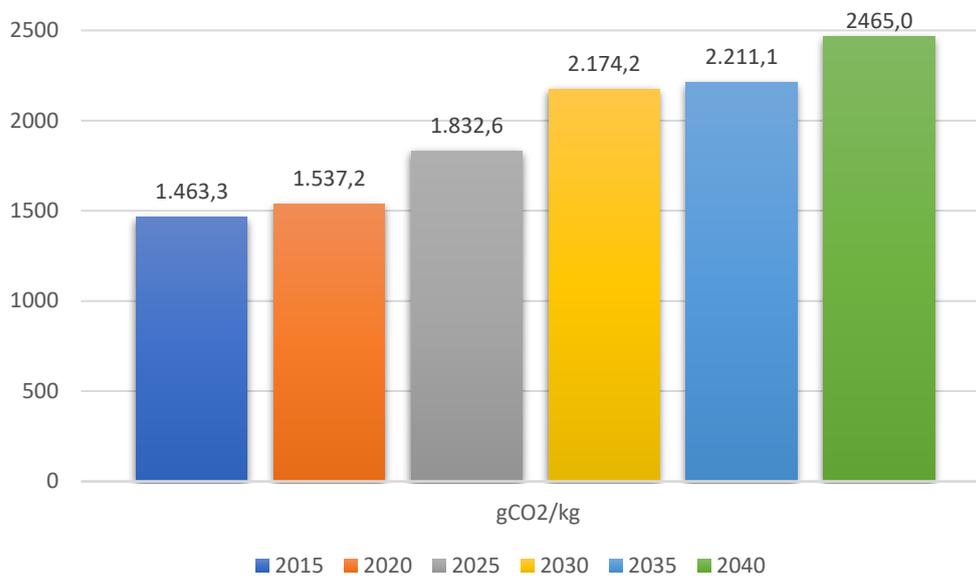


Figura 5.6. Predicción de emisiones de CO₂ en gramos por kg de residuo generado, en el escenario de no cumplimiento del tratado de París.

En el anterior gráfico se puede ver que en un escenario donde no se cumplan los acuerdos de París y teniendo en cuenta que los desperdicios de los alimentos en cada etapa no varían, las emisiones aumentarían a lo largo de los años. Con lo cual, en este escenario sí serían importantes las políticas que fomenten el desperdicio de alimentos, en beneficio de las políticas que impliquen la utilización energética de dichos residuos.

Sin embargo, en la figura 5.7, donde sí se cumplen los acuerdos del tratado de París, las emisiones de CO₂ sí se disminuyen con el paso de los años.

Aportando valor ambiental a los sistemas bioenergéticos en España

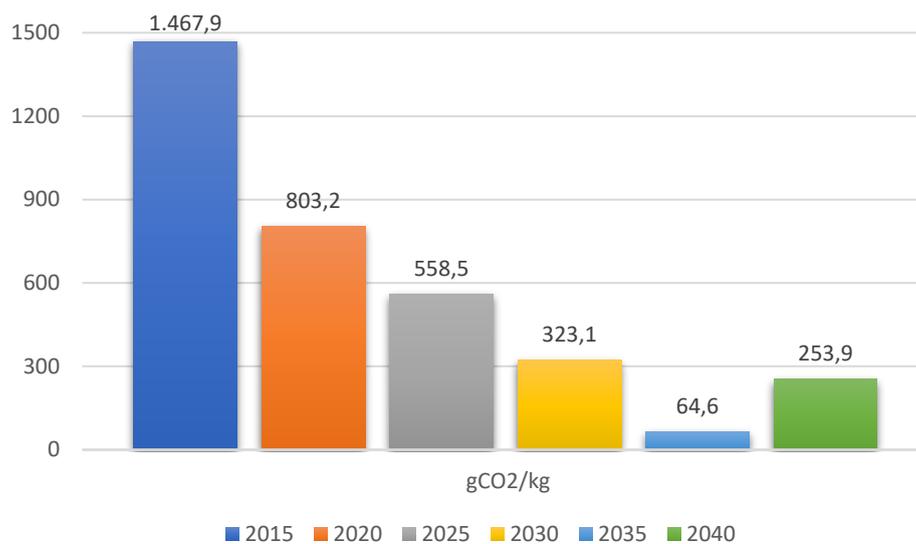


Figura 5.7. Predicción de emisiones de CO₂ en gramos por kg de residuo generado, en el escenario de cumplimiento del tratado de París.

6. CONCLUSIONES

Este trabajo se ha centrado en el estudio de las alternativas que permitan establecer las estrategias en la gestión de los residuos alimentarios, de forma que contribuyan a los objetivos presentados por las Naciones Unidas. De esta forma, se puede comparar los escenarios propuestos en términos de las pérdidas de alimentos y de las emisiones de CO₂.

En escenarios en los que sí se cumplan los acuerdos de París, el hecho de reducir los desperdicios de alimentos, desde un punto de vista de huella de carbono no es algo que marque grandes diferencias y en ese tipo de escenarios quizás sería más interesante, utilizar esos desperdicios, en lugar de reducirlos, para producir energía.

De esta manera se deben hacer políticas mixtas y descentralizadas, que se adapten a cada uno de los contextos (país, región...), para reducir los desperdicios de alimentos o para reducir las emisiones de CO₂ en su caso. Las estrategias de desperdicios de alimentos y las energéticas por separado, deberían dar pie a estrategias descentralizadas y mixtas, adaptadas a cada contexto o realidad local, y que contribuyan a: i) reducir el desperdicio de alimentos, ii) contribuir a adecuar las cadenas de producción de alimentos en concordancia con los acuerdos de París, iii) potenciar la producción de energías renovables.

Por otro lado, es un campo donde podría haber estrategias integrales en la reducción de los residuos y en la reducción de los gases GHG, pero que requiere de más estudio e investigación en las técnicas utilizadas, por lo que aquí se presenta una base para esta necesidad de desarrollo en estos métodos.

Este trabajo ha pretendido presentar esta vía y pretende servir de guía para futuros trabajos que quieran profundizar en este ámbito, debido a que es un campo en el que parece que se puedan integrar estrategias que mejoren la eficiencia de las estrategias de reducción de residuos de alimentos en relación a las estrategias para el fomento de

energías renovables, lo que requerirá futuros estudios que trabajen en escenarios de simulación a futuro de cómo podrían evaluar distintos contextos en función de distintas políticas y su posibilidad de cumplimiento o no cumplimiento.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Estévez, «Ecointeligencia,» 13 Febrero 2015. [En línea]. Available: <https://www.ecointeligencia.com/2015/02/energias-renovables-historia/>.
- [2] Oviedo-Salazar, «Daena: International Journal of Good Conscience,» 18 Abril 2015. [En línea]. Available: [http://www.spentamexico.org/v10-n1/A1.10\(1\)1-18.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n1/A1.10(1)1-18.pdf).
- [3] Eurostat, «Eurostat,» 2018. [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/es.
- [4] L. Montes, «Business insider,» 29 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.businessinsider.es/este-grafico-muestra-como-creceran-renovables-mix-energetico-cinco-paises-europa-segun-moodys-337141>.
- [5] Energiza.org, «Energiza.org,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.energiza.org/antiores/energizaenero2012.pdf>.
- [6] IDAE, «Energía de la biomasa,» Madrid, 2007.
- [7] IDAE, «Área tecnológica: Biomasa y Residuos,» 26 Enero 2012. [En línea]. Available: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Calor_y_Frio_Renovables_Biomasa_11012012_global_v2_09570f12.pdf.
- [8] National Energy Education Development, «National Energy Education Development,» 2014. [En línea]. Available: https://www.need.org/Files/curriculum/Energy%20At%20A%20Glance/BiomassAtAGlance_11x17.pdf.
- [9] European Bioenergy Day, «European Bioenergy Day,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.europeanbioenergyday.eu/bioenergy-facts/bioenergy-in-europe/what-are-the-volumes-of-biomass-used-in-the-eu28-to-produce-energy/>.
- [10] O. Carpintero, «Biocombustibles y uso energético de la biomasa: un análisis crítico,» 2006.
- [11] T. Garnett, «ELSEVIER,» 2011. [En línea]. Available: https://getmoreeducation.org/Content/Modules/Module1/2_Garnett_Carbon_Emissions_and_Food_Miles.pdf.
- [12] J. Gustavsson, C. Cederberg, U. Sonesson y A. Emanuelsson, «The Methodology of the FAO Study: Global Food Losses and Food Waste - Extent, Causes and Prevention,» Göteborg, 2011.
- [13] FAO, «Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo,» Roma, 2012.
- [14] ONU, «Objetivos de Desarrollo Sostenible,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- [15] ONU, «Objetivo número 7 - Energía asequible y no contaminante,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>.
- [16] D. T. Gumbel, «European Commission,» 16 Marzo 2018. [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/fw_eu-actions_ms_20180316_p01.pdf.

- [17] FUSIONS, «FUSIONS - Estimates of European food waste levels,» 31 Marzo 2016. [En línea]. Available: <http://www.fusions.org/phocadownload/Publications/Estimates%20of%20European%20food%20waste%20levels.pdf>.
- [18] European Comission, «Waste and the environment,» 2010. [En línea]. Available: <http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/WASTE%20BROCHURE.pdf>.
- [19] European Comission, «Preparing a Waste Prevention Programme,» Octubre 2012. [En línea]. Available: <http://ec.europa.eu/environment/waste/prevention/pdf/Waste%20prevention%20guidelines.pdf>.
- [20] E. Papargyropoulou, «The food waste hierarchy as a framework for the management of food surplus and food waste,» *Journal of Cleaner Production*, 1 August 2014.
- [21] DEFRA, «Department of Environment Food and Rural Affairs,» Junio 2011. [En línea]. Available: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69403/pb13530-waste-hierarchy-guidance.pdf.
- [22] Eurostat, «Eurostat,» 2018. [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics#Renewable_energy_produced_in_the_EU_increased_by_two_thirds_in_2007-2017.
- [23] European Environmental Agency, «La energía en Europa: situación actual,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2017-configuracion-del-futuro/articulos/la-energia-en-europa-situacion-actual>.
- [24] EurObserv'ER, «EurObserv'ER,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.euroobserver.org/category/all-solid-biomass-barometers/>.
- [25] European Comission, «Renewable energy,» 2017. [En línea]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy>.
- [26] European Comission, «National action plans,» 2013. [En línea]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/national-action-plans>.
- [27] European Comission, «Energy Strategy and Energy Union,» 2015. [En línea]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2030-energy-strategy>.
- [28] C. K. & R. Janssen, «S2Biom,» 2014. [En línea]. Available: https://www.wipmunich.de/pv-policy-group-european-best-practice-report/1_4_S2biom_review_state-of_the_art_Final.pdf.
- [29] R. N. J. R. P. R. G.-C. S. L.-L. R. v. d. V. M. R. T. G. P. M. R. T. S. F. G. A. R. H. N. M. L. G. J. Camia A., «JRC science for policy report - European Comission,» 2018. [En línea]. Available: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC109869/jrc109869_biomass_report_final2pdf2.pdf.
- [30] European comission, «Eu actions against food waste,» 2015. [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/food/safety/food_waste/eu_actions_en.
- [31] MAPAMA, «Más alimento, menos desperdicio,» 2017.

- [32] J. M. M. R. ACHM-E, «¿Cómo reducir las pérdidas y desperdicios de alimentos?,» ACHM-E, Oviedo, 2015.
- [33] A. B. Prieto, «Reducción de pérdidas y desperdicios alimentarios y bienestar social: una relación posible,» Oviedo, 2016.
- [34] MITECO, «Objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero,» 2018.
- [35] MITECO, «Estrategia Española para el Cambio Climático y Energía Limpia,» 2007.
- [36] M. M. J. L. I. G.-H. ,. A. B. P. F.-P. A. I. R. A. Daniel Hoehn, «Energy Embedded in Food Loss Management and in the Production of Uneaten Food: Seeking a Sustainable Pathway,» *Energies*, 27 February 2019.
- [37] D. H. M. M. I. G.-H. L. B.-B. A. B. P. F.-i.-P. I. V.-R. A. I. a. R. A. Jara Laso, «Assessing Energy and Environmental Efficiency of the Spanish Agri-Food System Using the LCA/DEA Methodology,» *ENERGIES*, 2018.
- [38] Thinkstep, «Gabi 6 Software and Database on Life Cycle Assessment,» Thinkstep, Leinfelden-Echterdingen, Germany, 2017.
- [39] R. A. A. I. V. C. M. F. A. B. a. P. F. M. Margallo, «Life cycle assessment modelling of waste-to-energy incineration in Spain and Portugal,» *Waste Management & Research*, 2014.
- [40] L. O. M. P. A. B. C. D. C. Serena Righi, «Life Cycle Assessment of management systems for sewage sludge and food waste: centralized and decentralized approaches,» *ELSEVIER*, 2012.
- [41] M. Eriksson, I. Strid y P. Hansson, «Carbon footprint of food waste management options in the waste hierarchy,» 2015.
- [42] FAO, «FAOSTAT's Food Balance Sheet,» 2001.
- [43] Organisation Internationale de Normalisation (ISO), «ISO 14040 - Análisis del Ciclo de Vida - Principios y marco de referencia,» 2006.
- [44] Organisation Internationale de Normalisation (ISO), «ISO 14044 - Análisis del Ciclo de Vida - Requisitos y directrices,» 2006.
- [45] F. W. Hunt R, «LCA How it came about - Personal reflections on the origin and the development of LCA in the USA,» Springer, Landsberg, Germany, 1996.
- [46] Y.-C. J. Y. K. S. Y. Yashoda Padeyanda, «Evaluation of environmental impacts of food waste management by material flow analysis (MFA) and life cycle assessment (LCA),» 2016.
- [47] FAO, «Save Food: Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction,» Working paper, FAO, Rome, Italy, 2014.
- [48] I. B. M. M. J. L. M. R. A. D.-R. A. I. P. E. Rubén Aldaco, «Bringing value to the chemical industry from capture, storage and use of CO₂: a dynamic LCA of formic acid production.,» *ELSEVIER*, nº Department of Chemical and Biomolecular Engineering and UCL Institute for Sustainable Resources, 2019.
- [49] J. C. Simone Manfredi, «Towards more sustainable management of European food waste: Methodological approach and numerical application,» *Waste Management & Research*, 2016.
- [50] MAPAMA, «Anuario de Estadística 2015,» Gobierno de España, 2015. [En línea].

Available: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2015/default.aspx>.

- [51] Instituto de Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), «IDAE,» Sevilla, 2015.
- [52] Asociación Española de Industriales de Plásticos (ANAIP), «La plasticultura en España,» Madrid, 2015.
- [53] Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón, «ASPAPEL,» Visitada en mayo de 2019. [En línea]. Available: <http://www.aspapel.es/>.
- [54] DataComex, «Estadísticas del comercio exterior,» Visitado en 2019. [En línea]. Available: <http://datacomex.comercio.es/>.
- [55] MAPAMA, «Informes de Consumo de Alimentación en España,» Madrid, 2015.
- [56] Base de datos BEDCA, «Base de datos Bedca. Base de Datos Española de Composición de Alimentos,» Visitada en mayo de 2019. [En línea]. Available: <http://www.bedca.net/>.
- [57] E. .. Vinyes, L. .. Asin, S. .. Alegre, P. .. Muñoz, J. .. Boschmonart y Gasol, «C.M. Life Cycle Assessment of apple and peach production, distribution and consumption in Mediterranean fruit sector.,» *ELSEVIER. Journal of Cleaner Production*, 2017.
- [58] L. Roibás, A. Elbehri y A. Hospido, «Carbon footprint along the Ecuadorian banana supply chain: Methodological improvements and calculation tool.,» *ELSEVIER. Journal of Cleaner Production*, 2016.