

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES**  
Departamento de Análisis Económico y Economía Política



**MEDIDAS PARA PROMOVER LA BIOMASA DEL SECTOR  
DEL OLIVAR Y ANÁLISIS DE SU VALOR ECONÓMICO  
PARA USOS TÉRMICOS Y ELÉCTRICOS EN ANDALUCÍA  
(ESPAÑA)**

**TESIS DOCTORAL**

**Doctorando**

Jesús Marquina de la Ossa

**Dirección de tesis:**

Dra. María del Pópulo Pablo-Romero Gil-Delgado

Catedrática de Economía Aplicada (Universidad de Sevilla)

Dra. María José Colinet Carmona

Investigadora en la Cátedra de Economía de la Energía y del Medio  
Ambiente (Universidad de Sevilla)

**Sevilla, 2022**

## ***Agradecimientos***

*A mis directoras de tesis doctoral, la prof. Dra. María del Pópulo Pablo-Romero y la Dra. María José Colinet, sin ellas este trabajo no hubiese visto la luz. Sus capacidades de investigación, sabiduría y paciencia han sabido marcar unas pautas bien definidas para que este aprendiz, que hoy presenta su tesis doctoral, haya podido culminar este proyecto con éxito.*

*A mi paisano Álvaro Espuny, por su ayuda e implicación. Él me ha enseñado de primera mano cómo es el funcionamiento de la industria olivarera.*

*A mis padres, por enseñarme los valores del sacrificio, la constancia y el esfuerzo, necesarios para conseguir los objetivos que nos marcamos en la vida.*

*Y, en especial, a mi esposa y a mi hija, ellas han sabido iluminarme en los momentos oscuros y han padecido mi ausencia en muchos momentos a lo largo de este arduo camino.*



2.4. Discusión .....	63
<b>Capítulo 3. El valor económico de la biomasa del sector del olivar para usos térmicos y eléctricos en Andalucía (España) .....</b>	<b>67</b>
3.1. Introducción .....	67
3.2. Metodología .....	70
3.2.1. Metodología empleada para el cálculo de la biomasa derivada de los residuos del sector del olivar .....	71
3.2.2. Metodología empleada para el cálculo de la energía eléctrica y térmica derivada de los residuos del sector del olivar .....	76
3.2.3. Metodología empleada para el cálculo del valor económico de la energía generada para usos térmicos y eléctricos derivados de los residuos del sector del olivar .....	79
3.3. Datos .....	81
3.3.1. Datos para el cálculo de la biomasa procedente de los residuos del sector del olivar.....	81
3.3.2. Datos para el cálculo de la energía eléctrica y térmica derivada de los residuos del sector del olivar .....	85
3.3.3. Datos para el cálculo del valor económico de la energía generada para usos térmicos y eléctricos derivados de los residuos del sector del olivar .....	85
3.4. Resultados .....	86
3.4.1. Subproductos generados por el sector del olivar en Andalucía .....	87
3.4.2. Potencial energético del olivar andaluz para usos térmicos y eléctricos .....	89
3.4.3. El valor económico de la biomasa del sector del olivar para usos térmicos y eléctricos en Andalucía .....	92
3.5. Discusión .....	95
<b>Capítulo 4. Conclusiones.....</b>	<b>100</b>
4.1 Conclusiones generales .....	100
4.2 Futuros estudios de investigación .....	104
<b>Bibliografía.....</b>	<b>106</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>127</b>

A.1. Anexo 1. Artículo publicado: Measures to promote olive grove biomass in Spain and Andalusia: An opportunity for economic recovery against COVID-19. <i>Sustainability</i> 2021, 13(20), 11318.....	128
A.2. Anexo 2. Artículo publicado: The economic value of olive sector biomass for thermal and electrical uses in Andalusia (Spain). <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> 2021, 148, 111278.....	161

## Índice de figuras

### Capítulo 2.

- Figura 2.1.** Esquema del proceso metodológico de la investigación .....25
- Figura 2.2.** Evolución de la producción de biomasa sólida y conjunto de energías renovables en Europa durante el período 1997-2019 (unidades: en ktep) 33
- Figura 2.3.** Evolución de la potencia eléctrica y térmica de biomasa instalada en España durante el período 1998-2020 (unidades: en MW) .....46
- Figura 2.4.** Distribución de la superficie cultivada de olivar en España (Unidades: número de hectáreas) .....47
- Figura 2.5.** Evolución de la potencia eléctrica de biomasa instalada en Andalucía durante el período 2000-2020 (unidades: en MW) .....61
- Figura 2.6.** Evolución de la potencia térmica de biomasa instalada en Andalucía durante el período 2005-2020 (unidades: en MW) .....62

### Capítulo 3.

- Figura 3.1.** Balance de masas del proceso producción del aceite de oliva y aceite de orujo de oliva .....72
- Figura 3.2.** Producción de aceitunas de almazara y de mesa (Unidad: en toneladas) 81
- Figura 3.3.** Productividad del olivar de almazara y de mesa (Unidad: kg de aceituna/olivo).....84
- Figura 3.4.** Valor de la biomasa para los distintos usos (Unidad: €/Tm) .....95
- Figura 3.5.** Margen del valor económico de la biomasa sobre su precio de mercado (Unidad: €/Tm) .....99

## Índice de tablas

### Capítulo 2.

<b>Tabla 2.1.</b> Comunicaciones de la Unión Europea relativas a la promoción del uso de las energías renovables .....	28
<b>Tabla 2.2.</b> Principales planes de energías renovables de España .....	35
<b>Tabla 2.3.</b> Principales Leyes del sector eléctrico .....	38
<b>Tabla 2.4.</b> Principales Reales Decretos sobre energías renovables para generación eléctrica .....	40
<b>Tabla 2.5.</b> Resultado de las liquidaciones anuales de retribución de las instalaciones de producción de energías renovables, cogeneración y residuos durante el período 2014-2020 .....	49
<b>Tabla 2.6.</b> Planes encaminados a fomentar el uso de energías renovables en Andalucía .....	52
<b>Tabla 2.7.</b> Principal normativa del sector energético y agrícola de Andalucía .....	55
<b>Tabla 2.8.</b> Incentivos autonómicos más recientes .....	58

### Capítulo 3.

<b>Tabla 3.1.</b> Número de olivos de almazara y de mesa.....	83
<b>Tabla 3.2.</b> Subproductos obtenidos de las almazaras, extractoras y entamadoras andaluzas (Unidad: en toneladas) .....	87
<b>Tabla 3.3.</b> Ramones y leñas obtenidos de la poda del olivar (Unidad: en toneladas).89	
<b>Tabla 3.4.</b> Cantidad total de subproductos o biomasa del sector del olivar para usos eléctricos y térmicos (Unidad: en toneladas) .....	90
<b>Tabla 3.5.</b> Datos potenciales de la biomasa del sector del olivar para usos eléctricos y térmicos .....	91
<b>Tabla 3.6.</b> Datos reales y resultados potenciales de la biomasa de olivar en Andalucía .....	91
<b>Tabla 3.7.</b> Valor económico de la energía producida a partir de la biomasa del sector del olivar para los distintos usos (Unidad: euros) .....	94





## **Resumen.**

Los combustibles fósiles continúan representando la mayor parte del consumo energético a nivel mundial. Esto provoca el aumento de gases efecto invernadero y contaminación medioambiental. Para ello, las distintas Convenciones sobre el Cambio Climático, han venido estableciendo una serie de medidas con el fin de poner en marcha una transición energética basada en las energías renovables. Recientemente, se ha celebrado la COP 2021 en Glasgow, y en ella se ha apostado por una transición energética hacia las energías renovables, con el propósito de combatir el cambio climático y de reducir las emisiones de gases efecto invernadero en la atmósfera. En este sentido, potenciar las energías renovables se ha convertido en uno de los principales objetivos a nivel mundial.

Igualmente, el objetivo de aumentar el uso de las energías renovables también ha sido objeto de interés recientemente. Con la crisis sanitaria provocada por el COVID-19, la economía mundial se ha visto fuertemente debilitada y, ante esta situación, los distintos gobiernos e instituciones han apostado por una recuperación verde para estimular la economía. Así, se estaría apostando, a su vez, por un modelo basado en la bioeconomía y en la economía circular, frente al modelo tradicional de producción y consumo.

España, al igual que el resto de países, se ha visto afectada económicamente por la crisis del COVID-19. Ante esta situación, la apuesta por invertir en el sector de las energías renovables supondría una alternativa para conseguir la estabilidad económica. Entre las energías renovables con mayor potencial en el territorio se encuentra la biomasa y, en especial, la biomasa de olivar. No obstante, esta fuente de energía aún no está lo suficientemente desarrollada en comparación con otras tecnologías, como la eólica, la solar térmica o la solar fotovoltaica. De esta forma, dado su potencial, sería interesante apostar por esta fuente de energía para poner en marcha la recuperación económica y para apostar por un modelo económico basado en la bioeconomía y la economía circular, uno de los principales objetivos marcados en los distintos planes energéticos.

Dada la relevancia y el elevado potencial que presenta la biomasa de olivar, esta tesis doctoral tiene como objetivo general reorientar y promover medidas encaminadas a impulsar la transición energética, fomentando el uso de las energías renovables y, en particular, el de la biomasa de olivar. Así, se pretende impulsar un modelo económico

basado en la bioeconomía y la economía circular, a través de un mayor aprovechamiento de esta materia orgánica como fuente de energía para usos térmicos y eléctricos en España y, especialmente, en Andalucía.

Esta tesis doctoral pretende ampliar el conocimiento y la literatura relativa al aprovechamiento de la biomasa del sector del olivar y proporcionar un conjunto de información no recopilada previamente en ningún otro trabajo de investigación. En este trabajo se recogen las principales normativas en materia de biomasa, haciendo especial referencia a los aspectos relacionados con la biomasa de olivar. Asimismo, a través de los datos energéticos de la biomasa de olivar se hace un análisis comparativo entre los datos reales y los datos potenciales. Por último, se analiza la cadena de valor de la biomasa del sector del olivar en Andalucía. El proceso metodológico de este trabajo sigue la siguiente cronología:

En primer lugar, esta tesis analiza la evolución y situación actual de la normativa que regula la biomasa del sector del olivar como fuente de energía renovable en Europa, España y Andalucía. Asimismo, analiza su efecto sobre la evolución del uso de la biomasa en la región andaluza, especialmente la de olivar. El análisis es novedoso, ya que no existen estudios previos que revelen este tipo de información para el sector de la biomasa de olivar. Los resultados muestran que, a partir de 2005, el desarrollo de la biomasa para usos térmicos y eléctricos es favorable, alcanzando los objetivos marcados por la planificación energética regional (Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética –PASENER 2007-2013). Sin embargo, esta situación se invierte a partir de 2012, con la desaparición del sistema de “primas” para las energías renovables. Además de esto, el sector de la biomasa de olivar se enfrenta a otros obstáculos como el coste de recogida de residuos y los escasos incentivos para este sector. La reorientación de las medidas, a fin de potenciar esta fuente de energía, generaría un efecto positivo para la economía de la región, que ha sido afectada por el COVID-19. Igualmente, el uso alternativo de la biomasa de olivar también desencadenaría en un impulso para la economía regional, a la vez que se promovería un modelo basado en la bioeconomía. Entre los principales usos alternativos cabe destacar la elaboración de alimentos para animales, como fuente de vitaminas, minerales, antioxidantes y fitoquímicos en la dieta humana o, como abono.

En segundo lugar, se determina la cantidad máxima de energía eléctrica y térmica que puede obtenerse en Andalucía a partir de los residuos del olivar y el valor económico

que podría generarse a partir de estos usos energéticos. Para ello, se comparan los datos reales de potencia instalada y de generación eléctrica y térmica, con los datos potenciales calculados que se obtendrían a pleno rendimiento. Los resultados muestran que existe un desaprovechamiento del 69,23% de los residuos de olivar para fines energéticos. Así, utilizando los recursos a pleno rendimiento, se podrían obtener 3,9 millones de toneladas de biomasa al año para fines energéticos. Actualmente, sólo se utilizan 2 millones de toneladas de biomasa para fines energéticos. Este desaprovechamiento se traduce en una generación de energía eléctrica y térmica inferior a la potencial. El pleno aprovechamiento de estos residuos permitiría que la generación de energía eléctrica y térmica fueran un 83,9% y un 64,9% mayor, respectivamente. Los resultados obtenidos también muestran que el valor económico de la biomasa del sector del olivar es superior al precio de mercado, siendo los valores medios de 248,20 €/t para uso térmico doméstico, 165,04 €/t para uso eléctrico y 139,50 €/t para uso térmico industrial. De este modo, se considera factible que la biomasa del olivar pudiese ser utilizada en un mayor grado que en la actualidad. En este sentido, es necesario la puesta en funcionamiento de más plantas de generación eléctrica y de instalaciones térmicas generadoras de energía.

En definitiva, los principales hallazgos nos llevan a concluir que la biomasa de olivar presenta una oportunidad energética y económica para Andalucía, y por extensión para los países mediterráneos. De este modo, un mayor aprovechamiento de esta fuente energética permitiría contribuir de manera positiva en la economía, con el desarrollo de las zonas rurales, la creación de empleo y el aumento de la inversión.

# Capítulo 1. Introducción.

## 1.1. Presentación

Los combustibles fósiles comprenden el 80% de la demanda actual de energía primaria a nivel mundial (United Nations, 2020a). Igualmente, en Europa el consumo de combustibles fósiles continúa siendo la fuente energética dominante, con el 72,6% del total (IDAE, 2020). Ante estas circunstancias, a través de las distintas Convenciones sobre el Cambio Climático, como la COP 2015 de París (United Nations, 2015) y, más recientemente, la COP 2021 de Glasgow (United Nations, 2021), los países han apostado por una transición energética hacia las energías renovables, con el propósito de combatir el cambio climático y de reducir las emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera.

Potenciar el uso de las energías renovables en España supondría una vía alternativa a las nuevas inversiones para la recuperación económica tras la crisis sanitaria provocada por el COVID-19. Esta crisis ha desencadenado en un panorama desolador en la economía a nivel internacional (Ceylan et al., 2020). La economía mundial se ha visto muy afectada, experimentando una contracción del 3,5% en 2020 (IMF, 2021), lo que indica una caída del Producto Interior Bruto (PIB) mucho más acusada que la de la crisis de 2008 (contracción del 1,3%) (Bénassy-Quéré et al., 2009). Por su parte, España ha registrado una caída del PIB del 11% en 2020, una de las más severas del grupo de economías avanzadas (Banco de España, 2021) y, Andalucía, ha visto reducido su PIB en un 11,8% con respecto al primer trimestre de 2020, ocho décimas más que a nivel nacional (Observatorio Económico de Andalucía, 2021). Esta situación ha desencadenado en una caída de la inversión, del empleo y del consumo. De esta forma, frente a este marco económico actual, son muchas las voces que han hecho hincapié en una recuperación verde como medio para estimular la economía (Narbona Ruíz, 2020). De hecho, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) establece planes impulsores de recuperación económica que tienen en cuenta la crisis climática y de la naturaleza (United Nations, 2020b). Asimismo, la Agencia Internacional de Energías Renovables, para afrontar el reto de la recuperación económica, insta a los gobiernos a aprovechar los avances realizados

con las energías renovables para no perder de vista la lucha contra el cambio climático y el compromiso con la sostenibilidad (IRENA, 2018). Por su parte, Europa, con la aprobación del programa NextGenerationEU pone en marcha un fondo dotado de 750 millones de euros, con el que se pretende impulsar la recuperación económica de los Estados miembros de una manera ecológica, digital y resiliente (Publications Office of the European Union, 2021). De esta forma, se pretende que las energías renovables jueguen un papel clave en la recuperación económica, garantizando la sostenibilidad y seguridad energética, creando empleo y fortaleciendo la resiliencia para proteger la salud y el bienestar de las personas.

Como consecuencia, cabe destacar el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia en España, creado en respuesta al programa NextGenerationEU en Europa, para gestionar los fondos destinados por Europa para estimular la economía y corregir los daños económicos provocados por el COVID-19. Así, se pretende que estos fondos vayan destinados a construir un futuro más sostenible con la puesta en marcha de un modelo económico basado en la bioeconomía y la economía circular. Ambos modelos económicos suponen una alternativa al modelo económico tradicional y una oportunidad para una recuperación económica sostenible. Tradicionalmente, la evolución de la economía global ha estado dirigida por un modelo lineal de producción y consumo. Este modelo está basado en la fabricación de productos a partir de materias primas que posteriormente se venden, se utilizan y, a continuación, se desechan como residuos (Hermida Balboa et al, 2014). Con la bioeconomía se pretende cambiar este escenario. Para ello, se establece un nuevo modelo económico basado en mejorar la utilización de los residuos de una forma sostenible (McCormick et al., 2013). En la Unión Europea (UE) este objetivo se recoge en el Programa Horizonte 2020, donde se establecen una serie de medidas con el fin de promover la bioeconomía, especialmente en las zonas rurales (EC, 2014; EC 2018c).

Las propuestas sobre bioeconomía establecidas en el Programa Horizonte 2020 de la UE se ha trasladado al ámbito nacional y regional de muchos países (Romero-García, 2016). En España, con la Estrategia Española de Bioeconomía se pretende impulsar la competitividad de la biotecnología y la agroalimentación española (Ministerio de

Economía y Competitividad, 2015). Por su parte, en Andalucía se ha puesto en marcha la Estrategia Andaluza de Bioeconomía Circular (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, 2018). Esta tiene como objetivo contribuir al crecimiento y desarrollo sostenible de Andalucía, así como impulsar actuaciones dirigidas al fomento de la producción de recursos y de procesos biológicos renovables, tales como la biomasa.

Por lo tanto, con la bioeconomía y la economía circular se pretende conseguir un mayor uso de las energías renovables, a la vez que se reduce el consumo de los combustibles fósiles. En Europa, desde 1997, la biomasa es la fuente de energía renovable que mayor uso representa, produciendo en 2019 el 44,67% del total renovable, lo que la sitúa en la primera posición del ranking de energías renovables (Eurostat, 2019a). Sin embargo, en España, a pesar del elevado potencial con el que cuenta esta fuente de energía renovable, la biomasa nunca ha ocupado un lugar privilegiado en cuanto a su uso. Las tecnologías renovables más desarrolladas y que más generan al sistema energético son; la eólica (50.896 GWh), la hidráulica (34.334 GWh), la solar fotovoltaica (7.877 GWh) y la solar térmica (4.867 GWh) (IDAE, 2020). Asimismo, en Andalucía, las energías renovables más desarrolladas y que más generan al sistema energético son; la eólica (6.759 GWh), la solar fotovoltaica (3.706 GWh) y la solar térmica (2.198 GWh) (Agencia Andaluza de la Energía, 2020a). Además, la biomasa presenta ciertas características que la favorecen frente al resto de energías renovables. Una de las más destacadas es que se trata de una energía gestionable, es decir, no depende de factores variables tales como el viento o el sol, lo que dota al sistema energético de una mayor seguridad de funcionamiento.

El uso de la biomasa como fuente de energía permite establecer los modelos de bioeconomía y economía circular, ya que sirve de base para sustentar una economía más sostenible, más respetuosa con el medioambiente y más consecuente con el aprovechamiento de los residuos. La bioeconomía, a su vez, se considera un pilar clave de innovación estratégica en la UE (Hamelin et al., 2019). Así, una economía que utilice biomasa en lugar de combustibles fósiles constituye un cambio significativo en los sistemas socioeconómicos, agrícolas, energéticos y técnicos (McCormick et al., 2013).

En Europa, la biomasa se compone de residuos provenientes de diversas actividades económicas, tales como; la agricultura, la silvicultura, la gestión de zonas verdes urbanas y el desperdicio de los alimentos (Hamelin et al., 2019). La biomasa procedente de la actividad agrícola presenta una especial relevancia como materia prima clave para la bioenergía europea. Esto se debe a los abundantes residuos que generan (Hamelin et al., 2019). Entre la biomasa procedente de la actividad agrícola destaca la biomasa del sector del olivar. Así, cabe señalar la relevancia que posee este cultivo y su sector agroindustrial para las zonas donde reside, especialmente en Europa, donde el olivar tiene una mayor presencia (Spinelli et al., 2010; Romero-García et al., 2014).

A nivel internacional el olivar ocupa un total de 11,5 millones de hectáreas, lo que representa el 1% de las tierras cultivables del planeta (Vilar et al., 2016). Actualmente, tiene presencia en países donde tradicionalmente se consideraba inimaginable que pudieran existir, como China, Australia, Letonia o Finlandia. No obstante, a pesar de su gran expansión por diversos países del mundo, el 80% de la superficie del olivar se concentra en la cuenca mediterránea (Vilar et al., 2016). Alrededor de este cultivo se asienta un sólido y creciente sector agroindustrial formado por 14.000 almazaras distribuidas por todo el mundo (Revista Interempresas, 2019). Estas se localizan principalmente en Europa (con algo más de 7.200), seguida de África (con casi 4.700); Asia (con algo más de 1.600); América (con 268); y Oceanía (con 34) (André et al., 2012). El número de orujeras y refinerías de aceite de oliva se sitúan en 253 y 83, respectivamente. Al igual que el olivar, las industrias del aceite de oliva también tienen una mayor presencia en los países mediterráneos, donde se produce el 94% del aceite de oliva del mundo (Christoforou et al., 2016). Esto convierte a la biomasa en una de las fuentes energéticas predominantes del mix energético a nivel mundial (Revista Interempresas, 2017).

En Europa, el 80% del olivar se concentra principalmente en los países mediterráneos, siendo España el país con más tierras dedicadas a este cultivo (2,69 millones de hectáreas en 2018) (Vilar et al., 2016; Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020a), seguida de Italia (1,23 millones de hectáreas en 2017) y Grecia (1,13 millones de hectáreas en 2017) (Vilar et al., 2018). De este modo, España se sitúa

a nivel mundial y europeo en el primer puesto en producción de aceite de oliva. La producción de aceite de oliva en España representa aproximadamente el 60% de la producción de la UE y el 45% de la mundial (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2016). Estas características favorecen la generación de subproductos de olivar para la generación de energía, lo que sitúa a España en una posición de liderazgo entre los países con mayor producción de biomasa de olivar. La mayor parte del cultivo de olivar en España se encuentra en Andalucía. Esta región concentra el 60% de las tierras cultivadas de olivar a nivel nacional (1,63 millones de hectáreas en 2018) y el 30% a nivel europeo (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020a; Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2015).

De este modo, el sector del olivar supondría una oportunidad para asentar el modelo de bioeconomía a nivel nacional y regional. La abundancia de este cultivo ha forjado un potente sector agroindustrial en España y, principalmente, en Andalucía. En esta región se concentra la mayor parte de las instalaciones existente a nivel nacional. En total son 844 almazaras (48% del total nacional), 219 entamadoras (45% del total nacional) y 45 extractoras (71% del total nacional) en 2017 (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, 2017a). Por lo tanto, Andalucía se convierte en una de las regiones europeas con más oportunidades a la hora de obtener este tipo de residuos. En concreto, la provincia de Jaén, en Andalucía, es la principal zona de producción de aceite de oliva en el mundo (Hamelin et al., 2019).

En consecuencia, la importancia del uso de los subproductos del sector del olivar como alternativa energética a las fósiles ha despertado gran interés por parte de la comunidad científica. Muestra de ello son las investigaciones sobre el aprovechamiento potencial de los subproductos de este sector (Rodríguez et al, 2008; Ruíz et al., 2017; Dermeche et al., 2013; García-Maraver et al. 2012; Algieri et al., 2019; Spinelli et al., 2011, Alatzas et al. 2019; Dounavis 2019). La mayoría de estos estudios centran su atención en los países mediterráneos, donde la presencia de este cultivo es abundante. De este modo, un adecuado aprovechamiento de los subproductos del sector del olivar permitiría poner en marcha, de manera efectiva, el concepto de bioeconomía establecido por la UE (Berbel et al., 2018c). No obstante, los subproductos del sector del olivar poseen



otras alternativas distintas a los fines energéticos desde el punto de vista de la bioeconomía. Por ejemplo, los citados subproductos sirven para la elaboración de alimentos para animales (Berbel et al., 2018a), como fuente de vitaminas, minerales, antioxidantes y fitoquímicos en la dieta humana o como abono, lo que permite mejorar la biodiversidad (Martínez-Romero et al., 2014). Esto demuestra el elevado valor que poseen los residuos de olivar, ya que a través de ellos se obtienen los citados subproductos.

En definitiva, la biomasa del sector del olivar y su elevado potencial energético suponen una alternativa al consumo energético actual, predominado, principalmente, por las energías fósiles. Un mayor aprovechamiento de los subproductos de este sector permitiría a la región andaluza apostar por un modelo basado en la bioeconomía y en la economía circular y, por lo tanto, en la bioenergía. Asimismo, el aprovechamiento de estos subproductos como vía de inversión, supondría implantar una “recuperación verde” para restablecer la estabilidad económica en la región tras la crisis ocasionada por el COVID-19.

## **1.2. Justificación de la tesis doctoral**

En las últimas décadas, España y, en consecuencia, Andalucía han ido fomentando el uso de las energías renovables, principalmente, a través de la puesta en marcha de los diferentes planes energéticos. El principal objetivo de estos planes se ha ido centrando en promover el uso de las energías renovables en detrimento de los combustibles fósiles. De hecho, en Andalucía, con la Estrategia Energética de Andalucía 2030 se pretende alcanzar para ese año una reducción del 23% de las emisiones de gases efecto invernadero respecto a 1990, con un aporte del 42% de renovables sobre el uso final de la energía y una mejora de la eficiencia energética del 39,5% (Consejería de la Presidencia, Administración Pública e Interior, 2021). Así, la biomasa, como energía renovable, presenta una oportunidad para establecer un modelo basado en la bioeconomía y la economía circular, a la vez que contribuye a cumplir con los objetivos marcados en materia energética.

En 2020, en Andalucía, la biomasa representa el 21% de la potencia renovable instalada, tanto para usos térmicos como eléctricos (Agencia Andaluza de la Energía, 2020a). Un porcentaje bastante reducido si se tiene en cuenta el elevado potencial que esta energía renovable posee en la región. Entre los cultivos agrícolas que ostentan un mayor potencial en la región se encuentra el olivar. Este es el cultivo que mayor superficie ocupa tanto a nivel nacional como regional, representa el 60% de la superficie cultivada en España. Igualmente, alrededor de este cultivo se consolida un potente sector agroindustrial, del que se obtienen elevadas cantidades de biomasa.

En este sentido, los antecedentes antes expuestos justifican la importancia que ostenta esta tesis doctoral, pues un mayor aprovechamiento de la biomasa de olivar supondría la ventaja de cumplir mejor con los objetivos marcados por Europa, España y Andalucía en materia energética, y una oportunidad para establecer el modelo económico basado en la bioeconomía y la economía circular. Así, el potencial de la biomasa del sector del olivar contribuye a mejorar el cambio climático y a mejorar la calidad medioambiental. Igualmente, un mayor aprovechamiento de este potencial, supondría una vía para la recuperación económica en la región tras la crisis del COVID-19, pues permitiría contribuir de manera positiva en la economía, con el desarrollo de las zonas rurales, la creación de empleo y el aumento de la inversión.

En definitiva, la presente tesis doctoral pretende ampliar la literatura relativa a la biomasa del sector del olivar y proporcionar un conjunto de información no recopilada previamente en ningún otro trabajo de investigación. Las principales novedades que aporta este trabajo son: a) la recopilación y discusión de las principales normativas en materia de biomasa, haciendo especial referencia a aspectos relacionados con la biomasa de olivar; b) la representación y valoración crítica de los principales datos energéticos de la biomasa de olivar a nivel europeo, nacional y autonómico; c) la valoración sobre las principales aportaciones de esta fuente de energía renovable a la economía regional; d) el análisis comparativo del potencial de la biomasa del sector del olivar en Andalucía con los datos reales ofrecidos por las distintas fuentes oficiales, de manera que se pueda destacar el grado de desaprovechamiento existente de esta fuente energética y; e) el análisis de la cadena de valor de la biomasa del sector olivar en Andalucía, de modo que

se pueda valorar económicamente la viabilidad de un mayor aprovechamiento de esta fuente de energía renovable, para usos térmicos y eléctricos.

### 1.3. Objetivos de la investigación de la tesis doctoral

La presente tesis doctoral tiene como objetivo general reorientar y promover medidas encaminadas a impulsar la transición energética, fomentando el uso de las energías renovables y, en particular, el de la biomasa de olivar. Así, se pretende impulsar un modelo económico basado en la bioeconomía y la economía circular, a través de un mayor aprovechamiento de esta materia orgánica como fuente de energía para usos térmicos y eléctricos. Para comprender mejor el objetivo general de este trabajo se han establecido dos objetivos específicos:

- 1) El primer objetivo se basa en destacar los efectos que han tenido las principales normativas aprobadas a nivel europeo, nacional y regional en el desarrollo de la biomasa del sector del olivar, y si esos efectos han sido positivos o negativos. Igualmente, se pretende impulsar el uso de esta fuente de energía, como posible alternativa, para dinamizar la economía tras la crisis sanitaria provocada por el COVID-19. De este modo, se propone el lanzamiento de una “recuperación verde”.
- 2) El segundo objetivo se centra en determinar la cantidad máxima de energía eléctrica y térmica que puede obtenerse en Andalucía a partir de los residuos del olivar y el valor económico que podría generarse a partir de esos usos energéticos. De este modo, se pretende ampliar las investigaciones previas sobre el potencial de la biomasa de olivar en Andalucía e introducir un novedoso análisis hasta ahora no contemplado en trabajos de investigación previos, como es el análisis de la cadena de valor para determinar qué usos generan mayor riqueza a esta región.

El primer objetivo específico responde al artículo de investigación titulado: **Measures to Promote Olive Grove Biomass in Spain and Andalusia: An Opportunity for Economic Recovery against COVID-19**. Este se publica en 2021 en la revista

*Sustainability* (Marquina et al., 2021a) y se desarrolla en el capítulo 2 de esta tesis doctoral.

El segundo objetivo específico responde al artículo de investigación titulado: **The economic value of olive sector biomass for thermal and electrical uses in Andalusia (Spain)**. Este se publica en 2021 en la revista *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Marquina et al., 2021b) y se desarrolla en el capítulo 3 de esta tesis doctoral.

#### **1.4. Estructura de la tesis doctoral**

La presente tesis doctoral ha sido elaborada en función del RD 99/2011 de 28 de enero, por el que se regulan las enseñanzas de doctorado. Asimismo, se acoge al apartado uno de los Acuerdos adoptados por la Comisión Académica del Programa de Doctorado en Ciencias Económicas, Empresariales y Sociales de la Universidad de Sevilla, de 29 de enero 2020, sobre las condiciones necesarias para la tramitación de la tesis doctoral. De este modo, se presenta una tesis doctoral con indicios de calidad. Las dos publicaciones realizadas por el doctorando responden a los capítulos 2 y 3 de esta tesis. En la elaboración de las citadas publicaciones, el presente doctorando participa en calidad de coautor junto a sus directoras de tesis.

La tesis se estructura en cuatro capítulos, de manera que el primero de ellos se compone de esta misma introducción, que sintetiza principalmente los contenidos relativos a la justificación y los objetivos fundamentales de la tesis doctoral. Posteriormente, el segundo capítulo responde al artículo de investigación publicado en la revista *Sustainability* en 2021 y titulado: **Measures to Promote Olive Grove Biomass in Spain and Andalusia: An Opportunity for Economic Recovery against COVID-19** (Marquina et al., 2021a). El tercer capítulo responde al artículo de investigación publicado en la revista *Renewable and Sustainable Energy Reviews* en 2021 y titulado: **The economic value of olive sector biomass for thermal and electrical uses in Andalusia (Spain)** (Marquina et al., 2021b). Por último, en el cuarto capítulo se desarrollan las conclusiones de esta tesis doctoral.

La información de referencia de las revistas científicas donde se han publicado ambos artículos es la siguiente:

- ❖ Sustainability (ISSN 2071-1050) es una revista internacional de acceso abierto patrocinada por la Editorial MDPI que publica artículos de revisión, artículos de investigación, comunicaciones y notas breves. Esta revista está enfocada en la sostenibilidad ambiental, cultural, económica y social de los seres humanos. Está indexada en la *Web of Science (WoS)*, perteneciendo al catálogo *ISI Journal Citation Reports (JCR)*. Su factor de impacto JCR en 2020 es de 3,251 y el de los últimos cinco años es de 3,473. Además, en esta revista se incluyen tres categorías: ‘Environmental Sciences’ (SCIE, Q2); ‘Environmental Studies’ (SSCI, Q2); y ‘Green & Sustainable Science & Technology’ (SSCI, Q3).
  
- ❖ Renewable and Sustainable Energy Reviews (ISSN 1364-0321) es una revista internacional patrocinada por la Editorial Elsevier que publica artículos de revisión, investigaciones originales, estudios de casos y análisis de nuevas tecnologías que tienen un elemento de revisión significativo y que puede tomar la forma de una crítica, comparación o análisis. También publica mini-revisiones, denominadas Expert Insights. Esta revista está enfocada en los recursos energéticos, medio ambiente, aspectos tecno-socioeconómicos y la sostenibilidad. Está indexada en la *Web of Science (WoS)*, perteneciendo al catálogo de *ISI Journal Citation Reports (JCR)*. Su factor de impacto JCR en 2020 es de 14,982 y el de los últimos cinco años es de 14,916. Además, en esta revista se incluyen dos categorías: ‘Energy & Fuels’ (Q1); y ‘Green & Sustainable Science & Technology’ (Q1).

## **Capítulo 2. Medidas para promover la biomasa de olivar en España y Andalucía: Una oportunidad para la recuperación económica frente al COVID-19.**

### **2.1. Introducción**

Este capítulo responde al primer objetivo de esta tesis doctoral y corresponde al artículo de investigación, **Measures to Promote Olive Grove Biomass in Spain and Andalusia: An Opportunity for Economic Recovery against COVID-19**, publicado en la revista *Sustainability* (Marquina et al., 2021a). En este capítulo, se analiza la evolución y situación actual de la normativa que regula la biomasa de olivar como fuente de energía renovable en Europa, España y Andalucía. Asimismo, se analiza su efecto sobre la evolución en el uso de la biomasa en la región andaluza, especialmente la de olivar.

El objetivo de este análisis es examinar los efectos que han tenido las principales normativas aprobadas sobre el desarrollo de la biomasa de olivar, y si esos efectos han sido positivos o negativos. El análisis es novedoso, pues hasta el momento no existen estudios previos que analicen la normativa que ha venido regulando el uso de la biomasa de olivar en los últimos años y los efectos sobre su desarrollo, especialmente en Andalucía. Si bien cabe destacar que anteriormente se han realizado análisis similares, pero haciendo referencia a otras fuentes de energía renovable o refiriéndose a otros países. Muestra de ello son los estudios de Pablo-Romero et al. (2013) sobre medidas de fomento de la energía térmica en España o el de Bouznit et al. (2020) sobre medidas para promover las energías renovables para generación eléctrica en Argelia. Por otro lado, con este análisis se pretende impulsar políticas encaminadas a promover la biomasa de olivar como fuente de energía para usos térmicos y eléctricos. Además, también se pretende que el uso de esta fuente de energía presente una posible alternativa para dinamizar la

economía, que se ha visto muy afectada por la crisis sanitaria provocada por el COVID-19. Por lo tanto, se propone el lanzamiento de una “recuperación verde” donde tenga protagonismo el aprovechamiento de la biomasa. Para ello, se analizan los planes y programas, leyes y otras normativas aprobadas con este fin en un triple escenario: europeo, español y regional. Es importante destacar que, tanto en el ámbito europeo como en el español, existen numerosas normativas que pueden tener también influencias en el desarrollo del aprovechamiento eléctrico de la biomasa de olivar de forma indirecta. En este análisis sólo se tienen en cuenta aquellas que tienen un impacto directo.

De este modo, la relevancia del sector olivarero en la región andaluza, sus perspectivas de crecimiento en un futuro inmediato y su capacidad para generar energía renovable a partir de sus residuos justifican el interés de este estudio. Además, el análisis es relevante, ya que puede permitir mejorar la orientación de las políticas en el principal país y región con cultivo de olivar, a la vez que se hace extensivo a otros países mediterráneos, también afectados por el COVID-19.

La biomasa de olivar como fuente energética se encuentra regulada por las distintas normas por las que se rige este sector. En Europa, ésta comienza a regularse a partir de 1997, con la aprobación del Tratado de Ámsterdam (donde se incluye el principio de desarrollo sostenible en los objetivos comunitarios) y la elaboración del Libro Blanco de la Energía (OOPEC, 1997a). Con ellos, se pretende básicamente promover el uso de las energías renovables. Las primeras medidas propuestas por el Libro Blanco de la Energía se centran en la mejora de la competitividad, la seguridad de suministro y la protección del medio ambiente. Entre sus medidas fiscales y financieras destacan un tratamiento fiscal favorable para las energías renovables, subvenciones para la puesta en marcha de nuevas centrales de producción e incentivos financieros destinados a los consumidores (EC, 1998). A partir de este momento, las empresas relacionadas con el sector agrícola y oleícola (principalmente almazaras, entamadoras, extractoras y un reducido número de agricultores) comienzan a tener un mayor incentivo para desarrollar tareas de aprovechamiento de residuos con el propósito de producir energía, principalmente para autoconsumo.

De manera paralela, en este mismo año, con la aprobación de la Agenda 2000 se invita a fomentar las fuentes de energías renovables. También se propone que la biomasa debe desarrollarse por todos los medios disponibles en el ámbito agrícola, fiscal o industrial, lo cual anima a los Estados miembros a conceder ayudas para su desarrollo (OOPEC, 1997b). Todos estos antecedentes influyen en la evolución y el avance de la biomasa como fuente de energía renovable. Su relevancia, a nivel europeo, se pone de manifiesto por su alto nivel de producción (102.615 ktep, que representa 44,67% de la producción total de las energías renovables en 2019) (Eurostat, 2019a). Entre los principales productores europeos se encuentran Alemania, Francia, Italia, Suecia, Finlandia y Polonia con un 57,56% de la producción total en 2019 (Eurostat, 2019b). Así, los países nórdicos y bálticos, junto con Austria y Finlandia son los principales consumidores de biomasa (Energiza, 2012).

Entre estos países no se encuentra ninguno de la cuenca mediterránea, donde predomina el cultivo de olivar. En este sentido, España no ocupa un lugar privilegiado a nivel europeo en la producción de energía primaria a partir de biomasa. Sin embargo, destaca por su gran capacidad para obtener estos recursos. El territorio cuenta con 50,6 millones de hectáreas cultivadas en 2020 (el 5,43% corresponden al olivar) (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020a) y con un sólido y numeroso sector agroindustrial que produce elevadas cantidades de biomasa cada año (Unión por la biomasa, por el empleo, la sostenibilidad y el desarrollo rural, 2018). A pesar de ello, en 2018 el potencial de la biomasa se sitúa en 17.287 ktep (un 18,36% del total europeo) (IDAE, 2011a) y el consumo en 5.444 ktep (1.314 ktep para usos eléctricos y 4.130 ktep para usos térmicos) (IDAE, 2018).

Dentro de España, Andalucía destaca por representar el 17,1% del potencial de la biomasa (2.963 ktep) en 2018, lo que equivale al 16,2% del consumo de energía primaria de la región (IDAE, 2018). La región cuenta con 8,76 millones de hectáreas agrícolas en 2020, de las que 1,66 millones son ocupadas por el olivar (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020a). Asimismo, este cultivo no ha dejado de expandirse (un 8,1% desde el año 2004) (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020a). Los restos de las industrias de obtención del aceite (orujo, orujillo, hueso de aceituna y hoja

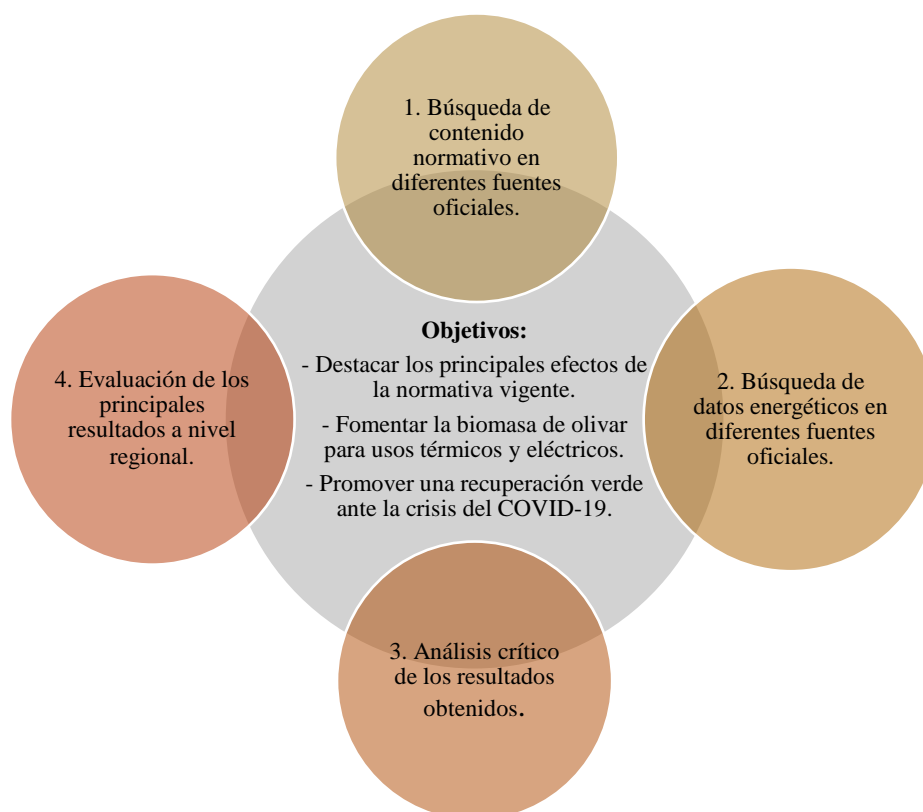


de almazara) son tradicionalmente utilizados por 13 de las 17 plantas de generación eléctrica andaluzas como combustible de la propia industria olivarera (Agencia Andaluza de la Energía, 2020b).

## 2.2. Metodología

La figura 2.1. muestra el procedimiento metodológico de este trabajo:

**Figura 2.1.** Esquema del proceso metodológico de la investigación



*Fuente: Elaboración propia.*

En primer lugar, se recopila y analiza las distintas normativas (planes energéticos, leyes y programas de incentivos). De estas, se resaltan los aspectos más relevantes que afectan a la biomasa y, especialmente, a la biomasa del olivar. El análisis se realiza desde las primeras políticas de energías renovables aprobadas (1997) hasta 2020. Las principales fuentes de búsqueda de información son: la web de la Comisión Europea, BOE (Boletín Oficial del Estado), BOJA (Boletín Oficial de la Junta de Andalucía) y Ministerios de España y Consejerías de la Junta de Andalucía.

En segundo lugar, se recogen datos energéticos referentes a la biomasa y la biomasa del olivar. Igualmente, estos datos se recopilan para el período 1997-2020. Los datos se obtienen de diferentes fuentes oficiales como Eurostat, la Agencia Europea de Medio Ambiente, IDAE (Instituto de Diversificación y Ahorro Energético) y la Agencia Andaluza de la Energía.

En tercer lugar, se realiza un análisis crítico con los resultados obtenidos a nivel europeo, nacional y regional.

En cuarto lugar, se evalúan los principales resultados a nivel regional.

Finalmente, cabe señalar que el motivo que justifica los medios de búsqueda utilizados para la recogida de información es el carácter oficial y la calidad de las diferentes publicaciones en determinadas revistas de alto impacto.

### **2.3. Resultados**

Los resultados de este artículo se pueden dividir en tres partes. En cada una de estas se analizan las principales normativas y planes energéticos aprobados en Europa, España y Andalucía. De esta forma, dicho análisis revela los efectos que las políticas han tenido en el desarrollo de la biomasa de olivar, las oportunidades que presenta para un mayor uso y, en consecuencia, para la recuperación económica tras el COVID-19.

### **2.3.1. Normativa que regula a la biomasa de olivar en Europa**

El cultivo del olivo ocupa más de 11 millones de hectáreas en todo el mundo. Casi 7 millones (60%) se concentran en Europa, más concretamente en los países de la cuenca mediterránea (Vilar et al., 2016). Como resultado, la UE es líder mundial en la producción de aceite de oliva, con una producción media de 2,1 millones de toneladas por año (68% de la producción mundial) (Berbel et al., 2018a). La mayor parte de esta producción se concentra en los países mediterráneos, entre los que prevalecen España, Italia y Grecia (70% de la producción europea), siendo España el principal productor de aceite de oliva (con una producción de 1,12 millones de toneladas durante la temporada 2019-2020) (Castillo Guerrero, 2012; Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020b). En este sentido, la importancia del sector olivarero justifica la relevancia que tiene este cultivo en su contribución a la producción de energías renovables. Por ello, los residuos generados por este cultivo han sido objeto de gran interés en el desarrollo de las distintas normativas europeas relativas a las energías renovables.

#### *2.3.1.1. Comunicaciones de la Unión Europea*

Las primeras medidas para impulsar la biomasa de olivar en Europa tienen lugar con la aprobación del Libro Blanco de la Energía en 1997 [COM (1997) 0599]. Desde entonces, como se muestra en la Tabla 2.1., la UE ha publicado una serie de documentos relacionados con su posición a favor de la reducción del cambio climático y su compromiso con el uso de energías renovables. En cada uno de estos documentos, la biomasa es objeto de especial atención, ya que esta fuente de energía es la más utilizada en el territorio europeo (Eurostat, 2019a).

**Tabla 2.1.** Comunicaciones de la Unión Europea relativas a la promoción del uso de las energías renovables

Denominación	Año
Libro Blanco “Energía para el futuro: fuentes de energía renovables” [COM (1997) 0599]	1997
Libro Blanco sobre responsabilidad ambiental de la Unión Europea [COM (2000) 66 final]	2000
“Plan de Acción sobre la Biomasa” [COM (2005) 628 final]	2005
Libro Verde de la Comisión “Estrategia europea para una energía sostenible, competitiva y segura”	2006
“Plan de Acción para los Bosques” [COM (2006) 302]	2006
“Programa de trabajo de la energía renovable – Las energías renovables en el siglo XXI: construcción de un futuro más sostenible” (Plan de Acción 2007-2009)	2007
Informe de seguimiento del Plan de Acción de la Biomasa [COM (2009) 0192]	2009
Informe relativo a los requisitos de sostenibilidad para el uso de fuentes de biomasa sólida y gaseosa en los sectores de la electricidad, la calefacción y la refrigeración [COM (2010) 0011 final]	2010
“Energía Limpia para todos los Europeos” [COM (2016) 860 final]	2016
El Pacto Verde Europeo [COM (2019) 640 final]	2019
Anexo sobre las directrices para la infraestructura energética transeuropea [COM (2020) 824 final]	2020

Fuente: *Elaboración propia a partir de EUR-Lex (EC, 1998; OPEEC, 1997b; EC, 2005; EC, 2006a; EC, 2006b; EC, 2007; EC, 2009; EC, 2010; EC, 2016; EC, 2019; EC, 2020).*

En 2005, la Comisión Europea puso en marcha, por primera vez, un “Plan de acción sobre biomasa” [COM (2005) 628 final]. En este plan se establecen una serie de medidas encaminadas a incrementar el desarrollo de este tipo de energía a partir de la madera, los residuos y los cultivos agrícolas (EC, 2005). También tenía como objetivo reducir la dependencia de los combustibles fósiles, reducir las emisiones de gases efecto invernadero y estimular la actividad económica en las zonas rurales. Todo esto se debe a que la biomasa representa más de la mitad (del 44% al 65%) de la energía renovable consumida en Europa. En este sentido, la Comisión Europea identifica tres sectores en los que el recurso de biomasa debe ser una prioridad: producción de calor, producción de electricidad y transporte. Además, todos los puntos de este plan están relacionados con un conjunto de medidas, llevadas a cabo por la Política Agrícola Común (PAC), donde gran parte de las ayudas van destinadas a promover los cultivos energéticos y el aprovechamiento energético de los subproductos y residuos agrícolas. En el caso del olivar, las ayudas establecidas contemplan determinadas prácticas agroambientales, entre ellas, el aprovechamiento activo de los residuos de las podas.

Un año más tarde, la Comisión Europea presenta el "Plan de acción forestal" [COM (2006) 302] como parte del desarrollo de la Estrategia forestal para la Unión Europea (1998), que también incluye la biomasa de olivar (EC, 2006). Este Plan contempla cuatro objetivos principales para optimizar la gestión sostenible y el papel multifuncional de los bosques de la Unión Europea:

- Incrementar la competitividad a largo plazo.
- Mejorar y proteger el medio ambiente.
- Contribuir a una mejor calidad de vida.
- Fomentar la comunicación y la coordinación con el objetivo de incrementar la coherencia y la cooperación a diferentes niveles.

De este modo, se pretende promover el uso de biomasa forestal para la producción de energía, enfocándose en el desarrollo de mercados de pellets y astillas de madera.

Posteriormente, en 2009 se elabora un Informe de seguimiento del Plan de acción sobre biomasa [COM (2009) 0192], donde se reconoce la desviación del cumplimiento del objetivo 2010 en materia de fuentes de energías renovables. Esta desviación se debe al aumento del consumo de energía en la UE y al desarrollo insuficiente de las energías renovables (EC, 2009). Entre las conclusiones destaca la necesidad de actuar con prudencia en el uso de la biomasa como fuente de energía renovable, y propone un adecuado sistema de supervisión.

En 2010, la Comisión Europea publica el "Informe ... sobre los requisitos de sostenibilidad para el uso de fuentes de biomasa sólida y gaseosa en la electricidad, la calefacción y la refrigeración" [COM (2010) 0011 final]. En este se recomienda que los Estados miembros que tengan o que introduzcan sistemas nacionales de sostenibilidad en relación con la biomasa sólida y gaseosa velen porque dichos sistemas sean iguales a los establecidos en la Directiva sobre energías renovables. Con ello se pretende fomentar la producción y el uso sostenible de la biomasa, un mercado interno de biomasa que funcione bien y la eliminación de obstáculos al desarrollo de la bioenergía (EC, 2010).

Del mismo modo, es importante subrayar el Comunicado de la Comisión sobre “Energía limpia para todos los europeos” [COM (2016) 860 final], en 2016. En él se establece que solo reciba apoyo público la conversión eficiente de biomasa en energía, es decir, aquella que presente unas características favorables y cumpla con unos criterios de sostenibilidad adecuados. Con esto se pretende evitar los posibles efectos adversos que puede ocasionar para el clima el uso descontrolado de la biomasa (EC, 2016). En este sentido, el cultivo del olivar presenta unas características favorables que lo sitúan en una mejor posición con respecto a otros cultivos. Esto se debe a que el olivar es un cultivo arbóreo ordenado, cuya biomasa está controlada por las necesidades de crecimiento de las plantas (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, 2015). En definitiva, aunque tiene que cumplir con los criterios de sostenibilidad de la UE, parte de una posición más favorable que la biomasa procedente de espacios forestales naturales (EC, 2016).

Por último, cabe destacar el Pacto Verde Europeo [COM (2019) 640 final], que incluye una serie de medidas relacionadas con el clima y el medio ambiente. Por lo tanto, el objetivo prioritario es promover que la UE sea el primer continente a nivel mundial en lograr la neutralidad climática para 2050 (EC, 2019). Asimismo, el Anexo sobre directrices para la infraestructura energética transeuropea [COM (2020) 824 final] tiene como objetivo ampliar la infraestructura energética europea, con el fin de abordar la fragmentación de las interconexiones entre los Estados miembros en su aislamiento de las redes de gas y electricidad, asegurar y diversificar los suministros, las fuentes y las rutas de suministro de energía de la UE, así como incrementar la integración de las fuentes de energía renovables (EC, 2020). Ambas normativas, recientemente aprobadas, promueven directamente el uso de la biomasa del olivar con fines energéticos.

### *2.3.1.2. Directivas europeas*

La Directiva 2001/77/CE (DOUE-L-283, 2001) es la primera en promover el cumplimiento de los objetivos en la UE. Más tarde, se aprueba la Directiva 2003/54/CE donde se establecen regulaciones aplicables al sector eléctrico en general (DOUE-L-176, 2003). Aunque todavía no consta una mención expresa al sector de la biomasa, sí que

existe una regulación general de las renovables. Esto ha favorecido a que durante años el consumo de energía renovable de la UE haya crecido de manera constante. Entre 2000 y 2007, fue de aproximadamente 25 TWh por año. Asimismo, se han incrementado las instalaciones de calderas por biomasa de forma significativa desde 2004, convirtiéndose las aplicaciones para calefacción y ACS abastecidas con pellets en una práctica habitual en muchos de los países europeos (Energiza, 2012).

En 2009, con la entrada en vigor de la Directiva 2009/28/CE, se establece el objetivo de alcanzar el 20% del consumo final de energía procedente de fuentes renovables para 2020. A partir de este momento, se comienza a hacer mención expresa de la biomasa en el ámbito normativo, estableciéndose los criterios de sostenibilidad de biocarburantes y biolíquidos (DOUE-L-140, 2009). Esta Directiva se revisa en junio de 2018, donde se abordan criterios de sostenibilidad para la utilización de la biomasa, y en el caso de la biomasa residual se declara lo siguiente (EC, 2018a):

- La biomasa no debe proceder de tierras de elevado valor en términos de biodiversidad, ni de turberas que no estén drenadas.
- La biomasa forestal no debe producirse de forma insostenible.
- La reducción de emisiones deben ser al menos del 80% para la producción de electricidad, calefacción y refrigeración a partir de biomasa en instalaciones posteriores a su puesta en marcha el 1 de enero de 2021. Y a partir del 1 de enero de 2026 del 85%.
- Las plantas de generación eléctrica superiores a 20 MW siempre deben usar tecnología de cogeneración.

Finalmente, en diciembre de 2018 entra en vigor el Reglamento (UE) 2018/1999. En él se establecen una serie de medidas en consonancia con el Acuerdo de París de 2015 y los objetivos específicos de la Unión para 2030 en materia de energía y clima. De este modo, los objetivos de energías renovables y eficiencia energética se fijan para el año 2030 en el 32% y en el 32,5%, respectivamente. Estos objetivos también se incluyen en la Directiva (UE) 2018/2001 y la Directiva (UE) 2018/2002, respectivamente (DOUE-L-

328, 2018). Ambos objetivos se revisarán en 2023 y sólo se podrán actualizar para subirlos y no para reducirlos. Además, esta nueva normativa impide que se apliquen tasas al autoconsumo. En cuanto al transporte, se establece que al menos el 14% del combustible utilizado debe proceder de fuentes renovables para el año 2030, y los biocombustibles de primera generación con un alto riesgo de "cambio indirecto en el uso de la tierra" no se tienen que tener en cuenta para los objetivos de uso de renovables a partir de ese año. En conclusión, estos últimos antecedentes pueden situar al sector de la biomasa de olivar en una posición más favorable, de tal modo que se puede traducir en un aumento de sus usos en un futuro.

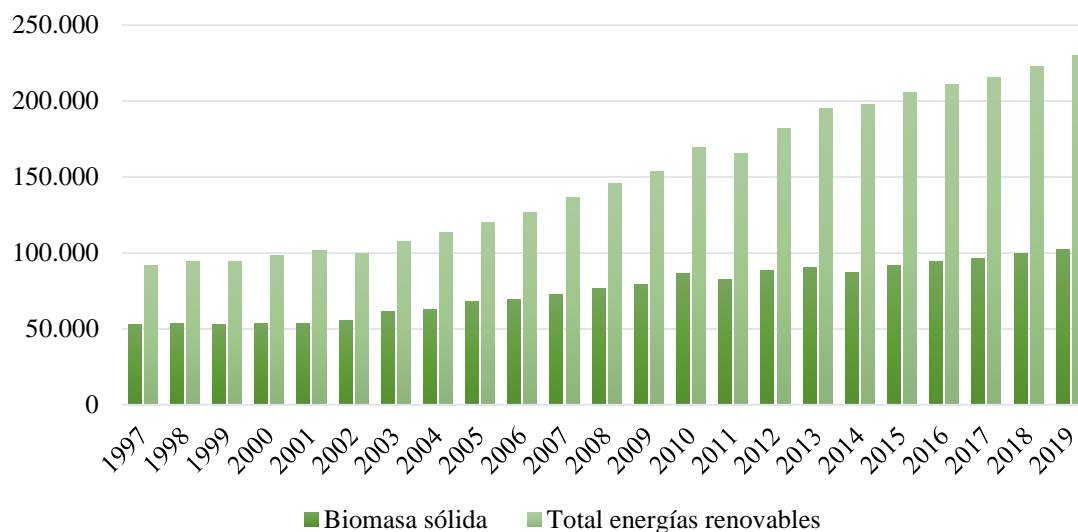
### *2.3.1.3. El olivar en la evolución de la biomasa en Europa*

La promoción de las energías renovables ha venido determinando que la proporción de su uso en el consumo energético total haya ido aumentando en los últimos años en Europa. En la década 2005-2015, la proporción de estas en el consumo de la UE prácticamente se duplica, pasando del 9% a cerca del 17% (AEMA, 2017). No obstante, a pesar de los grandes esfuerzos llevados a cabo por la UE, los combustibles fósiles siguen siendo la fuente de energía dominante en Europa, con un consumo del 72,6%.

La biomasa destaca por sus niveles de producción, lo que la convierte en la energía renovable líder en la UE. La Figura 2.2. muestra la evolución de la producción de biomasa en Europa sobre el total de renovables producidas. Desde 1997 ocupa el mayor porcentaje de uso, seguida de la hidroeléctrica (11,97% del total) y la eólica (13,74% del total). Actualmente, la biomasa proporciona aproximadamente el 4% del suministro total de energía de la UE. Sin embargo, y a pesar de que en 2019 representa el 44,67% de la producción renovable, la participación ha ido disminuyendo levemente con el tiempo (Eurostat, 2019a). La producción de biomasa en la UE se utiliza principalmente para calefacción residencial (83%) y, en menor medida, para generación combinada (CHP) de calor y electricidad (17%) (IDAE, 2011a).



**Figura 2.2.** Evolución de la producción de biomasa sólida y conjunto de energías renovables en Europa durante el período 1997-2019 (unidades: en ktep)



Fuente: Elaboración propia a partir de Eurostat (2019a; 2019b).

El olivar ha contribuido favorablemente a esta situación. Las almazaras generan 9,6 millones de toneladas de biomasa al año (principalmente, orujo, hojas de almazara y huesos de aceituna). Por su parte, la poda del olivar genera 11,8 millones de toneladas de biomasa, de las que sólo suelen utilizarse el 30% (Berbel et al., 2018b). De esta forma, en Europa, este cultivo alcanza un volumen aproximado de 13,1 millones de toneladas de biomasa al año. La biomasa de olivar se utiliza principalmente para generación eléctrica (47%) y para generación térmica (33%). En cuanto al uso de la energía térmica, el principal consumidor es la industria del aceite de oliva (almazaras) y de extracción, seguida del sector agroindustrial no perteneciente al aceite de oliva, y el sector doméstico (Berbel et al., 2018b). En definitiva, el cultivo del olivar constituye un papel fundamental en el avance de este tipo de energía, ya que sus principales subproductos representan una forma importante de generar energía eléctrica y térmica, especialmente en los países mediterráneos (García-Maraver et al., 2012).

### **2.3.2. Medidas para la promoción de la biomasa de olivar en España**

España posee una considerable riqueza agrícola, que entre otras ventajas, le brinda una importante oportunidad para generar energías renovables. Este país se sitúa en el segundo puesto entre los países con mayor superficie agrícola utilizada en la UE (con un 13,3%, y detrás de Francia que tiene un 15,9%) (EC, 2018b), donde el olivar ocupa 2,75 millones de hectáreas (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020a). La mayor parte de este cultivo (60%) se concentra en el valle del Guadalquivir (Andalucía), principalmente en las provincias de Jaén (22%) y Córdoba (13%) (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, 2017a).

#### *2.3.2.1. Planes de Energías Renovables*

En España, la producción y el uso de la biomasa de olivar se han visto influidos por los diferentes planes energéticos relacionados con las energías renovables que tienen como finalidad potenciar su producción y uso y, en consecuencia, cumplir los objetivos marcados por Europa. Los principales objetivos de cada uno de estos planes se muestran en la Tabla 2.2. En la citada tabla puede observarse que hasta 1999 no se aprueba un plan específico de energías renovables, ya que el plan de 1991, aunque incluye la planificación de todas las fuentes energéticas, sólo contiene un capítulo específico dedicado a la promoción de energías renovables.

Desde 1999, los tres planes aprobados se han ceñido a las pautas marcadas por Europa, observándose exigencias en materia de energías renovables cada vez mayores. En cada uno de estos planes se recogen también los propósitos y objetivos marcados para la biomasa, donde el olivar representa un papel fundamental.

**Tabla 2.2.** Principales planes de energías renovables de España

Fecha de aprobación	Planes energéticos	Objetivos generales	Objetivos específicos para la biomasa
1991	Plan Energético Nacional (PEN) 1991-2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimización de costes.</li> <li>- Diversificación energética.</li> <li>- Autoabastecimiento.</li> <li>- Protección ambiental.</li> </ul> <p>Así, se pretende subvencionar las actuaciones encaminadas a promocionar y mejorar la eficiencia energética, apostando por las energías renovables.</p>	Se incentiva su aprovechamiento para la utilización energética, sustituyendo, a su vez, a los combustibles fósiles.
1999	Plan de Fomento de las Energías Renovables (PFER) 2000-2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El gas natural se convierte en la fuente con mayor crecimiento, hasta representar un 22,50% del total en 2010.</li> <li>- La estructura de generación eléctrica se compone: 33% gas natural, 28,4% energías renovables, 19,4% nuclear, 15% carbón y 4,1% productos petrolíferos.</li> </ul>	Se prevé incrementar su producción para el año 2010 en 6 millones de ktep. Del total, 0,9 corresponderían a usos térmicos en los sectores de consumo final y 5,1 se destinarían a la generación de electricidad. De esta forma, se multiplica por 30 la aportación establecida hasta el año 2000. Para ello, se pretende incentivar a los distintos sectores económicos y los hogares.
2005	Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cubrir con fuentes renovables al menos el 12% del consumo total de energía en 2010.</li> <li>- Conseguir un mínimo de generación eléctrica con renovables (29,4%) sobre el consumo nacional bruto de electricidad.</li> <li>- Alcanzar un mínimo de biocarburantes (5,75%) en relación con consumo de gasolina y gasóleo en el transporte, de acuerdo con la Directiva 2003/30/CE.</li> </ul>	Los objetivos para la biomasa en el año 2010 se fijan en 1.695 MW de potencia instalada para los usos eléctricos. De este modo, la producción sería de 11.822,6 GWh más una producción de 582.514 tep/año en biomasa térmica.
2011	Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conseguir una cuota del 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto para el año 2020.</li> <li>- Conseguir una cuota del 10% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía en el sector del transporte para el año 2020.</li> </ul>	Para la biomasa sólida se fija un objetivo de 1.187 MW para 2020, y se prevé un aumento de 383 MW de potencia para usos térmicos en 10 años.

Fuente: Elaboración propia a partir del BOE, IDAE (BOCG, 1991; IDAE, 1999; IDAE, 2005; IDAE, 2011b).

Con el Plan Nacional de Energía —PEN 1991–2000 se pretende básicamente paralizar los programas nucleares aprobados hasta entonces en Planes anteriores, y promover la expansión del gas natural y las energías renovables (BOCG, 1991). Mientras que con el Plan de Fomento de las Energías Renovables —PFER 2000–2010 se comienza a forjar una estructura energética cada vez más favorable para las renovables. A partir de este momento se comienzan a marcar los primeros objetivos para la biomasa.

Posteriormente, durante la vigencia del Plan de Energías Renovables —PER 2005–2010, se establece un objetivo bastante ambicioso para la biomasa. Este se fija en 1.695 MW de potencia instalada para usos eléctricos, destinados a generar 11.822,6 GWh/año. Sin embargo, sólo se alcanza el 32% del objetivo para la biomasa sólida. De este modo, el desarrollo de la biomasa sólida para la generación de energía eléctrica es reducido a pesar de las importantes ventajas que puede aportar los principales subproductos del olivar al mercado energético. En 2010, la energía de biomasa primaria sobre el total representa el 4,8%, debido principalmente a su uso para aplicaciones térmicas. En general, el porcentaje de energías renovables, como energía primaria sobre el total, es del 11,3%, por lo que casi se alcanza el objetivo del 12% fijado en el PER 2005-2010 (Castello et al., 2012). Las energías renovables que están experimentando un mayor crecimiento son la eólica, la solar fotovoltaica y la solar termoeléctrica.

Más tarde, con el Plan de Energías Renovables —PER 2011-2020, las exigencias de los objetivos siguieron aumentando. Su propósito es adaptarse a los nuevos objetivos europeos, establecidos en la Directiva 2009/28/CE. En el caso de la biomasa, continúa mostrando un déficit en su desarrollo, alcanzando unos objetivos de potencia instalada por debajo de los marcados en el Plan anterior. Así, los incipientes intentos de incentivar su aprovechamiento energético y la concesión de subvenciones (BIOMCASA, GIT, PAREER-CRECE) para impulsar sus proyectos no ha resultado ser un aliciente suficiente para el desarrollo del sector.

De forma paralela, y con el fin de cumplir los compromisos con Europa en materia de energías renovables, se han puesto en marcha desde España diferentes Planes de Acción. Estos se enmarcan en las obligaciones establecidas por la Directiva 2009/28/CE. Actualmente se encuentra en vigor el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables

—PANER 2011-2020, donde se recogen los objetivos establecidos por Europa (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2010). Para el sector de la biomasa se fija una meta de 1.587 MW, de los cuales 1.187 MW corresponderían a biomasa sólida y 400 MW a biogás. En España, sólo hay 677 MW instalados de biomasa para usos eléctricos, lo que explica la escasa incidencia que tienen sobre ésta las políticas actuales.

Por otra parte, también es relevante la Estrategia Española de Bioeconomía—Horizonte 2030, que sirve de apoyo al cumplimiento de los objetivos del Plan Energético vigente. Su objetivo es avanzar hacia una sociedad menos dependiente de los recursos no renovables, para ralentizar el proceso de cambio climático. La base sobre la que se basa es el triángulo ciencia-economía-sociedad. De este modo, se intenta que todos los agentes económicos colaboren con el propósito de reducir los efectos contaminantes y generar valor económico (Ministerio de Economía y Competitividad, 2015). Siguiendo el mismo camino, el Informe del Comité de Expertos del Parlamento (finalizado en abril de 2018) sienta las bases para una transición energética eficiente, sostenible y baja en carbono. Para ello, se consideran los impactos ambientales y económicos al diseñar la política energética. El informe incluye varias alternativas que analizan la combinación de diferentes fuentes de energía (nuclear, hidráulica, térmica, carbón, ciclos combinados y renovables). Además, valora el objetivo de introducir las energías renovables, en función de los diferentes niveles de interconexión con el continente europeo, y la contribución de las políticas de movilidad y eficiencia energética (Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, 2018).

### *2.3.2.2. Normativa que regula la biomasa de olivar para uso energético en España*

En España las energías renovables están impulsadas, principalmente, por la normativa eléctrica vigente en cada momento. En estas normativas no existe un apartado específico para la biomasa del sector del olivar. No obstante, se incluye en diferentes epígrafes, como el de la biomasa procedente de residuos agrícolas o industriales.

En general, el marco normativo que regula el sector eléctrico ha estado sometido a diversos cambios. Así, como se muestra en la Tabla 2.3., desde 1994 hasta la actualidad se han aprobado tres Leyes relativas al sector eléctrico. Actualmente está en vigor la Ley 24/2013, la cual ha supuesto un cambio sustancial en el tratamiento de las energías renovables. Con esta Ley, entre otras cuestiones, las renovables dejan de tener prioridad en el vertido de energía frente al resto de tecnologías. A partir de este momento, sólo le aseguran esta condición en igualdad de oferta económica en el mercado eléctrico diario. Además, se rompe la estructura del sistema establecido en fuentes energéticas renovables y cogeneración (englobadas en el régimen especial para instalaciones de hasta 50 MW) y el resto de tecnologías fósiles y la nuclear (régimen ordinario). En consecuencia, pasan a competir todas las fuentes de energía (renovables y no renovables) en igualdad de condiciones, abandonándose la diferenciación entre energías del régimen ordinario y régimen especial. De este modo, se suprime el sistema de primas previamente establecido (determinado por Orden Ministerial IET/1045/2014).

**Tabla 2.3.** Principales Leyes del sector eléctrico

<b>Ley</b>	<b>Período de vigencia</b>	<b>Descripción</b>
Ley 40/1994 De ordenación del Sistema Eléctrico Nacional.	1994-1998	Se consolida el concepto de régimen especial y se garantiza la seguridad de suministro eléctrico al menor coste posible y con una calidad adecuada.
Ley 54/1997 Del Sector Eléctrico.	1998-2013	Se diferencia la producción en régimen ordinario de la producción en régimen especial. Se define el marco económico de retribución para cada uno de esos modelos de generación de electricidad, entre ellos la biomasa. El sistema de primas a la energía eléctrica generada en instalaciones del régimen especial es el sistema elegido para la promoción de estas instalaciones.
Ley 24/2013 Del Sector Eléctrico.	2013-vigente	Tiene como finalidad básica establecer la regulación del sector eléctrico. Para ello, se pretende garantizar el suministro con los niveles necesarios de calidad y al mínimo coste posible, asegurar la sostenibilidad económica y financiera del sistema y permitir un nivel de competencia efectiva en el sector eléctrico. Todo esto dentro de los principios de protección medioambiental de una sociedad moderna. Se sustituye (salvo excepciones) el sistema de primas por un sistema competitivo en subastas. La rentabilidad de estas instalaciones se referencia a las Obligaciones del Estado a diez años.

Fuente: Elaboración propia a partir del BOE (BOE, 1994a; BOE, 1997; BOE, 2013c).

Las energías renovables que más se han desarrollado han sido la eólica, la solar fotovoltaica y la solar termoeléctrica. Durante 2007-2013 experimentan un fuerte crecimiento en su potencia instalada en MW. En 2018, estas acumulan 30.473 MW instalados, lo que representan el 60% del total nacional (IDAE, 2018).

En cuanto a la biomasa, cabe destacar que la implantación de esta fuente energética para usos eléctricos ha venido siendo insuficiente si se compara con el resto de renovables. La potencia instalada de biomasa para tales usos es de sólo 677 MW. Esto representa el 1,34% del total de energía renovable en España. Sin embargo, la biomasa para usos térmicos se encuentra en una mejor posición, dado sus mayores usos en el mercado energético (especialmente en el sector doméstico) cuenta con 8.297 MW de potencia instalada (IDAE, 2018).

Paralelamente a las leyes enumeradas en la Tabla 2.3., se han desarrollado varios Reales Decretos durante el período 1994-2017 (Tabla 2.4.). Estos han tenido cierta repercusión en el desarrollo de la biomasa a nivel nacional. En general, se puede indicar que desde 1998 hasta 2013 se establece un sistema de incentivo a la producción eléctrica “prima”. Posteriormente, en 2016, se comienza con el establecimiento de un sistema de subastas para las instalaciones renovables, basado en ofertas sobre el coste de inversión y operación de las plantas.

**Tabla 2.4.** Principales Reales Decretos sobre energías renovables para generación eléctrica

Vigencia	Tipo de normativa	Descripción	Aspectos relevantes para la Biomasa
1994-1998	Real Decreto 2366/1994 Sobre producción de energía eléctrica por instalaciones hidráulicas, de cogeneración y otras abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables.	Regula la energía eléctrica del “ <i>Régimen Especial</i> ”, donde se incluye a la biomasa de forma general como fuente energética renovable.	No se hace una mención expresa sobre el sector energético de la biomasa.
1998-2004	Real Decreto 2818/1998 Sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración.	Se determina una prima para aquellas instalaciones menores de 50 MW que utilicen como energía primaria alguna de las energías renovables no consumibles y no hidráulicas, biomasa, biocarburantes o residuos agrícolas, ganaderos o de servicios.	Se realiza una distinción entre biomasa primaria (en el caso del olivar se corresponde con la biomasa de residuos proveniente de las plantas del olivar), y secundaria (se corresponde con los restos de la industria de fabricación del aceite de oliva). Dicha distinción se refleja en la retribución establecida para cada una de ellas, siendo la prima para las primeras de 5,07 pesetas/kWh (0,03 €/kWh) y para las segundas de 4,70 pesetas/kWh (0,028 €/kWh)
2004-2007	Real Decreto 436/2004 Por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en el régimen especial.	Se establece un sistema basado en la libre voluntad del titular de la instalación. Así, este puede optar por: - Vender su producción o excedentes de energía eléctrica al distribuidor, percibiendo una retribución en forma de tarifa regulada, única para todos los periodos de programación basada en el precio del mercado de producción. - Vender su producción o excedentes directamente en el mercado diario, en el mercado a plazo o a través de un contrato bilateral, percibiendo el precio negociado en el mercado, más un incentivo por participar en él y una prima, si la instalación concreta tiene derecho a percibirla. Cualquiera que sea el mecanismo retributivo por el que se opte, se garantiza a los titulares de instalaciones en régimen especial una retribución razonable para sus inversiones.	En el artículo 37 se establecen las tarifas, primas e incentivos para las instalaciones de biomasa. De este modo, la tarifa por participar en el mercado sería de un 80%, la prima de un 30% y el incentivo de un 10%, de la tarifa eléctrica media o de referencia en cada año.



Vigencia	Tipo de normativa	Descripción	Aspectos relevantes para la biomasa
2007-2013	Real Decreto 661/2007 Por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.	Regula la actividad de producción de energía en régimen especial y deroga el Real Decreto 436/2004. Se mantiene el esquema básico de éste último, es decir, se conserva la doble opción de retribución. Además, determina una prima que complementa el régimen retributivo de las instalaciones de co-combustión de biomasa y/o biogás en centrales térmicas del régimen ordinario.	Para las instalaciones que utilicen biomasa como combustible se establece como objetivo una potencia instalada de 1.317 MW. No se consideran dentro de los objetivos de potencia instalada de referencia, las potencias equivalentes de biomasa o biogás en instalaciones de co-combustión.
2010-vigente	Real Decreto-Ley 14/2010 Por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico.	Su objetivo es disminuir los efectos asimétricos causados por la crisis económica. Sus principales medidas son: obligación del pago de peajes a las energías renovables (0,5 €/MWh), aplicación de un porcentaje de participación económica a las empresas productoras del régimen ordinario y especial para reducir los sobrecostos del sistema y, para las instalaciones fotovoltaicas, limitar las horas equivalentes de funcionamiento con derecho a régimen económico primado.	No se especifica ni se establece ninguna medida especial para el sector de la biomasa.
2012-vigente	Real Decreto-Ley 1/2012 Por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de Pre-asignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos.	Se suprimen los incentivos económicos concedidos a las nuevas instalaciones de producción de energía renovable y se paraliza la puesta en marcha de nuevas instalaciones.	En el artículo 3.3. se establece que el gobierno pueda implantar reglamentariamente regímenes económicos específicos para determinadas instalaciones del régimen especial (entre los que se encuentra la biomasa). Del mismo modo, se le permite el derecho a la percepción de un régimen económico específico y, en su caso, determinadas obligaciones y derechos de los regulados en los apartados 1 y 2 del artículo 30 de la Ley 54/1997.
2013-vigente	Real Decreto-Ley 2/2013 De medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero.	Su objetivo es corregir los desajustes económicos acaecidos en el sistema eléctrico. Entre sus principales medidas destaca la reducción de costes del régimen especial. Para ello, se pide un esfuerzo a los consumidores para contribuir a la recuperación económica, a través del consumo y la inversión.	Se modifica el valor de la prima de referencia de todos los grupos (incluida la biomasa), que pasa a tener un valor de 0 c€/kWh.

Vigencia	Tipo de normativa	Descripción	Aspectos relevantes para la biomasa
2013- vigente	Real Decreto-Ley 9/2013 Por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico.	Faculta al Gobierno para aprobar un nuevo régimen jurídico y económico para las instalaciones de producción de energía eléctrica existentes a partir de fuentes de energía renovable, cogeneración y residuos. Así, se trata de retribuir a aquellas empresas del sector renovable que se consideren eficientes, basada en que las instalaciones tengan una rentabilidad razonable fijada normativamente.	Recoge medidas a nivel general del sector energético renovable, sin incluir medidas específicas sobre la biomasa.
2014- vigente	Real Decreto 413/2014 Por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.	Se establece el nuevo régimen retributivo de las renovables. Este se basa en la percepción de unos ingresos obtenidos por la venta de la electricidad al mercado, más una retribución adicional (que se calcula mediante una serie de parámetros estandarizados conforme a las tecnologías existentes en el mercado y que se recogen en la Orden Ministerial 1045/2014).	Las instalaciones que utilicen biomasa deberán remitir información (a través de un sistema de certificación) sobre la relación de los tipos de combustibles utilizados, indicando la cantidad anual empleada en toneladas al año y el PCI medio, en kcal/kg, de cada uno de ellos.
2015- vigente	Real Decreto 900/2015 Por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.	Primera regulación del autoconsumo eléctrico en España.	No se hace una mención específica sobre la biomasa.
2015- vigente	Real Decreto 947/2015 Por el que se establece una convocatoria para el otorgamiento del régimen retributivo específico a nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de biomasa en el sistema eléctrico peninsular y para instalaciones de tecnología eólica.	Pone en marcha la primera subasta para la asignación de régimen retributivo específico a instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de tecnología eólica y biomasa.	La potencia convocada para para nuevas instalaciones de biomasa situadas en la Península Ibérica se fija en 200 MW.
2017- vigente	Real Decreto 359/2017 Por el que se establece una convocatoria para el otorgamiento del régimen retributivo específico a nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables en el sistema eléctrico peninsular.	Subastas del ejercicio 2017, tratando a todas las tecnologías de manera neutra, sin diferenciación alguna.	Resulta beneficioso para las fuentes energéticas más desarrolladas (eólica y fotovoltaica) y supone un retroceso más en el avance de la biomasa.

Fuente: Elaboración propia a partir de Noticias Jurídicas, BOE (BOE, 1994b; BOE, 1998; BOE, 2004; BOE, 2007; BOE, 2010; BOE, 2012; BOE, 2013a; BOE, 2013b; BOE, 2014; BOE, 2015; BOE, 2016; BOE, 2017).

Con el Real Decreto 2366/1994 se comienza a regularizar el sector de las energías renovables, haciendo una mención general a la biomasa. Sin embargo, no es hasta 1998, con el Real Decreto 2818/1998, cuando se empieza a consolidar este sector.

Posteriormente, con el Real Decreto 436/2004 se pretende seguir con el camino ya iniciado por el anterior Real Decreto, pero con una ventaja añadida: la aplicación de un sistema basado en la libre voluntad del vendedor, que consiste en elegir entre dos opciones a la hora de vender su producción en el mercado energético. Asimismo, se pretende que, para el año 2010, un tercio de la demanda de electricidad se encuentre cubierta por tecnologías de alta eficiencia energética y por energías renovables (sin incrementar el coste de producción del sistema eléctrico) (BOE, 2004). Más tarde, con la entrada en vigor del Real Decreto 661/2007, se sigue reforzando el sector de las energías renovables, en este caso, con un incremento de los incentivos económicos para la generación eléctrica (primas). Los efectos acaecidos en el sector de la biomasa durante la vigencia de este Real Decreto (2007-2013) son positivos. Se observa que la potencia instalada de biomasa para usos eléctricos aumenta en un 74,73%, situándose en 657 MW.

Con la crisis económica de 2008, el panorama económico-energético nacional comienza a cambiar. Con la inestabilidad del sector eléctrico, se empiezan a aprobar diversas normativas que llegan a paralizar el desarrollo del sector energético renovable. La crisis económica tiene una fuerte influencia de carácter negativo sobre el déficit tarifario. Este empieza a forjarse en el año 2000 y, en 2005, comienza a crecer de manera acentuada, hasta situarse en 2011 en más de 30.000 millones de euros (Sevilla Jiménez et al., 2013). Así, con la aprobación del Real Decreto-Ley 14/2010, se les exige contribuir económicamente a las energías del régimen especial en el sistema eléctrico para prevenir sobrecostes. No obstante, esta situación se agudiza con la aprobación del Real Decreto-Ley 1/2012, el cual introduce un serio recorte en las primas existentes. Al mismo tiempo, paraliza los incentivos para nuevas instalaciones. A partir de este momento se suprime el concepto de régimen especial y régimen ordinario.

Posteriormente, en 2013, se aprueban el Real Decreto-Ley 2/2013 y el Real Decreto-Ley 9/2013 con el fin de corregir los problemas del sector eléctrico y financiero. Igualmente, estos suponen una barrera más para el desarrollo de las energías renovables

y, en concreto, para la biomasa del olivar. Todo esto ha propiciado que el sector de las energías renovables haya ido perdiendo ventajas con respecto a las energías fósiles, que siguen siendo las más competitivas en el mercado energético nacional. Además, está incidiendo de manera adversa al cumplimiento de los objetivos marcados por Europa en la Directiva 2009/28/CE y recogidos en el Plan de Energías Renovables 2011-2020.

Actualmente, la producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables está regulada por el Real Decreto 413/2014. Su aprobación supone un cambio radical para las energías renovables, que comienzan a perder algunos privilegios. Este nuevo régimen retributivo se basa en la aplicación de una retribución adicional (calculada mediante una serie de parámetros estandarizados, establecidos por la Orden Ministerial 1045/2014) tras la venta de electricidad en el mercado.

El nuevo sistema de régimen retributivo, basado en el sistema de subastas, no ha supuesto un impulso para el desarrollo de proyectos de biomasa. Hasta el momento, únicamente existe una subasta específica de biomasa, regulada por el Real Decreto 947/2015. Ésta fija para las nuevas instalaciones de biomasa en la Península Ibérica una potencia instalada de 200 MW. Como resultado, la potencia eléctrica con biomasa en el período 2013-2018, sólo se ha incrementado un 3,04%, situándose en 677 MW. Respecto al resto de tecnologías, en las distintas subastas se han asignado: eólica 4.608 MW, fotovoltaica 3.910 MW y otras 19 MW.

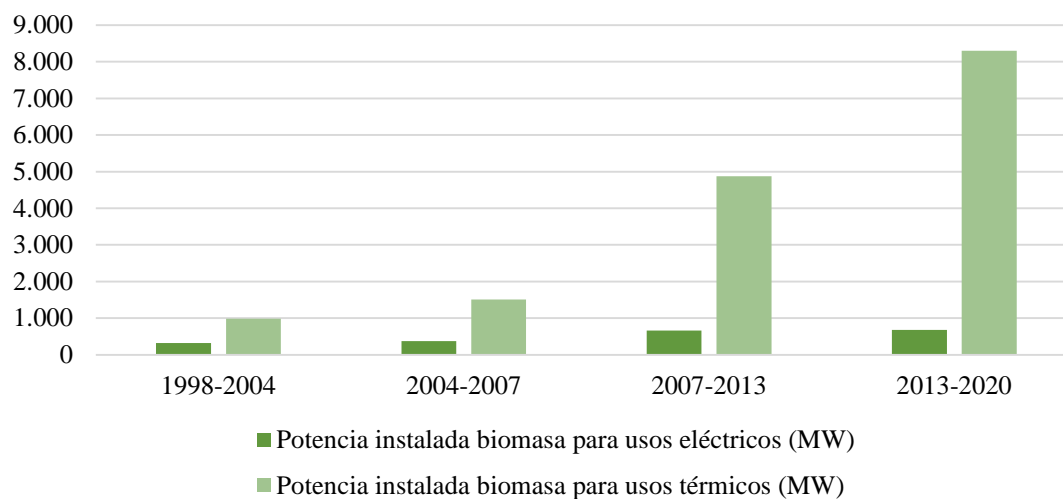
De manera paralela a la normativa eléctrica, se han aprobado diferentes normativas que inciden en el desarrollo de la biomasa como fuente de energía para usos térmicos. Cabe citar el Real Decreto 314/2006, por el que se pone en marcha el Código Técnico de la Edificación (BOE, 2006a). Éste sustituye al antiguo Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y da un impulso al sector de las renovables, en especial al de la biomasa para usos térmicos. La aprobación de este Real Decreto implica un compromiso con la eficiencia energética y el equilibrio medioambiental. Además, incentiva en los procesos de edificación la incorporación de instalaciones energéticas renovables y da mayor protagonismo a las exigencias europeas en esta materia marcada por la Directiva 2002/91/CE. Del mismo modo, se desarrollan cinco exigencias básicas, encaminadas a lograr un uso racional de la energía necesaria

para la utilización de los edificios, y asegurar que parte de este consumo provenga de fuentes renovables. Asimismo, con la aprobación en este mismo año del Real Decreto-Ley 7/2006, se adoptan medidas urgentes en el sector energético y se derogan los costes de transacción de la competencia (CTC's). De esta forma, se desvincula la variación de las primas del régimen especial de la Tarifa media eléctrica o de Referencia (BOE, 2006b).

### *2.3.2.3. El olivar en la evolución de la biomasa en España*

La Figura 2.3. muestra la evolución de la potencia renovable total instalada, así como la potencia en biomasa, tanto para usos térmicos como eléctricos, desde el período 1998-2004 al período 2013-2020. Los períodos marcan el tiempo de vigencia de cada uno de los principales Reales Decretos relativos a la producción de energías renovables (RD 2818/1998, RD 436/2004, RD 661/2007 y RD 413/2014). Puede observarse que la potencia instalada en biomasa, al igual que el resto de energías renovables, ha tenido un mayor crecimiento durante la vigencia del PER 2005-2010, donde ésta se incrementa más de un 70%, con respecto al período 2004-2007, cuando se encuentra en vigor el PFER 2000-2010. Además, cabe destacar que si bien los datos de la Figura 2.3. sólo hacen referencia a los períodos de vigencia de cada uno de los Reales Decretos, en todos los años la potencia instalada de biomasa ha ido aumentando, hasta alcanzar los valores de 2020 (677 MW).

**Figura 2.3.** Evolución de la potencia eléctrica y térmica de biomasa instalada en España durante el período 1998-2020 (unidades: en MW)



Fuente: Elaboración propia a partir de IDAE (2020).

No obstante, y a pesar de este crecimiento de la biomasa, los efectos de las medidas de promoción de la misma para uso eléctrico pueden considerarse insuficientes, al menos si se comparan con otras tecnologías. Actualmente, la potencia instalada de energías renovables en España se sitúa en 50.356 MW, generando al sistema 104.607 GWh, lo que representa el 38,1% de la producción eléctrica bruta total. La eólica, con 22.990 MW (45,66% del total de potencia instalada), y la hidráulica, con 18.963 MW (37,66% del total de potencia instalada), son las que más energía generan en España, con un 47% y un 35%, respectivamente. Mientras tanto, la biomasa, con 677 MW de potencia instalada (1,34% del total a nivel nacional) sólo genera el 5%.

El elevado potencial de la biomasa en España se debe, en parte, al cultivo de olivar y a los residuos que generan las industrias agroalimentarias del aceite de oliva. Como se puede observar en la Figura 2.4., el territorio cuenta con 2,75 millones de hectáreas ocupadas por este cultivo. Estas se concentran principalmente en Andalucía (60,43%), aunque también están presentes en Castilla-La Mancha (16,12%) y Extremadura (10,45%) (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020a). De este modo, España cuenta con grandes extensiones de cultivo de olivar donde se concentran alrededor

de 282,70 millones de olivos. Estos generan grandes cantidades de biomasa al año, como resultado de los diferentes procesos de poda del olivar (principalmente, ramones y leña) (Esencia del olivo, 2018). La leña generada en las podas se aprovecha con frecuencia para calefacción doméstica en zonas rurales. El resto de las podas, formadas por partes menos gruesas, son aprovechadas de forma menos significativa debido a sus altos costes de recogida, por los que principalmente se queman a cielo abierto en el campo.

**Figura 2.4.** Distribución de la superficie cultivada de olivar en España (unidades: número de hectáreas)



Fuente: Elaboración propia a partir de ESYRCE (2020a).

Por otra parte, España cuenta con un gran número de industrias agroalimentarias, donde 1.756 corresponden a almazaras (industria donde se obtiene el aceite de oliva), 487 a entamadoras (industrias donde se elabora la aceituna de mesa) y 63 a orujeras (industria donde se extrae el resto de aceite mediante procesos químicos y se produce el aceite de orujo de oliva) (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020b). Estas industrias son las encargadas de producir los distintos productos derivados de la aceituna, tales como la aceituna de mesa, el aceite de oliva o el aceite de orujo de oliva. En los distintos procesos de producción se obtienen distintos subproductos (orujo, orujillo, huesos de aceituna y restos de hojas y ramas) que se utilizan para generar energía eléctrica y térmica.

Estos en la mayoría de los casos se utilizan para autoconsumo de la industria (Agencia Andaluza de la Energía, 2020b).

La importancia del sector olivarero en la producción de biomasa en España se puede demostrar a través de distintas aplicaciones matemáticas que son ofrecidas y publicadas por algunos estudios. Así, siguiendo el esquema del artículo " Report on the availability of Biomass Sources in Spain: vineyards and olive groves" se puede extraer que en España las podas de olivar generan alrededor de 7 millones de toneladas al año (Menéndez et al., 2018). La mayor contribución la realiza Andalucía (57%), seguida de Castilla La-Mancha (17%), Extremadura (11%) y Cataluña (5%). Estas cuatro regiones producen el 90% de la biomasa total generada por las podas de olivar en España (Manzanares-Secades et al., 2017). Por su parte, la industria del aceite de oliva genera 4,75 millones de toneladas de orujo (el 50% se destina a la elaboración de aceite de orujo de oliva), 1,45 millones de toneladas de huesos de aceitunas y 0,78 millones de toneladas de orujillo. La industria de la aceituna de mesa produce 0,06 millones de toneladas de huesos de aceitunas al año (Menéndez et al., 2018).

A pesar de este elevado potencial, el menor crecimiento de la biomasa frente a otras tecnologías puede deberse a los menores incentivos recibidos por el sector (si se compara con los destinados a otras fuentes renovables como la eólica, la solar fotovoltaica y la solar termoeléctrica) y a su mayor complejidad, al tratarse de un recurso que es necesario aprovisionar y tratar.

La Tabla 2.5. muestra los resultados de las liquidaciones de retribución (primas) durante el período 2014-2020. Se puede observar que las tecnologías más primadas son las de cogeneración, solar fotovoltaica, solar termoeléctrica y eólica, que son precisamente las que más han avanzado durante este período. La biomasa, por su parte, es la que sigue a estas fuentes de energía, pero con una diferencia importante. En relación a la retribución de la electricidad generada se puede observar que la biomasa tiene una retribución superior a la eólica, en consonancia con el mayor grado de madurez tecnológica de esta última tecnología. Sin embargo, la retribución es muy superior en el caso de la tecnología fotovoltaica, a pesar del gran desarrollo tecnológico de esta última y su expansión a nivel mundial. Todo esto, junto con los insuficientes incentivos al sector



agrícola para el aprovechamiento de residuos, contribuye al escaso desarrollo de la biomasa de olivar. En este sentido, la retribución no llega a cubrir los costes de recogida y de transporte, y no ofrece una rentabilidad aceptable para el inversor (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, 2015).

**Tabla 2.5.** Resultados de las liquidaciones anuales de retribución de las instalaciones de producción de energías renovables, cogeneración y residuos durante el período 2014-2020

Tecnología	Años	Prima equivalente (M€)	Prima equivalente (€/MWh)
Cogeneración	2020	917,86	39,80
	2019	1.312,89	49,72
	2018	1.233,65	46,89
	2017	1.147,40	44,80
	2016	871,04	36,82
	2015	1.173,20	50,53
	2014	1.702,00	64,30
Solar FV	2020	2.354,15	182,73
	2019	2.407,83	282,64
	2018	2.441,83	326,51
	2017	2.493,40	323,52
	2016	2.439,30	321,26
	2015	2.441,60	315,37
	2014	2.822,00	374,67
Solar TE	2020	1.244,46	279,03
	2019	1.285,73	263,96
	2018	1.297,12	297,23
	2017	1.313,40	260,60
	2016	1.263,00	257,86
	2015	1.262,50	261,12
	2014	1.441,00	244,82
Eólica	2020	1.208,63	23,45
	2019	1.413,89	26,71
	2018	1.475,33	30,47
	2017	1.450,80	30,74
	2016	1.256,90	26,60
	2015	1.253,10	26,87
	2014	1.823,00	36,68
Hidráulica	2020	64,93	14,73
	2019	76,77	18,95
	2018	94,91	15,16
	2017	81,60	28,52
	2016	75,10	16,43
	2015	67,70	16,08
	2014	164,00	36,55

**Tabla 2.5.** Continuación

<b>Tecnología</b>	<b>Años</b>	<b>Prima equivalente (M€)</b>	<b>Prima equivalente (€/MWh)</b>
Biomasa	2020	330,52	76,33
	2019	311,98	89,09
	2018	315,16	90,98
	2017	306,80	88,49
	2016	274,30	82,87
	2015	258,30	76,15
	2014	283,00	66,11
Residuos	2020	86,30	32,58
	2019	109,12	36,05
	2018	118,34	36,71
	2017	119,40	35,34
	2016	104,90	31,29
	2015	102,50	28,95
	2014	81,00	27,75
Tratamiento de residuos	2020	250,46	68,39
	2019	223,59	74,36
	2018	171,98	66,61
	2017	152,80	63,19
	2016	86,10	52,73
	2015	120,50	78,66
	2014	416,00	97,40
Otras tecnologías	2020	1,17	68,40
	2019	1,10	57,89
	2018	0,19	-
	2017	0,19	-
	2016	0,16	1.454,55
	2015	0,56	140,00
	2014	-	-

Fuente: Elaboración propia a partir de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia —CNMV (2020).

### 2.3.3. Medidas para la promoción de la biomasa de olivar en Andalucía (España)

La superficie cultivada de olivar en Andalucía ocupa 1,66 millones de hectáreas (34,04% de la superficie agrícola), lo que equivale al 60% de la superficie oleícola española y al 30% de la UE (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020a; Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, 2015). Asimismo, el sector industrial que rodea a este cultivo, a nivel nacional, se concentra predominantemente en esta región, donde se afincan el 48% de las almazaras (844), el 71% de las extractoras (45) y el 45% de las entamadoras (219) (Consejería de Agricultura,

Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, 2017a). En estas industrias se obtienen productos tales como el aceite de oliva, el aceite de orujo de oliva (que representan el 76% de la producción nacional y el 42% de la producción comunitaria) y las aceitunas de mesa (que representan el 67% de la producción nacional y el 45,9% de la producción comunitaria). Las características favorables que presenta este sector han forjado, con el paso de los años, un sólido mercado tanto a nivel nacional como internacional (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, 2015). A su vez, el olivar presenta otras ventajas para la región andaluza, ya que los distintos subproductos que se obtienen de él, y de su sector agroindustrial presentan un elevado valor energético renovable. Esto configura una alternativa energética frente a los combustibles fósiles. Esta ventaja le ofrece la posibilidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera y de contribuir a la mejora del cambio climático. Además, en 1999, la primacía de sus subproductos impulsa la puesta en marcha de la primera planta de generación eléctrica con biomasa en España, en concreto en Palenciana (Córdoba, Andalucía). Actualmente, esta planta de generación eléctrica (El Tejar Autogeneración) utiliza orujillo (subproducto obtenido del proceso de elaboración del aceite de orujo de oliva) como combustible para generar energía (Agencia Andaluza de la Energía, 2020b).

### *2.3.3.1. Incidencias de los distintos Planes Energéticos en la biomasa de olivar en Andalucía*

En el ámbito de la planificación regional, la biomasa de olivar ha tenido una especial atención, ya que esta fuente energética se ha desarrollado más en este punto territorial que en el resto de comunidades autónomas. Esto se debe a la abundante presencia de este cultivo y a la elevada riqueza energética de sus subproductos.

Desde 1995, Andalucía ha puesto en marcha cuatro planes en el ámbito de la planificación energética: Plan Energético de Andalucía —PLEAN 1995-2000; Plan Energético de Andalucía —PLEAN 2003-2006; Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética —PASENER 2007-2013; y la Estrategia Energética de Andalucía 2020. Los cuatro planes tienen en común la apuesta por la mejora de la eficiencia energética y el

incremento del uso de las energías renovables, incluso más allá de los objetivos nacionales y comunitarios. Tanto es así que con el PLEAN 2003-2006 se pretende cubrir para el año 2010 como mínimo el 15% del total de la demanda de energía primaria de la región, tres puntos porcentuales más de los que marca Europa para ese mismo año (12%).

En cada uno de los planes energéticos, la biomasa juega un papel importante y, en especial, el cultivo del olivar. En la Tabla 2.6. se recogen los aspectos más relevantes.

**Tabla 2.6.** Planes encaminados a fomentar el uso de energías renovables en Andalucía

<b>Aprobación</b>	<b>Denominación del Plan</b>	<b>Breve descripción general</b>	<b>Aspectos relevantes sobre la biomasa</b>
Elaborado en 1994 por la Sociedad para el Desarrollo Energético de Andalucía, para la Consejería de Economía y Hacienda.	Plan Energético de Andalucía (PLEAN) 1995-2000	Su objetivo es que para el año 2000 las energías renovables aporten el 7,6% de la energía primaria total.	Pretende incrementar la biomasa en 202 ktep/año y desarrollar la cogeneración y las infraestructuras eléctricas y gasísticas en la región.
Decreto 86/2003, de 1 de abril	Plan Energético de Andalucía (PLEAN) 2003-2006	Su propósito es conseguir que para el año 2010 un 15% de la demanda energética corresponda a las energías renovables, obteniendo en el 2006 una cifra significativa de este objetivo.	En el caso de la biomasa para usos eléctricos, el objetivo consiste en lograr para 2010 una potencia instalada de 250 MW (alcanzando la cifra de 164 MW en el año 2006). Por otra parte, debido a que se espera un elevado crecimiento de la biomasa para usos térmicos, se pone en marcha el <i>Programa de Promoción de Uso de la Biomasa – Probiomasa</i> con el fin de incentivar instalaciones.
Decreto 279/2007, de 13 de noviembre	Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética (PASENER) 2007-2013	Su objetivo es conseguir que en el año 2013 un 18,3% del consumo de energía primaria corresponda a las renovables y un 32,2% a la producción bruta de electricidad con renovables.	En cuanto a la biomasa se pretende conseguir, 256,0 MW y de 649,0 ktep, para usos eléctricos y térmicos, respectivamente. Esto representa el 21,13% del total energético renovable.

**Tabla 2.6.** Continuación.

Aprobación	Denominación del Plan	Breve descripción general	Aspectos relevantes sobre la biomasa
Acuerdo de 27 de octubre de 2015, del Consejo de Gobierno	Estrategia Energética de Andalucía 2020	Propone cinco objetivos para 2020: reducir un 25% el consumo tendencial de energía primaria; aportar con energías renovables el 25% del consumo final bruto de energía; descarbonizar en un 30% el consumo de energía respecto al valor de 2007, autoconsumir el 5% de la energía eléctrica generada con fuentes renovables; y mejorar un 15% la calidad del suministro energético.	Se acuerda llevar a cabo esta Estrategia mediante dos Planes de Acción. En ellos se contemplan medidas específicas de desarrollo de la cadena de valor de la biomasa, su uso energético y el desarrollo de las biorrefinerías.

*Fuente: Elaboración propia a partir de la Junta de Andalucía (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, 1994; Consejería de Empleo y Desarrollo Tecnológico de la Junta de Andalucía, 2003; Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía, 2007; Consejería de Empleo, Empresa y Comercio de la Junta de Andalucía, 2013).*

Todos estos planes han incentivado el cambio en el modelo energético de la región. De este modo, cada vez es mayor el consumo de energías limpias. Actualmente, energías como la solar, la eólica y la biomasa suponen el 38,8% de la potencia eléctrica instalada (Agencia Andaluza de la Energía, 2020a). Esto equivale al 40,4% de la electricidad consumida por los andaluces.

Junto a estos planes, también se han abordado otras estrategias que, de manera paralela, les han servido de sustento para el cumplimiento de sus objetivos. Entre ellas se encuentran la "Estrategia autonómica ante el cambio climático" aprobada en 2002 y la "Estrategia Andaluza de Desarrollo Sostenible: Agenda 21 de Andalucía" aprobada en 2004. Estas se crean con el propósito de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Para ello, se fomentan las energías renovables, la disminución de la dependencia energética, el impulso del ahorro energético, el establecimiento de instrumentos para la mejora energética y la promoción de la construcción de viviendas energéticamente eficientes.

En el mismo sentido, en 2007 se aprueba el "Plan de Acción de Andalucía por el Clima 2007-2012-Programa de Mitigación" y en 2010 también se aprueba el "Programa Andaluz de Adaptación al Cambio Climático". En ellos se establecen acciones prioritarias para la adaptación al cambio climático en materia energética, el impulso de las energías renovables y la promoción y el fomento del ahorro y la eficiencia energética. Asimismo, en septiembre de 2018, se aprueba la Estrategia Andaluza de Bioeconomía Circular, que tiene como objetivo contribuir al crecimiento y desarrollo sostenible de Andalucía. Para ello, trata de impulsar actuaciones dirigidas al fomento de la producción de recursos y de procesos biológicos renovables, tales como la biomasa de olivar. De este modo, esta Estrategia constituye un modelo económico basado en la producción y el uso de recursos biomásicos renovables y su transformación sostenible y eficiente en bioproductos, bioenergía y servicios para la sociedad (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, 2018).

Por último, dada la relevancia del cultivo del olivar en Andalucía, desde el sector agrícola también se ha favorecido a la biomasa de olivar. Muestra de ello es el Plan Estratégico de la Agroindustria Andaluza 2020, que contempla nueve líneas estratégicas de actuación en el ámbito del cambio climático. De esta manera, se pretende promover operaciones orientadas a aumentar la productividad y obtener mejores resultados consumiendo menos recursos como agua, energía, materias primas, etc. que serían reemplazados por otros con menos impacto contaminante (residuos, vertidos, emisiones) (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, 2017b).

### *2.3.3.2. Legislación que regula a la biomasa de olivar en Andalucía*

Las principales normativas que afectan a la biomasa del olivar en Andalucía se pueden clasificar según el sector de actividad que regulan (ver Tabla 2.7.). En el ámbito legislativo, cabe destacar que, en Andalucía no existe una normativa expresa que regule la biomasa del olivar. Esta se encuentra regulada en materia energética por la Ley 2/2007, con la que se pretende establecer la primacía del uso de energías renovables sobre otras fuentes de energía (BOJA, 2007). Esta Ley incluye un conjunto de medidas de promoción y aprovechamiento para cada una de las energías renovables. En cuanto a las medidas de

promoción y aprovechamiento de la biomasa, el artículo 17 de esta Ley establece el compromiso de la Junta de Andalucía de regular el aprovechamiento de la biomasa energética y desarrollar medidas de promoción, el procedimiento de valorización de los recursos biomásicos y realizar programas de promoción de los cultivos energéticos.

**Tabla 2.7.** Principal normativa del sector energético y agrícola de Andalucía

Sector de actividad	Año	Normativa vigente
Sector energético	2007	Ley 2/2007, De fomento de las energías renovables y del ahorro y la eficiencia energética
	2011	Decreto 169/2011, Por el que se aprueba el Reglamento de Fomento de las Energías Renovables, el Ahorro y la Eficiencia Energética en Andalucía.
	2018	Ley 8/2018 De medidas frente al cambio climático y para la transición hacia un nuevo modelo energético en Andalucía.
Sector agrícola y forestal	1985	Ley 2/1985, De Protección Civil.
	1999	Ley 5/1999, De prevención y lucha contra los incendios forestales.
	2001	Ley 5/2011, Del olivar de Andalucía.
	2015	Decreto 103/2015, Por el que se aprueba el Plan Director de Olivar.

Fuente: Elaboración propia a partir del Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (BOJA, 2007; BOJA, 2011a; BOJA, 2018; BOE, 1985; BOJA, 1999; BOJA, 2011b; BOJA, 2015).

Posteriormente, el Decreto 169/2011 desarrolla la Ley 2/2007. A partir de este momento, se regula el Certificado Energético Andaluz como documento acreditativo del cumplimiento de las exigencias energéticas para los edificios y las industrias. Asimismo, se marcan una serie de obligaciones, tales como: la implantación de medidas de eficiencia y ahorro energético rentables a corto plazo; la utilización de las energías renovables para la demanda de energía térmica; y, la puesta en marcha de un sistema de gestión energética para los grandes consumidores (BOJA, 2011a).

En este sentido, dada la relevancia del olivar andaluz, el gobierno autonómico aprueba una Ley específica para este cultivo. Aunque va más allá del ámbito energético, resulta muy favorable para su desarrollo. De este modo, en 2011 entra en vigor la Ley 5/2011, relativa al olivar de Andalucía. Esta Ley tiene por objeto establecer un marco

normativo para el mantenimiento y mejora del cultivo del olivar en Andalucía, el desarrollo sostenible de sus territorios y el fomento de la calidad y promoción de sus productos. Para ello, propone potenciar el sector de la biomasa, regulado también en dicha Ley (BOJA, 2011b). Igualmente, siguiendo las especificaciones contenidas en esta Ley, en 2015 se aprueba el Decreto 103/2015 (Plan Director del Olivar). Este plan establece las estrategias específicas para la biomasa del olivar (BOJA, 2015):

- Impulsar acciones encaminadas a conseguir mejoras en el ahorro y la eficiencia energética en las industrias del olivar.
- Disminuir el volumen de emisiones y efluentes en la industria del olivar.
- Incorporar nuevas tecnologías para la depuración de residuos de las industrias derivadas del olivar.
- Valorar los subproductos obtenidos de las industrias del olivar e incentivar medidas para su reutilización y/o comercialización.
- Incrementar el uso de energías renovables en las industrias del olivar, así como el autoabastecimiento energético de las propias industrias.

En consecuencia, el Plan Director del Olivar supone una oportunidad para impulsar la energía de la biomasa en los territorios de olivar, contribuyendo con la Estrategia 2020 y con el Programa de Desarrollo Rural 2014-2020.

Asimismo, la Ley 5/1999, de 29 de junio, de prevención y lucha contra los incendios forestales y la Ley 2/1985, de 21 de enero, de Protección Civil, propician que los residuos de las podas de olivar se destinen a la generación de energía procedente de la biomasa. Al igual que la Ley 8/2018, ya que esta establece una serie de medidas encaminadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Para ello, propone la transición hacia un modelo energético basado en energías renovables. En este sentido, esta Ley trata de promover la participación ciudadana y fomentar la educación, la investigación, el desarrollo y la innovación (BOJA, 2018).

Por otra parte, a nivel local, las distintas ciudades y poblaciones andaluzas se han unido al Pacto de los Alcaldes. Esto ha impulsado aún más el uso de las energías



renovables y, especialmente, de la biomasa del olivar en Andalucía, donde los 548 municipios participantes (que representan más del 40% de los municipios españoles adheridos) se comprometen a reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel municipal. De este modo, se pretende cumplir con los objetivos marcados por Europa (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, 2018). Los firmantes del Pacto se comprometen a presentar un Plan de Acción para el Clima y la Energía Sostenible (PACES). En este plan se detallan las acciones claves que se pretenden acometer. Además, entre el conjunto de energías renovables se pone de relieve la importancia que tiene la biomasa en la región dado su elevado potencial (Ayuntamiento de Sevilla, 2016). En definitiva, el olivar supone una importante alternativa energética para acometer los distintos proyectos que se establecen en materia renovable.

### *2.3.3.3. Principales medidas de promoción para la biomasa de olivar en Andalucía*

Los principales instrumentos utilizados por el gobierno de Andalucía para la promoción del uso de las energías renovables, y en particular de la biomasa de olivar, son las subvenciones a la inversión en equipos e instalaciones que utilizan estas fuentes de energía. Desde 2003, la encargada de gestionar las ayudas es la Agencia Andaluza de la Energía. En el caso de la biomasa, cabe destacar que en 2006 se crea la Sociedad Andaluza para la Valorización Energética de la Biomasa, que tiene como objetivo desarrollar tecnologías que impulsen el uso energético de ésta como elemento de creación de riqueza en el sector agrícola y forestal. Esta sociedad de carácter mixto público-privada, es la primera sociedad de estas características que se pone en marcha en Europa (Europa Press, 2006).

Las medidas más destacadas en Andalucía para la promoción de energías renovables, y en particular de la biomasa del olivar, se muestran en la tabla 2.8. En ella se recogen las medidas más recientes, aunque anteriormente han existido otras formas de incentivos para la promoción de energías renovables y la eficiencia energética en diferentes sectores económicos y los hogares.

**Tabla 2.8.** Incentivos económicos más recientes

Medidas	Aprobación	Denominación	Descripción del contenido
Medidas de promoción 2009-2016 (no vigente)	Orden de 4 de febrero de 2009	Programa de Incentivos para el Desarrollo Energético Sostenible de Andalucía 2009 "Andalucía A+"	Apuesta por fomentar el ahorro energético y el uso de las energías renovables en todos los ámbitos de la sociedad andaluza.
	Decreto-Ley 1/2014 de 18 de marzo	Programa de Impulso a la Construcción Sostenible en Andalucía	Integra varias líneas de actuación con los incentivos dirigidos a favorecer actuaciones de ahorro energético, la mejora de la eficiencia energética y el aprovechamiento de las energías renovables en edificios ubicados en Andalucía. Todo ello, a través de la realización de obras de rehabilitación, reforma, adecuación al uso e instalaciones eficientes. También trata de subvencionar las operaciones de obtención y tratamiento de la biomasa.
Medidas de promoción 2017-2020 (vigente)	Orden de 23 de diciembre de 2016	Programa de Incentivos para el Desarrollo Energético Sostenible de Andalucía 2020. "Andalucía es más"	El objetivo de este Programa es seguir impulsando la eficiencia energética y la aplicación de los recursos renovables en el ámbito de la edificación y los procesos. Así se pretende avanzar en la evaluación y gestión energética, en la movilidad sostenible y en la implantación de redes inteligentes en el ámbito energético. Tal y como marca la Estrategia Energética de Andalucía 2020. De igual modo, se continúa subvencionando las inversiones encaminadas a favorecer la obtención y tratamiento de la biomasa.

Fuente: Elaboración propia a partir del Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (BOJA, 2009; BOJA, 2014; BOJA, 2016).

Durante el período de vigencia de las primeras medidas de promoción, 2009-2016, se ponen en marcha 22.949 proyectos para la biomasa. Estos proyectos reciben incentivos por un valor de 61 millones de euros. De dichos proyectos, 20.039 corresponden a la Orden de Incentivos para el Desarrollo Energético Sostenible de Andalucía, cuyas ayudas

suman la cantidad de 46 millones de euros y suponen una inversión de 118 millones de euros. La mayoría de los proyectos (19.979) son para biomasa térmica, seguidos de la logística y tratamiento de biomasa. Además, a esto se suma que, desde la entrada en vigor en abril de 2014 del Programa de Impulso a la Construcción Sostenible en Andalucía, y hasta el 31 de mayo de 2016, se apoyan 2.910 proyectos de biomasa térmica (estufas, chimeneas de leña y calderas) con un incentivo de más de 15 millones de euros. Esto conlleva a una inversión asociada de 23 millones de euros (FFE, 2016).

Fruto de estos proyectos, se produce un notable crecimiento de las instalaciones de biomasa térmica en los sectores residencial y de servicios. Así, según los datos ofrecidos por la Agencia Andaluza de la Energía, en 2015 el consumo de biomasa en el sector residencial es, por primera vez, superior al del sector industrial, con un 39,62% frente al 25,84%, que representa este último (Consejería de Empleo, Empresa y Comercio de la Junta de Andalucía, 2013). En este crecimiento juega un papel muy relevante los principales subproductos del olivar, pues son los que ostentan las cifras más representativas en el conjunto de la biomasa.

Posteriormente, con el fin de seguir impulsando el uso de energías renovables en la región, se pone en marcha un segundo programa de incentivos (2017-2020), con la aprobación de la Orden de 23 de diciembre de 2016. Así, a través de sus programas, centrados en tres líneas (Construcción Sostenible, Pyme Sostenible y Redes inteligentes) se pretende seguir potenciando el uso de renovables, incluida la biomasa de olivar. De esta forma, las diferentes líneas de actuación se centran en los sistemas de mejora logística de la biomasa y su aprovechamiento energético en los sectores económicos y en los hogares.

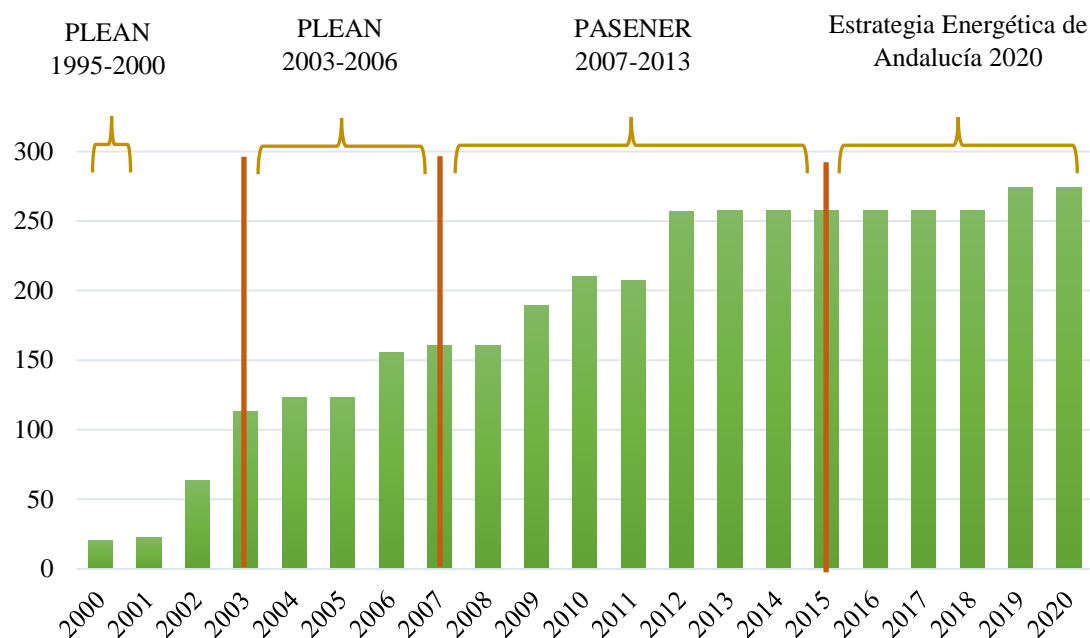
#### *2.3.3.4. El olivar en la evolución de la biomasa en Andalucía*

El consumo de energías renovables en Andalucía equivale al 19,48% del consumo de energía primaria en 2020 (5,2 puntos porcentuales por encima de España). Éste ha contribuido a reducir en un 43% las emisiones de dióxido de carbono en los últimos años (Agencia Andaluza de la Energía, 2020a). Sin embargo, queda un largo camino por

recorrer para impulsar el desarrollo de las energías renovables en la región, con una potencia total instalada de 8.103,4 MW, frente a los 9.459,2 MW de las fósiles. La mayor parte de la potencia eléctrica renovable instalada en Andalucía procede de la energía eólica (3.472,0 MW), seguida de la solar fotovoltaica (2.672,1 MW), la solar térmica (997,4 MW), la hidroeléctrica (650,0 MW) y la biomasa (274,0 MW). El sector de la biomasa en Andalucía contabiliza 2.066,2 MW de potencia instalada tanto térmica, que alcanza los 1.792,2 MW, como eléctrica, que se sitúa en 274,0 MW (Agencia Andaluza de la Energía, 2020a; 2020b). Esto representa el 38% de la potencia instalada total para usos eléctricos y el 21% para usos térmicos en España.

La Figura 2.5. muestra la evolución de la potencia instalada de biomasa para usos eléctricos en Andalucía, durante el período 2000-2020. De este modo, se puede observar que, desde el año 2000, la biomasa para usos eléctricos no ha dejado de aumentar. Desde 2005, ésta se ha incrementado un 54,84%. A partir de este momento, es cuando se produce un mayor crecimiento de esta fuente energética. En este sentido, cabe destacar que la región llega a cumplir con los objetivos marcados por el PASENER 2007-2013 para la biomasa para usos eléctricos, que se fija en 256 MW de potencia total instalada (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía, 2007). Así, en 2013 la biomasa para usos eléctricos se sitúa en 257,5 MW de potencia total instalada, tal y como se puede observar en la Figura 2.5. No obstante, se produce una paralización en el desarrollo de este sector a partir de 2012, debido a los cambios normativos nacionales para corregir el déficit de tarifa. En 2019 ocupa el quinto lugar con un 4,20% del total renovable instalado, generando 1.569,2 GWh al año.

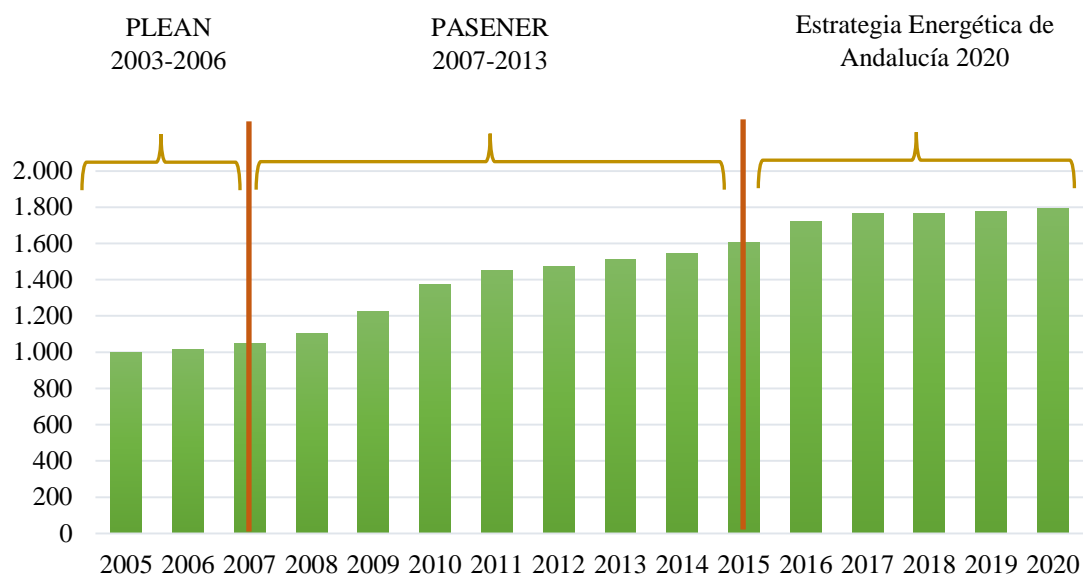
**Figura 2.5.** Evolución de la potencia eléctrica de biomasa instalada en Andalucía durante el período 2000-2020 (unidades: en MW)



Fuente: Elaboración propia a partir de la Agencia Andaluza de la Energía (2020a).

La Figura 2.6. muestra la evolución de la potencia instalada de biomasa para usos térmicos durante el período 2005-2020. Puede observarse un incremento pronunciado a partir de 2011, coincidiendo con la vigencia de los programas de incentivos puestos en marcha durante el período 2009-2015. Así, desde 2010, la potencia instalada se ha incrementado en un 77,54%. Esto ha favorecido el cumplimiento de los objetivos marcados por el PASENER 2007-2013 para la biomasa para usos térmicos, que se establece en 506,67 MW de potencia total instalada (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía, 2007). De este modo, en 2013 la biomasa para usos térmicos se sitúa en 1.509,2 MW, tal y como se puede apreciar en la Figura 2.6. En 2020 la potencia total para biomasa para usos térmicos se sitúa en 1.792,2 MW.

**Figura 2.6.** Evolución de la potencia térmica de biomasa instalada en Andalucía durante el período 2005-2020 (unidades: en MW)



Fuente: Elaboración propia a partir de la Agencia Andaluza de la energía (2020a).

Los incrementos en el uso de biomasa han sido posible debido a los abundantes residuos generados por el cultivo del olivar y sus industrias asociadas en la región. De las 17 instalaciones de generación eléctrica en Andalucía, 13 de ellas utilizan subproductos del olivar (135,33 MW de potencia instalada). Además, los subproductos del olivar son también muy utilizados para los usos térmicos (Agencia Andaluza de la Energía, 2020b).

En definitiva, a pesar de que la biomasa ocupaba un lugar privilegiado dentro del ranking de las energías renovables, aún existe un considerable desaprovechamiento de recursos en este sector. El potencial de biomasa oscila alrededor de 20 millones de toneladas por año, siendo los residuos agrícolas (4,6 millones de toneladas) los que representan el mayor volumen, seguidos de los residuos industriales (5,07 millones de toneladas). En ambos casos, la biomasa del olivar tiene una elevada participación, pues estos representan, con 6,43 millones de toneladas, el 31,89% del potencial total de la biomasa en la región. Asimismo, el potencial de la biomasa de olivar supera al del resto de residuos con 1.526 ktep (38,58%). Esto justifica la mayoría de las plantas de

generación eléctrica utilicen los principales subproductos del olivar como medio de producción de energía renovable, así como la importancia de este cultivo en el territorio (Agencia Andaluza de la Energía, 2020b).

## **2.4. Discusión**

Los resultados de este trabajo muestran que la implementación de planes energéticos, Leyes y medidas de promoción, para fomentar el uso de la biomasa del olivar para usos térmicos y eléctricos, no ha sido suficiente. En Europa, los combustibles fósiles continúan siendo la fuente energética dominante, con un consumo del 72,6%. A pesar de la favorable posición que ocupa la biomasa en el mix energético renovable (44,67% de la producción), ésta sigue presentando un elevado índice de desaprovechamiento de sus residuos, como es el caso del olivar mediterráneo. Esto provoca una importante pérdida de oportunidades, a la hora de cumplir con los objetivos marcados por los diferentes gobiernos para combatir el cambio climático.

Del mismo modo, la normativa analizada a nivel nacional en este trabajo refleja la escasa influencia que ha tenido en el desarrollo de la biomasa de olivar como fuente de energía, para usos térmicos y eléctricos. En este caso, el nivel de desarrollo de la biomasa presenta una situación menos favorable que a nivel europeo. A pesar del elevado potencial de la biomasa de olivar, esta fuente de energía sólo representa el 5% del total generado por las energías renovables. Actualmente, en España, las energías renovables más desarrolladas son la eólica (con una potencia instalada de 22.990 MW) y la hidráulica (con una potencia instalada de 18.963 MW). La biomasa, por su parte, sólo representa el 1,34% de la potencia instalada de las energías renovables, para usos eléctricos (con 677 MW) y el 16,42% para usos térmicos (con 8.297 MW). Esto se debe en gran parte a la baja retribución percibida en comparación con otras energías renovables que se encuentran en una situación más privilegiada, como son; la solar fotovoltaica, la solar termoeléctrica y la eólica. Asimismo, el sector del olivar se enfrenta a otros obstáculos para el aprovechamiento de sus residuos, como el coste de la mano de obra y el transporte.

A pesar de la gran superficie ocupada por el olivar en Andalucía (60% a nivel nacional y 30% a nivel europeo), el desarrollo de esta fuente energética sigue la misma dinámica que a nivel nacional, con tan sólo 274,0 MW de potencia instalada para usos eléctricos, y 1.792,2 MW de potencia instalada para usos térmicos. Sin embargo, cabe señalar que, a lo largo de los años, el uso de esta fuente de energía ha ido en aumento para los usos térmicos y eléctricos, experimentando su mayor desarrollo desde 2005. Esta tendencia implica el cumplimiento de los objetivos marcados por el PASENER 2007-2013 para aplicaciones térmicas y eléctricas. Sin embargo, a pesar de esto, el desaprovechamiento de esta materia orgánica sigue siendo elevado. A partir de 2012, con la normativa aplicada a nivel nacional, se comienza a suprimir el sistema de primas a las energías renovables, lo que provoca un estancamiento en el desarrollo de la biomasa y la biomasa de olivar.

En este sentido, una normativa más favorable y un mayor incentivo a la biomasa de olivar permitiría potenciar el uso de esta fuente energética en los lugares donde habita este cultivo. Así, países y regiones con un gran número de olivares podrían aprovechar las oportunidades que les ofrece este cultivo en términos energéticos, tal y como reflejan numerosas investigaciones. De esta forma, centrándonos en el trabajo de Marquina et al. (2021b), cabe destacar el elevado desaprovechamiento de biomasa de olivar en la región. En concreto, este representa el 69,23% de los residuos, provocando pérdidas de oportunidades que se traducen en un menor desarrollo de las energías renovables y, especialmente, de la biomasa de olivar. Además, Marquina et al. (2021b) establecen que un mayor uso de la biomasa de olivar supondría la puesta en marcha de 55 y 1.762 plantas de generación eléctrica y térmica, respectivamente. Esto desembocaría en un mayor aumento de la inversión y, en consecuencia, del nivel empleo, lo que representaría un aspecto positivo para la economía regional, que se ha visto muy afectada por la crisis económica provocada por el COVID-19. Igualmente, el potencial de la biomasa del olivar ha sido objeto de estudios en otros trabajos de investigación, como el de García-Maraver et al. (2012) para Andalucía y el de Algieri et al. (2019), Spinelli et al. (2011), Alatzas et al. (2019) y Dounavis (2019) para Italia y Grecia.



En este sentido, un mejor aprovechamiento de la biomasa de olivar redundaría en una mayor reducción de los gases de efecto invernadero, promoviendo una economía más sostenible, basada en la bioeconomía y la economía circular. Esto tendería a cumplir mejor los objetivos marcados en los diferentes planes energéticos, al tiempo que se promulga una Recuperación Verde ante la crisis económica derivada del COVID-19. Así, dada la actual coyuntura económica, un mayor aprovechamiento de los residuos del olivar y del sector agroindustrial del olivar traería consigo un mayor desarrollo económico, especialmente en las zonas rurales donde habita este cultivo. No obstante, es conveniente destacar que la biomasa del olivar, además de presentar oportunidades (ser renovable; reducir la dependencia energética y el consumo de combustibles fósiles; contribuir a la reducción de residuos; o tener un balance neutro en las emisiones de CO<sub>2</sub>), también presenta una serie de repercusiones negativas, tales como: los elevados costes de mano de obra y de transporte; que su suministro depende de la estacionalidad; y los altos costes en la construcción y operación de plantas (Chen et al., 2021).

Por otra parte, también cabe destacar el impacto del bloqueo de COVID-19 sobre la demanda y el consumo de energía en Europa. Así, según Jiang et al. (2021), en comparación con el valor medio de 2015 a 2019, la generación media de electricidad total de 16 países europeos en abril de 2020 se redujo en un 9% (25 GW). De este modo, mientras que la generación de energía fósil disminuyó en un 28% (24 GW) y la energía nuclear disminuyó un 14% (11 GW), las energías renovables aumentaron un 15% (15 GW). En este sentido, cabe señalar que a pesar de la crisis del COVID-19, los objetivos de cumplir con una economía respetuosa con el medioambiente siguen siendo una prioridad.

En definitiva, en base a los resultados obtenidos, cabe destacar el escaso beneficio que ha demostrado tener la normativa vigente hasta 2012 y el gran obstáculo que ha presentado la normativa aprobada a partir del citado año a pesar del elevado potencial que presenta Andalucía. Por ello, sería conveniente cambiar esta vertiente normativa hacia una normativa más favorable con energías limpias y, en especial, con biomasa del olivar. De este modo, el objetivo final sería promover una recuperación verde para incentivar las energías renovables y, al mismo tiempo, estimular la economía en general. Con este

trabajo se pretende poner de manifiesto cómo las principales normativas han influido en el desarrollo de la biomasa del olivar. Así, los beneficios que presenta esta investigación es dar a conocer cómo ha influido e influye la principal normativa de las energías renovables en el desarrollo de las mismas y resaltar las pérdidas de oportunidades que esto reporta.

## Capítulo 3. El valor económico de la biomasa del sector del olivar para usos térmicos y eléctricos en Andalucía (España).

### 3.1. Introducción

Este capítulo responde al segundo objetivo de esta tesis doctoral y corresponde al artículo de investigación, **The economic value of olive sector biomass for thermal and electrical uses in Andalusia (Spain)**, publicado en la revista *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Marquina et al., 2021b). En este capítulo, se determina la cantidad máxima de energía eléctrica y térmica que puede obtenerse en Andalucía a partir de los residuos del olivar y el valor económico que podría generarse a partir de estos usos energéticos.

El objetivo de este análisis consiste en ampliar las investigaciones previas sobre el potencial de la biomasa de olivar en Andalucía y en determinar la cadena de valor de esta misma materia orgánica en la región. Este último análisis es novedoso, ya que no existen investigaciones sobre este tema hasta el momento. En primer lugar, para alcanzar este objetivo, se realiza un análisis del potencial consistente en cuantificar los subproductos del sector del olivar durante el período 2004-2016. Así, se puede obtener tanto la potencia como la energía generada térmica y eléctrica potencial para poder ser comparada con los datos reales, ofrecidos por las diferentes fuentes de datos oficiales. De este modo, puede observarse con mayor exactitud el grado de desaprovechamiento existente. En segundo lugar, como novedad, en base a la cadena de valor de los usos térmicos y eléctricos de la biomasa, se establece qué usos generan mayor riqueza en la región. Para este último procedimiento, se consideran los datos ofrecidos por las distintas fuentes oficiales para el período 2009-2016.

Algunos estudios precedentes han valorado el potencial de este tipo de biomasa o similar en países como Italia (Algieri et al., 2019; Spinelli et al., 2011; Di Fraia et al.,

2020), Grecia (Alatzas et al., 2019; Dounavis, 2019) o España (Manzanares-Secades et al., 2017, Rosúa et al. 2012, Velázquez-Martí et al. 2011, García-Maraver et al. 2012). En este sentido, cabe destacar el estudio de Di Fraia et al. (2020), que permite cuantificar la biomasa de diversos cultivos, entre los que se encuentra la biomasa de olivar. Los autores utilizan un proceso metodológico que no hace una distinción específica entre los subproductos obtenidos en este sector agroindustrial. Para obtener los resultados, los investigadores utilizan datos estadísticos y bibliográficos de diferentes fuentes oficiales. Alternativamente, el estudio de Manzanares-Secades et al. (2017) utiliza un proceso metodológico basado en encuestas para recopilar datos del sector agroindustrial del aceite de oliva. Estos investigadores sólo consideran tres subproductos: poda de olivar, orujillo y hojas de olivo. Además, García-Martín et al. (2020) utiliza un proceso metodológico que permite determinar la biomasa del sector del olivar. Con ese enfoque, se pueden obtener todos los subproductos de este sector. Este planteamiento es similar al propuesto por la Agencia Andaluza de la Energía (Agencia Andaluza de la Energía, 2017) para obtener los subproductos del sector del olivar. Este último es el que se utiliza para obtener los resultados de este análisis. Finalmente, los estudios de Alatzas et al. 2019, Rosúa et al. (2012), Algieri et al. (2019), Velázquez-Martí (2011) y García-Maraver et al. (2012) se centran en cuantificar la biomasa procedente de la poda de olivar. Todos estos trabajos son relevantes para poder obtener datos cuantitativos del sector de la biomasa de olivar. De hecho, todas estas investigaciones se desarrollan para países mediterráneos. Sin embargo, la metodología utilizada por Civantos López-Villalta (1981) es la que mejor se ajusta al análisis propuesto en esta investigación, ya que utiliza una metodología en la que se diferencian todos los subproductos de la poda de olivar. Además, los investigadores ajustan este modelo matemático a las características de la plantación, el terreno, la capacidad productiva o la frecuencia de la poda de este cultivo en la región de Andalucía (España). Esta metodología ha sido utilizada en otros trabajos de investigación para obtener resultados en la citada región. Un ejemplo de ello es el trabajo de Medina et al. (2006). Así, la metodología de Civantos López-Villalta (1981) sigue siendo válida, ya que cuando se desarrolló se tuvieron en cuenta las zonas de olivar intensivo y tradicional. Actualmente, estas formas de cultivo representan el 95% de la superficie de olivar en Andalucía frente al 2,5% del olivar superintensivo.

También cabe mencionar que, en el caso de España, la mayoría de las investigaciones centran su foco de atención en la región de Andalucía, donde esta materia orgánica toma cierto protagonismo dada la abundancia de residuos. Un claro ejemplo es el estudio de García-Maraver et al. (2012). A través de este trabajo, los autores tratan de revelar el potencial que tiene la biomasa de olivar para usos eléctricos y térmicos en Andalucía, así como el impacto positivo que tiene este potencial tanto para el medio ambiente como para la eficiencia energética. En este sentido, el uso de los residuos de olivar para fines energéticos permitiría poner en marcha el concepto de bioeconomía y economía circular (Torrise et al., 2018), que se ha convertido en un aspecto muy relevante en los últimos años y objeto de multitud de estudios. Un ejemplo significativo es el de D'Adamo et al. (2019) que evalúa las oportunidades asociadas con el desarrollo de estos modelos de economía circular. De forma paralela, estos estudios pretenden promover la biomasa de olivar con el fin de incentivar el desarrollo económico de las zonas rurales o la creación de empleo (EC, 2012; Langeveld, 2010).

Por lo que respecta al análisis de la cadena de valor de la biomasa de olivar, cabe decir, que conocer el valor económico de esta materia orgánica para usos térmicos y eléctricos en Andalucía podría ser de gran interés para las empresas del sector, ya que les ayudaría a comprender con mayor facilidad las ventajas de un mejor aprovechamiento de estos residuos en términos económicos. Igualmente, este análisis permite abrir nuevas líneas de investigación enfocadas en pronosticar el valor de estos residuos para usos térmicos y eléctricos en el futuro. Para ello, existen estudios previos que utilizan diversas metodologías que pueden resultar útiles a la hora de pronosticar el valor de la biomasa de olivar en un futuro determinado (Karasu et al., 2020; Altan et al., 2021).

En definitiva, en los últimos tiempos numerosos estudios se han centrado en enaltecer la importancia de la biomasa de olivar, principalmente para dar respuesta al problema energético o como medio para combatir el cambio climático. Uno de los más recientes es el de Montaro et al. (2018), que pone de manifiesto la importancia de la agricultura y, en especial, del olivar como fuente de energía renovable. El fin de este estudio es el de dar a conocer su valor energético para así reducir los gases efecto invernadero.

### **3.2. Metodología**

El procedimiento metodológico de este trabajo se desarrolla en tres partes. En la primera, se determina la cantidad de biomasa que se puede obtener a partir de los residuos del sector del olivar. Para determinar la cantidad de biomasa que se puede obtener de los residuos generados en la elaboración del aceite de oliva y aceitunas de mesa se utiliza la metodología de la Agencia Andaluza de la Energía (2017). Para determinar la cantidad de biomasa que se puede obtener de los residuos generados de la poda de olivar se utiliza la metodología de Civantos López Villalta (1981). Estas dos metodologías son las que mejor se ajustan a este estudio, ya que permiten una determinación detallada de los diferentes residuos que se tratan en los resultados de este trabajo. El período considerado es 2004-2016.

En la segunda parte, se determina la cantidad máxima de energía eléctrica y térmica que se puede obtener de dichos residuos. Los resultados de este análisis se obtienen aplicando los datos obtenidos de diversas fuentes estadísticas y bibliográficas, a las diferentes ecuaciones matemáticas. Igualmente, el período considerado es 2004-2016.

En la tercera parte, se determina el valor económico de los usos térmicos y eléctricos. Esta parte presenta un análisis novedoso, ya que no existen investigaciones previas al respecto. Para determinar los resultados de este proceso se utilizan los resultados potenciales de biomasa obtenidos en este trabajo, y los datos reales ofrecidos por diferentes fuentes estadísticas y bibliográficas oficiales. En este caso, dada la disponibilidad de los datos, el período considerado es 2009-2016.

El proceso metodológico de cada una de estas partes se detalla a continuación.

### 3.2.1. Metodología empleada para el cálculo de la biomasa derivada de los residuos del sector del olivar

En esta primera parte del proceso metodológico se determina la cantidad de biomasa que puede obtenerse a partir de los residuos generados en el proceso de fabricación de aceite de oliva, de aceituna de mesa y de las podas del olivar.

El cálculo de la biomasa obtenida en el proceso de fabricación de aceite de oliva se determina a partir la información ofrecida por la Agencia Andaluza de la Energía (Agencia Andaluza de la Energía, 2017). Esta se sintetiza en la Figura 3.1. De este modo, una tonelada de aceitunas genera un 27% de aceite de oliva y un 73% de orujo. De este 73% de orujo, el 30% se destina a la generación de energía eléctrica y el resto, a la elaboración de aceite de orujo de oliva (Agencia Andaluza de la Energía, 2017). En el proceso de elaboración del aceite de orujo se obtiene aceite de orujo de oliva (1,5%), agua (60%), hueso de aceituna (11,50%) y orujillo (27%). Estos dos últimos subproductos son aptos para la generación de energía renovable. Asimismo, del residuo líquido obtenido (llamado alpechín) puede obtenerse biocombustible, fertilizante, y agua para regar. No obstante, dado que su uso está muy poco extendido (Agencia Andaluza de la Energía, 2016) y que sólo nos centramos en la biomasa sólida, en este estudio no se contabiliza dicha energía renovable. Así pues, se valora únicamente la energía renovable obtenida a partir del orujo, orujillo y hueso de aceituna.

De este modo, el cálculo de la biomasa obtenida en el proceso de fabricación de aceite de oliva se realiza de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$O_P = 0,73 Z_A \cdot 0,3 \quad [1]$$

$$O_{SA} = 0,73 Z_A \cdot 0,115 \cdot 0,7 \quad [2]$$

$$E_P = 0,73 Z_A \cdot 0,27 \cdot 0,7 \quad [3]$$

Donde;

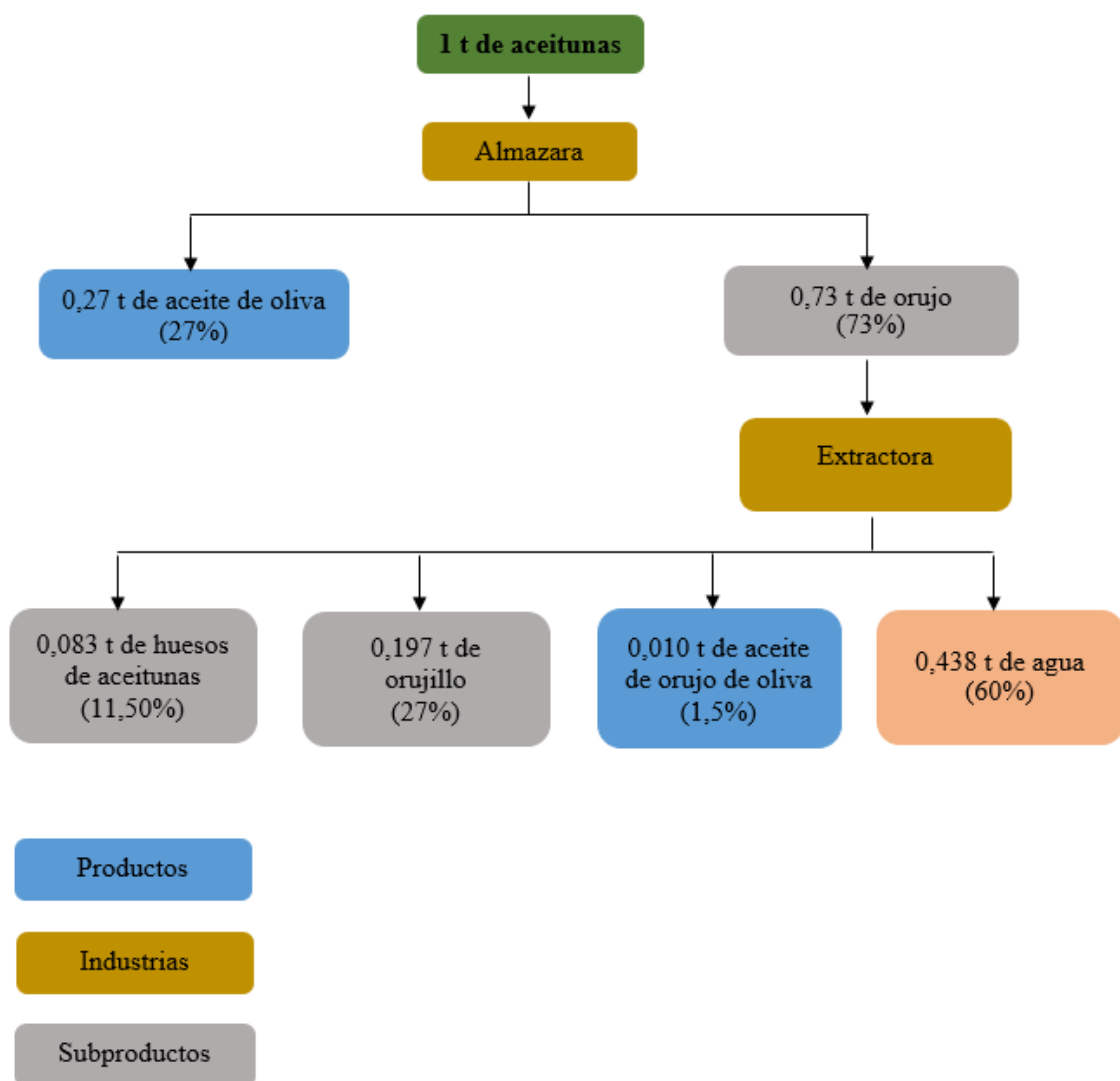
$O_P$  = cantidad de orujo (t/año).

$Z_A$  = cantidad de aceitunas de almazara (t/año).

$O_{SA}$  = cantidad de huesos de aceitunas de almazara (t/año).

$E_P$  = cantidad de orujillo (t/año).

**Figura 3.1.** Balance de masas del proceso producción del aceite de oliva y aceite de orujo de oliva



Fuente: Agencia Andaluza de la Energía (2017) y elaboración propia.



En el proceso de limpieza de la aceituna, previo al proceso de elaboración del aceite de oliva y del aceite de orujo de oliva, se extraen hojas del olivo (también denominadas hojín) que representan un 8% de la aceituna molturada (Agencia Andaluza de la Energía, 2017). Estas pueden ser destinadas para generación de energía eléctrica. En este caso, 1 tonelada de aceituna de almazara genera 0,08 toneladas de hojín.

$$O_L = 0,08 Z_A \quad [4]$$

Donde;

$O_L$  = cantidad de hojín u hojas de almazara (t/año).

$Z_A$  = cantidad de aceitunas de almazara (t/año).

Para el cálculo de la biomasa obtenida en el proceso de elaboración de la aceituna de mesa o aderezo se utiliza, igualmente, la información de la Agencia Andaluza de Energía. En las industrias de aderezo se deshuesan aproximadamente el 80% de las aceitunas que se procesan para comercializar la aceituna sin hueso (Agencia Andaluza de la Energía, 2017). En este caso, tras pasar por la entamadora, se obtiene el hueso de la aceituna que es comúnmente utilizado en las calderas para usos energéticos térmicos. Dado que la aceituna está compuesta por un 85% de pulpa y un 15% de hueso, del 80% de aceitunas de mesa que se deshuesan se obtiene un 15% de hueso. Por tanto, de 1 tonelada de aceituna de mesa se deshuesa el 80% (0,80 toneladas), del que se obtiene 0,15 toneladas de hueso.

$$O_{SM} = 0,8 z_M \cdot 0,15 \quad [5]$$

Donde;

$O_{SM}$  = cantidad de hueso de aceituna de mesa (t/año).

$Z_M$  = cantidad de aceitunas de mesa (t/año).

Para el cálculo de las podas de olivar (compuestas por ramones y leñas) se utiliza la metodología propuesta por Civantos López-Villalta (1981). Aunque existen diversos estudios que cuantifican la biomasa de olivar en España (Manzanares-Secades et al. 2017; Rosúa et al. 2012; Velázquez-Martí et al. 2011; García-Maraver et al. 2012), la de Civantos López-Villalta (1981) es la que mejor se ajusta a este trabajo.

Cabe destacar que los métodos de cultivo del olivo han ido cambiando a lo largo de los años (Romero-Gámez et al. 2017). A finales de la década de los 70 se sientan las bases de la olivicultura moderna, conviviendo el olivar intensivo con el tradicional. Esta situación continúa hasta la actualidad, donde en 2018, el 95% de la superficie de olivar corresponde a estos tipos. A finales del siglo XX, y de forma experimental, se empieza a implantar en Andalucía el sistema de olivar superintensivo en “seto”. A pesar de ello, los trabajos realizados sobre el aprovechamiento de la biomasa de olivar utilizan la fórmula de Civantos López-Villalta (1981) para evaluar la cantidad de biomasa disponible (Medina et al. 2006). Esta metodología tiene características favorables, ya que el establecimiento de una fórmula matemática que cuantifique la biomasa del olivar superintensivo en “seto” requiere de experiencias reales que permitan determinar la ecuación. Así, la escasa superficie actual de este tipo de cultivo (2,5% del total), la necesidad de desarrollar plantaciones óptimas y mecanización de todas las operaciones agrícolas, incluida la poda, exige más trabajo a desarrollar por parte de los técnicos y científicos del creciente olivar. Sin embargo, existen algunos trabajos experimentales que muestran una producción de biomasa del orden de 2 o 3 veces la obtenida en el olivar tradicional e intensivo (Parras, 2020).

Civantos López-Villalta (1981) muestra que existe una relación lineal entre el peso de las leñas y de los ramones y la producción del árbol. Asimismo, el enfoque matemático tiene en cuenta factores como la edad del olivo, su variedad, el sistema y la frecuencia de la poda, la ubicación de los olivos (llanuras, montañas, etc.), el tamaño y la

capacidad productiva. De esta forma, puede cuantificarse la cantidad de ramón y leña mediante las siguientes ecuaciones lineales:

- Cuantificación del ramón  $\rightarrow y_1 = 0,88 x + 4,76$
- Cuantificación de la leña  $\rightarrow y_2 = 0,74 x - 6,48$

Donde, “x” es la productividad media (kg de aceituna/olivo) y los parámetros  $y_1$  e  $y_2$  proporcionan la cantidad de ramón y de leña, respectivamente, que se puede extraer de un olivo, tanto de mesa como de almazara, que produzca “x” kilogramos de aceitunas. En el caso del olivar de almazara, al realizarse la poda bienalmente, los valores obtenidos de ambas ecuaciones se van a dividir entre dos, obteniéndose la biomasa anual por olivo.

De esta forma, la cantidad anual de ramón producida por el conjunto de olivos de aceitunas de mesa en Andalucía se calcula de acuerdo con la ecuación [6]:

$$R_M = \frac{(x_i \cdot 0,88 + 4,76) \cdot n_i}{2 \cdot 10^3} \quad [6]$$

Por su parte, la cantidad anual de ramón que generan los olivos de almazara se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$R_A = \frac{\left(\frac{x_i + x_{i+1}}{2} \cdot 0,88 + 4,76\right) \cdot \frac{n_i + n_{i+1}}{2}}{2 \cdot 10^3} \quad [7]$$

Por otro lado, para obtener la cantidad anual de leña que producen los olivos de mesa de la región se utiliza la siguiente ecuación:

$$L_M = \frac{(x_i \cdot 0,74 - 6,48) \cdot n_i}{2 \cdot 10^3} \quad [8]$$

Finalmente, el cálculo de la cantidad anual de leña que producen los olivos de almazara se realiza de acuerdo con la ecuación [9]:

$$L_A = \frac{\left(\frac{x_i + x_{i+1}}{2} \cdot 0,74 - 6,48\right) \cdot \frac{n_i + n_{i+1}}{2}}{2 \cdot 10^3} \quad [9]$$

Donde;

$R_M$  = cantidad de ramón del olivar de mesa (t/año).

$R_A$  = cantidad de ramón del olivar de almazara (t/año).

$L_M$  = cantidad de leña del olivar de mesa (t/año).

$L_A$  = cantidad de leña del olivar de almazara (t/año).

$x_i$  = productividad del olivar de mesa/almazara en el año  $i$ .

$x_{i+1}$  = productividad del olivar de mesa/almazara en el año  $i+1$ .

$n_i$  = número de olivar de mesa/almazara en el año  $i$ .

$n_{i+1}$  = número de olivar de mesa/almazara en el año  $i+1$ .

### 3.2.2. Metodología empleada para el cálculo de la energía eléctrica y térmica derivada de los residuos del sector del olivar

Una vez obtenidos todos los subproductos que pueden extraerse tanto del olivar como de la industria agroalimentaria del aceite de oliva y la aceituna de mesa, en la segunda parte de esta metodología, se clasifica la cantidad de subproductos o biomasa que es apta para cada uno de los usos. Así, se puede determinar la cantidad de energía que puede generarse en GWh con la plena utilización de dichos subproductos. Una vez calculado este valor, puede ser comparado con los datos reales que ofrece la Agencia Andaluza de la Energía (Agencia Andaluza de la Energía, 2017). Así, se puede poner de manifiesto qué potencial se estaría desaprovechando para usos térmicos y eléctricos.

Para clasificar los distintos subproductos según los usos eléctricos y térmicos se aplican las siguientes ecuaciones. Se considera que la cantidad de orujillo se destina en un 50% para cada uno de los usos, ya que este subproducto es apto para ambos:

$$m_E = O_P + 0,5 E_P + O_L + R_M + R_A \quad [10]$$

$$m_T = O_{SA} + 0,5 E_P + O_{SM} + L_M + L_A \quad [11]$$

Donde,

$m_E$ : cantidad de biomasa útil para uso eléctrico (t/año)

$m_T$ : cantidad de biomasa útil para uso térmico (t/año)

El cálculo de la potencia eléctrica y térmica que puede obtenerse en MW con la plena utilización de dichos subproductos se calcula de la siguiente forma:

$$P_e = \frac{m \cdot PCI}{(h \cdot 860) \cdot 10^3} \cdot \mu \quad [12]$$

Igualmente, para la potencia térmica el cálculo es:

$$P_t = \frac{m \cdot PCI}{(h \cdot 860) \cdot 10^3} \cdot \mu t \quad [13]$$

Donde,

$P_e$ : Potencia eléctrica (MW).

$P_t$ : Potencia térmica (MW).

$m$ : kg de biomasa/año.

PCI: poder calorífico inferior de la biomasa (kcal/kg).

$h$ : horas anuales de funcionamiento.

$\mu$ : rendimiento de conversión eléctrica.

$\mu_t$ : rendimiento de conversión térmica.

Una vez obtenidos los resultados, se pueden comparar con los datos de potencia instalada de la Agencia Andaluza de la Energía tanto para usos térmicos como eléctricos.

Finalmente, se calcula la energía eléctrica y térmica generada del siguiente modo:

$$E_E = \frac{P_e \cdot 6.500}{1.000} \quad [14]$$

$$E_T = \frac{P_t \cdot 3.700}{1.000} \quad [15]$$

Donde;

$E_E$  = energía eléctrica generada (GWh).

$E_T$  = energía térmica generada (GWh).

$P_e$  = potencia eléctrica (MW).

$P_t$  = potencia térmica (MW).

### 3.2.3. Metodología empleada para el cálculo del valor económico de la energía generada para usos térmicos y eléctricos derivados de los residuos del sector del olivar

Por último, en la tercera parte de esta metodología, se determina el valor económico de la energía generada para usos térmicos y eléctricos. Para ello, se compara el valor económico obtenido por la biomasa a partir de ambos aprovechamientos energéticos. Para obtener los resultados, se utiliza la siguiente metodología.

En primer lugar, se calcula el valor económico de la energía generada eléctrica y térmica, como se expresa en las ecuaciones [16] y [17 y 18], respectivamente. Para el caso de la energía térmica se considera un uso doméstico (ecuación [17]) e industrial (ecuación [18]):

$$V_E = E_E 10^6 \cdot p_E \quad [16]$$

$$V_{TH} = E_T 10^6 \cdot p_{TH} \quad [17]$$

$$V_{TI} = E_T 10^6 \cdot p_{TI} \quad [18]$$

Donde;

$V_E$ : valor económico de la energía eléctrica (€)

$V_{TH}$ : valor económico de la energía térmica para uso doméstico (€)

$V_{TI}$ : valor económico de la energía térmica para uso industrial (€)

$p_E$ : precio unitario de la energía eléctrica generada con biomasa (€/kWh)

$p_{TH}$ : precio unitario de la energía térmica para uso doméstico (€/kWh)

$p_{TI}$ : precio unitario de la energía térmica para uso industrial (€/kWh)

El  $p_E$  se corresponde con la suma del precio de retribución específica de la energía eléctrica con biomasa (prima) y el precio de mercado eléctrico español (pool).

En segundo lugar, a partir de las expresiones [16] a [18] se calcula el valor de la biomasa para cada uno de los usos considerados:

$$B_E = \frac{V_E}{m_E} \quad [19]$$

$$B_{TH} = \frac{V_{TH}}{m_T} \quad [20]$$

$$B_{TI} = \frac{V_{TI}}{m_T} \quad [21]$$

Donde:

$B_E$ : valor de la biomasa para usos eléctricos (€/t)

$B_{TH}$ : valor de la biomasa para usos térmicos doméstico (€/t)

$B_{TI}$ : valor de la biomasa para usos térmicos industrial (€/t)

$m_E$ : cantidad de biomasa útil para uso eléctrico (t/año)

$m_T$ : cantidad de biomasa útil para uso térmico (t/año)

Por último, a partir del valor obtenido para la biomasa en los distintos usos se establece cuál de los mismos posibilita una mayor cadena de valor. Se considera que, a mayor valor de la biomasa, mayor es la cadena de valor. Se entiende por cadena de valor las distintas operaciones a las que la biomasa se somete: recogida, acondicionamiento, almacenamiento y conversión energética.



### 3.3. Datos

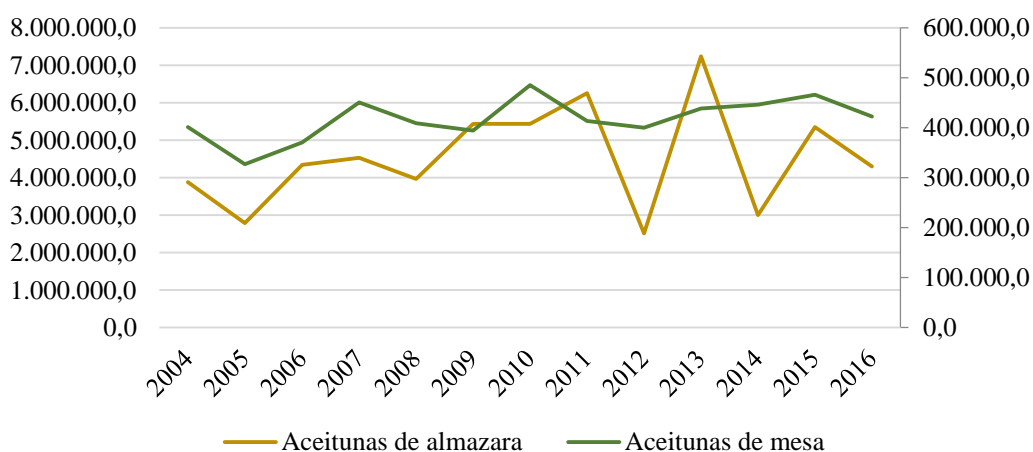
Los datos utilizados en este estudio están relacionados directamente con las tres partes metodológicas explicadas en el epígrafe 3.2. El marco de referencia es la región de Andalucía, situada en el sur de España. El periodo de estudio, en función de los datos disponibles, abarca el periodo 2004-2016.

#### 3.3.1. Datos para el cálculo de la biomasa procedente de los residuos del sector del olivar

Los datos utilizados para calcular la cantidad de biomasa que puede obtenerse de los residuos del olivar en distintos procesos son los siguientes;

Para calcular la biomasa que se obtiene en el sector agroindustrial del aceite de oliva y la aceituna de mesa, es decir para el cálculo de las ecuaciones [1] a [5], se utilizan los datos referentes a cantidades de aceitunas de almazara y de mesa ofrecidos por la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de Andalucía (2019a). Estos datos se ofrecen anualmente y están expresados en toneladas.

**Figura 3.2.** Producción de aceitunas de almazara y de mesa (Unidad: en toneladas)



Fuente: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Rural de Andalucía (2019a) y elaboración propia.

La Figura 3.2 muestra la producción de aceitunas de almazara (eje izquierdo) y mesa (eje derecho), respectivamente. En él se puede observar como la producción de aceituna de almazara es mucho más elevada que la de la aceituna de mesa. Esto se debe, principalmente, a que existe un mayor número de olivos que se destinan a la producción de aceituna de almazara. Asimismo, existe un número de olivares que son de doble aptitud, cuya aceituna puede ser destinada tanto para aceituna de almazara como de mesa. La superficie del olivar de doble aptitud ha aumentado a lo largo del período, en detrimento de las tierras destinadas al olivar de mesa (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2018). El uso de las aceitunas producidas para aceite o para aderezo depende primordialmente del clima. En los períodos de sequía el desarrollo de la aceituna es menor. En consecuencia, muchos agricultores optan por dejarlas madurar más, llevando a cabo la recogida de aceitunas meses más tarde. Ésta coincide con la recogida de las aceitunas de almazara, que es más tardía. Por otra parte, en la Figura 3.2 se muestra que la producción de aceituna de mesa se mantiene prácticamente constante durante el período 2004-2016. Sin embargo, la producción de aceitunas de almazara disminuye considerablemente en algunos años, en concreto, en 2005, 2012 y 2014. Lo que se debe, entre otros factores, a la sustitución de olivares viejos por nuevas plantaciones, las condiciones climáticas o las incidencias de plagas.

Para calcular las cantidades de podas, es decir, para calcular los resultados de las ecuaciones [6] a [9] que proporcionan las toneladas de ramón y leña que se obtienen para cada año, es necesario calcular previamente la productividad del olivar de mesa y almazara, es decir, de kilogramos de aceituna por olivo. Los datos de kilogramos de aceituna de cada variedad se obtienen de los datos ofrecidos por la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de Andalucía (2019a). Los datos referentes al número de olivos se calculan a partir de las hectáreas cultivadas de ambas variedades y del número de olivos por hectárea. Los datos de hectáreas cultivadas se obtienen de la Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE) del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2018). En la base de datos de ESYRCE se recogen hectáreas de olivar que son aptas para producir aceituna de mesa, aceituna de almazara y aceitunas de doble aptitud. El olivar de doble aptitud es apto tanto para producir aceituna de mesa como

aceituna de almazara. Para clasificarlo en una variedad u otra, seguimos la información del Plan Director del Olivar (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2015), donde se establece que el 90% del olivar se dedica a la obtención de aceite de oliva y el 10% a aceituna de mesa. Asimismo, en cuanto al número de olivos, se conoce a través del Plan Director del olivar (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2015) que las densidades medias de las explotaciones olivícolas andaluzas se sitúan en torno a 132 árboles por hectárea.

De la misma forma, cabe destacar que las publicaciones de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía (2019b) nos permite identificar el número de árboles por hectárea hasta que este índice alcanza 1.000. En este caso, estamos ante el denominado olivar superintensivo en seto. En el año 2018, este tipo de olivar equivalía sólo al 2,5% del total, por lo que en la actualidad el establecimiento del número de árboles totales no es una dificultad para utilizar el conteo como método para establecer el total de olivos existentes. Indudablemente, el avance de estas plantaciones en seto (crecimiento del 115,6% en el período 2015-2018) obligará en un futuro a medio plazo disponer de nuevos sistemas de cuantificación de las plantaciones de olivar, quizás en un futuro a semejanza con otros cultivos agrícolas únicamente se hará referencia a la superficie total existente.

**Tabla 3.1.** Número de olivos de almazara y de mesa

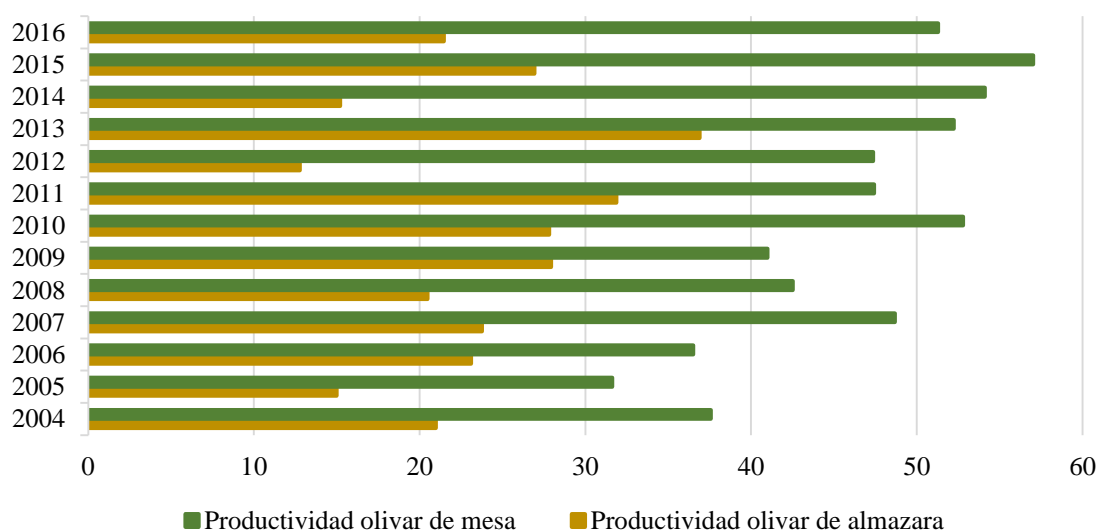
<b>Años</b>	<b>Número de olivos de almazara</b>	<b>Número de olivos de mesa</b>
2004	184.965.000	10.683.156
2005	185.944.176	10.347.216
2006	187.832.964	10.155.288
2007	190.762.308	9.259.800
2008	193.615.488	9.614.352
2009	194.420.556	9.626.760
2010	195.359.366	9.196.150
2011	196.240.004	8.720.620
2012	196.786.669	8.443.103
2013	196.235.371	8.393.405
2014	197.077.558	8.244.614
2015	198.722.819	8.170.549
2016	200.431.387	8.234.477

Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2020a) y elaboración propia.

Actualmente, el olivar andaluz alberga 1,63 millones de hectáreas. El olivar de mesa ocupa el 3,45% de la superficie, mientras que el olivar de doble aptitud y de almazara ocupan el 6,51% y el 90,03%, respectivamente (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2018). Tal y como se puede apreciar en la Tabla 3.1., el número de olivos en la región ha pasado de 195,65 a 208,67 millones, un incremento del 7% a lo largo del período 2004-2016. El número de olivos destinados a producir aceitunas de mesa es de 8,23 millones de olivos, por lo que ha disminuido a lo largo del período un 22,92%. Por el contrario, el número de olivos de almazara ha aumentado en un 8,36%, situándose en 200,43 millones de olivos.

Por otra parte, en la Figura 3.3. se puede apreciar el diferencial existente en términos de productividad. De este modo, el olivar de mesa presenta una productividad mayor que el olivar de almazara, pues dado el menor número de olivos su producción es más elevada. Los años con mayor productividad fueron 2014, 2015 y 2016. Esto se debe en gran parte al aumento del número de olivares en los últimos tres años, que ha sido de un 62,85%.

**Figura 3.3.** Productividad del olivar de almazara y de mesa (Unidad: kg de aceituna/olivo)



Fuente: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Rural de Andalucía (2019a; 2019b) y elaboración propia.

### **3.3.2. Datos para el cálculo de la energía eléctrica y térmica derivada de los residuos del sector del olivar**

Para calcular las ecuaciones [10] y [11], es decir, para calcular las toneladas de subproductos o biomasa que es apta para generación eléctrica y térmica, atendemos a la clasificación propuesta por la Agencia Andaluza de la Energía (2017). Asimismo, como el orujillo es apto para ambos usos, consideramos que un 50% se destina a usos eléctricos y la otra mitad a usos térmicos.

Para calcular las ecuaciones [14] y [15], es decir, para calcular la energía eléctrica y térmica derivada de los residuos del olivar, es necesario calcular inicialmente la potencia eléctrica ( $P_e$ ) y térmica ( $P_t$ ), de acuerdo con las ecuaciones [12] y [13].

Para calcular  $P_e$  se considera que PCI es equivalente a 4.410,67 kcal/kg y que las horas anuales de funcionamiento (h) son 6.500 (Agencia Andaluza de la Energía, 2020a). Asimismo, se considera un rendimiento ( $\mu$ ) del 24%, siendo este el mínimo exigido para plantas superiores a 20 MW según el Real Decreto 413/2014.

Para calcular  $P_t$  se considera que PCI es 4.410,67 kcal/kg, que las horas anuales de funcionamiento (h) son 3.700 (Agencia Andaluza de la Energía, 2020a) y que el rendimiento de conversión térmica ( $\mu_t$ ) es del 80%.

Tanto para calcular  $P_e$  como  $P_t$  el valor de  $m$  se obtiene de los resultados de las ecuaciones [1] a [9].

### **3.3.3. Datos para el cálculo del valor económico de la energía generada para usos térmicos y eléctricos derivados de los residuos del sector del olivar**

Los datos necesarios para el cálculo de las ecuaciones [16] a [18], es decir, para el cálculo del valor económico de la energía generada eléctrica y térmica, son los referentes a energía generada y precio de la energía. Los datos sobre energía generada proceden del resultado de las ecuaciones [14] y [15].

Los datos del precio de la energía térmica proceden de las estadísticas de Eurostat. En particular se han seleccionado los datos de “gas price for household consumers (band 20 GJ-200GJ)” (Eurostat, 2019a) y “gas price for non-household consumers (band 10.000 GJ-100.000GJ)” (Eurostat, 2019b). Los precios no incluyen tasas ni gravámenes. Se han elegido estos datos de energía térmica por ser los únicos oficiales publicados.

El precio de la energía eléctrica con biomasa es equivalente a la suma del precio de retribución específica de la energía eléctrica con biomasa (prima) y el precio de mercado eléctrico español (pool). Los datos de la retribución específica proceden de “Resultado de las liquidaciones anuales de retribución de las instalaciones de producción de energías renovables, cogeneración y residuos” de la Comisión Nacional de la Energía (CNMV, 2019). Los datos del precio de mercado proceden de los publicados por el Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE, 2019).

Finalmente, se utilizan los resultados de las ecuaciones [16] a [18] para el cálculo de las ecuaciones [19] a [21], es decir, para determinar el valor de la biomasa para cada uno de los usos considerados.

Los precios de la energía utilizadas se corresponden con valor corriente de cada uno de los años, que han sido deflactados mediante el IPC a valores constantes de 2016.

El período analizado se corresponderá con los años 2009-2016 debido a la disponibilidad de datos de retribución de la energía eléctrica con biomasa.

### **3.4. Resultados**

Los resultados obtenidos permiten determinar la energía térmica y eléctrica que podría obtenerse con la biomasa del olivar andaluz si se utilizara a pleno rendimiento todos sus subproductos. Asimismo, estos resultados también determinan el valor económico que ambos usos energéticos podrían generar. Los resultados se presentan siguiendo las tres fases que se han realizado para su cálculo.

### 3.4.1. Subproductos generados por el sector del olivar en Andalucía

La Tabla 3.2. muestra la cantidad de subproductos obtenidos de las almazaras, extractoras y entamadoras andaluzas en el periodo 2004-2016, de acuerdo con las ecuaciones [1] a [5]. Cabe resaltar que la almazara es la industria del sector del olivar que más cantidad de subproductos aporta al sector energético. En el período de estudio, esta industria produce una media de 1,62 millones de toneladas anuales ( $O_P+O_{SA}+O_L$ ). Mientras tanto, las extractoras producen una media anual de 0,63 millones de toneladas de orujillo ( $E_P$ ) y las entamadoras producen una media de 0,05 millones de toneladas de huesos de aceituna de mesa ( $O_{SM}$ ).

**Tabla 3.2.** Subproductos obtenidos de las almazaras, extractoras y entamadoras andaluzas (Unidad: en toneladas)

Años	Orujo ( $O_P$ )	Huesos de aceituna de almazara ( $O_{SA}$ )	Orujillo ( $E_P$ )	Hojas de almazara ( $O_L$ )	Huesos de aceituna de mesa ( $O_{SM}$ )
2004	850.033	228.092	535.521	310.514	48.162
2005	610.805	163.899	384.807	223.125	39.270
2006	950.939	255.169	599.092	347.375	44.490
2007	992.502	266.321	625.276	362.558	54.097
2008	868.645	233.087	547.247	317.313	49.052
2009	1.189.977	319.310	749.685	434.695	47.348
2010	1.190.242	319.382	749.852	434.792	58.265
2011	1.370.569	367.769	863.459	500.665	49.630
2012	550.620	147.750	346.890	201.140	48.005
2013	1.585.911	425.553	999.124	579.328	52.631
2014	656.440	176.145	413.557	239.795	53.546
2015	1.171.867	314.451	738.276	428.079	55.914
2016	942.248	252.836	593.616	344.200	50.680
<b>Media del período</b>	<b>994.677</b>	<b>266.905</b>	<b>626.646</b>	<b>363.352</b>	<b>50.084</b>

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, es conveniente resaltar que la cantidad de subproductos ofrecidos anualmente es muy variable. Esa variabilidad depende, entre otros, del clima, la incidencia de plagas (como el barrenillo del olivo) y la evolución de las superficies dedicadas al cultivo del olivar. En cuanto a la evolución de superficies dedicadas al olivar cabe mencionar que estas se han incrementado en un 10% a lo largo del período 2004-2016. Este incremento ha incidido en el número de plantaciones de olivos y, por tanto, en

la producción de aceitunas y podas (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2018). Respecto al clima, cabe destacar que las campañas de recolección de aceitunas con mayor producción coinciden con un clima menos cálido y más lluvioso. Así, a través de los datos ofrecidos por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2019), los años 2010 y 2013 fueron los más favorables en cuanto al clima se refieren. En el año 2010 la temperatura media fue de 14,98°C y la precipitación media en 855 mm, excediendo éste último en más de un 30% al valor medio normal (del período de referencia 1971-2000) (AEMET, 2019). Como consecuencia, la recolección de aceitunas del año 2011 se vio favorecida, llegándose a producir 6,67 millones de toneladas (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, 2019). A su vez, esto benefició a la generación de subproductos, llegándose a producir 3,15 millones de toneladas en ese año. Por su parte, el año 2013 fue un año más húmedo de lo normal. La precipitación media fue de 715 mm, lo que supuso un 10% más del valor medio del período de referencia 1971-2000. Además, la temperatura media fue de 14,97°C (AEMET, 2019). Ese año coincide con el año de mayor producción de aceitunas del período analizado (7,68 millones de toneladas) (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, 2019). La producción de subproductos fue de 3,64 millones de toneladas. Asimismo, el clima también perjudicó la producción en 2012 y el 2014. Estos años se caracterizaron por ser secos y con un índice de humedad bajo y precipitaciones reducidas (AEMET, 2019).

Por su parte, la Tabla 3.3. muestra la cantidad anual de poda de olivar obtenidas a partir de las ecuaciones [6] a [9]. Las columnas segunda y tercera ( $R_M$  y  $R_A$ ) muestran los ramones obtenidos del olivar según su tipología y las cuarta y quinta ( $L_M$  y  $L_A$ ) el valor de las leñas. Hay que destacar que el olivar de mesa es podado cada año, mientras que el olivar de almazara se poda cada dos.



**Tabla 3.3.** Ramones y leñas obtenidos de la poda del olivar (Unidad: en toneladas)

Años	Ramón del olivar de mesa (R <sub>M</sub> )	Ramón del olivar de almazara (R <sub>A</sub> )	Leña del olivar de mesa (L <sub>M</sub> )	Leña del olivar de almazara (L <sub>A</sub> )
2004	202.027	1.909.366	113.892	633.569
2005	168.631	2.012.117	87.570	712.457
2006	187.308	2.402.868	104.282	1.028.416
2007	220.376	2.328.369	136.782	950.614
2008	202.755	2.529.374	120.106	1.110.055
2009	196.536	2.855.021	114.812	1.379.324
2010	235.532	3.038.067	149.860	1.528.481
2011	202.747	2.398.917	124.784	987.273
2012	196.110	2.615.483	120.657	1.169.398
2013	212.941	2.722.551	135.071	1.25.8670
2014	215.950	2.305.696	138.381	901.613
2015	224.471	2.600.091	145.935	1.140.384
2016	205.430	2.600.652	129.588	1.129.560
<b>Media del período</b>	<b>205.447</b>	<b>2.486.044</b>	<b>124.748</b>	<b>1.071.524</b>

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Tabla 3.3., de los subproductos obtenidos de la poda de olivar, el ramón es el que más toneladas genera al año (una media de 2,69 millones de toneladas entre el olivar de mesa y el olivar de almazara). Por lo que respecta a las leñas, estas aportan el 30,8% de los subproductos que genera la poda de olivar. La media de producción del período se sitúa en 1,2 millones de toneladas al año.

Igualmente, la Tabla 3.3. muestra que la producción de leña y ramón es muy variable, dependiendo su valor del clima, las incidencias de plagas y la superficie utilizada para las plantaciones de este cultivo. De este modo, los años con mayor producción de leña y ramón coinciden con los años en los que el clima es menos seco y más húmedo (AEMET, 2019).

### 3.4.2. Potencial energético del olivar andaluz para usos térmicos y eléctricos

Los subproductos de olivar se pueden clasificar para uso eléctrico o térmico de acuerdo con las ecuaciones [10] y [11]. De este modo, en la Tabla 3.4. se muestran las cantidades totales de subproductos obtenidos del sector del olivar a pleno rendimiento

según sus usos. En términos generales, los subproductos que pueden ser destinados para uso eléctrico son más abundantes que los subproductos que se pueden destinar para uso térmico.

**Tabla 3.4.** Cantidad total de subproductos o biomasa del sector del olivar para usos eléctricos y térmicos (Unidad: en toneladas)

Años	Biomasa útil para uso eléctrico (mE)	Biomasa útil para uso térmico (mT)
2004	3.539.701	1.559.235
2005	3.207.082	1.388.003
2006	4.188.037	2.031.448
2007	4.216.443	2.033.091
2008	4.191.711	2.059.546
2009	5.051.071	2.610.479
2010	5.273.559	2.805.841
2011	4.904.628	2.392.916
2012	3.736.797	1.832.700
2013	5.600.293	2.871.049
2014	3.624.659	1.683.243
2015	4.793.646	2.394.960
2016	4.389.338	2.156.280
<b>Media del período</b>	<b>4.362.843</b>	<b>2.139.907</b>

Fuente: *Elaboración propia.*

Por su parte, en la Tabla 3.5. se muestra el potencial energético de la biomasa de olivar en Andalucía en el período 2004-2016. Siguiendo la clasificación de la tabla 3.4., los datos han sido calculados a partir de las ecuaciones [12] a [15]. La potencia eléctrica media potencial con pleno aprovechamiento es de 826,2 MW, pudiendo generar al año 5.370,2 GWh. Asimismo, la potencia térmica media potencial es de 2.372,9 MW, generando al año 8.779,9 GWh. Cabe destacar que los datos ofrecidos fluctúan dependiendo de las producciones anuales de biomasa. De este modo, en 2013 la biomasa de olivar supone un aporte importante para ambos usos, en términos de potencia instalada y de generación de energía. Por el contrario, 2004 es el año con menor potencial energético para ambos usos.

**Tabla 3.5.** Datos potenciales de la biomasa del sector del olivar para usos eléctricos y térmicos

Años	Potencia eléctrica equivalente en MW	Generación eléctrica en GWh	Potencia térmica equivalente en MW	Generación térmica en GWh
2004	670,3	4.357,0	1.729,0	6.397,5
2005	607,3	3.947,5	1.539,2	5.694,9
2006	793,1	5.155,0	2.252,7	8.334,9
2007	798,5	5.190,0	2.254,5	8.341,7
2008	793,8	5.159,5	2.283,8	8.450,2
2009	956,5	6.217,3	2.894,8	10.710,7
2010	998,6	6.491,1	3.111,4	11.512,2
2011	928,8	6.037,0	2.653,5	9.818,0
2012	707,6	4.599,6	2.032,3	7.519,5
2013	1.060,5	6.893,3	3.183,7	11.779,8
2014	686,4	4.461,5	1.866,6	6.906,3
2015	907,8	5.900,4	2.655,8	9.826,4
2016	831,2	5.402,8	2.391,1	8.847,1

Fuente: *Elaboración propia.*

Los resultados potenciales obtenidos pueden compararse con los datos reales observados en la región andaluza. La Tabla 3.6. muestra por un lado, los datos de potencia instalada y energía generada en Andalucía en 2016 procedentes de la biomasa del olivar; y por otro lado, la potencia y energía generada que podría haber tenido Andalucía, por término medio, si se hubiera aprovechado totalmente la biomasa del olivar. Puede observarse que tanto para usos eléctricos como térmicos, el valor potencial es claramente superior al que tuvo lugar en 2016.

**Tabla 3.6.** Datos reales y resultados potenciales de la biomasa de olivar en Andalucía

	DATOS REALES (Año 2016)		RESULTADOS POTENCIALES (Media período 2004-2016)	
	Potencia instalada en MW	Energía generada en GWh	Potencia instalada en MW	Generación de energía en GWh
Usos eléctricos	158,6	1.030,9	826,2	5.370,2
Usos térmicos	1.279,2	4.733,1	2.372,9	8.779,9

Fuente: *Agencia Andaluza de la Energía (2017) y elaboración propia.*

Así, mientras en 2016, la potencia instalada para usos eléctricos fue de 158,6 MW y la energía generada igual a 1.030,9 GWh, los resultados del análisis del potencial elevan estas cifras hasta 826,2 MW y 5.370,2 GWh, respectivamente. Por otra parte, para el caso de la producción de energía térmica, en 2016 la potencia instalada fue de 1.279,2 MW y la energía generada igual a 4.733,1 GWh. El potencial obtenido casi duplica estas cifras, 2.372,9 MW y 8.779,9 GWh, respectivamente. El pleno aprovechamiento de la biomasa de olivar para ambos usos supondría un aumento tanto en términos de potencia instalada como de generación eléctrica. En este sentido, si la biomasa procedente del olivar se utilizara plenamente, la potencia eléctrica sería un 83,9% mayor y la térmica un 64,9%, creciendo la generación de ambos usos en la misma proporción.

Del mismo modo, cabe destacar los resultados obtenidos para cada uno de los usos, pudiéndose apreciar el importante potencial que tienen los usos térmicos frente a los eléctricos, pues acapara el 62% de la generación total entre ambos usos.

Si se utilizara plenamente la biomasa del olivar, la energía eléctrica generada sería 5.370,2 GWh, lo que supondría casi cuatro veces más el total de energía generada a partir de biomasa en Andalucía en 2016 (1.484,8 GWh). Asimismo, supondría el 40,6% del total eléctrico renovable. Del mismo modo, con la plena utilización de la biomasa de olivar, la energía térmica generada sería 8.779,9 GWh, lo que supondría casi un 10% más de la energía generada a partir de biomasa en 2016 (7.975,9 GWh). Esto supondría, el 98,6% del total térmico renovable.

### **3.4.3. El valor económico de la biomasa del sector del olivar para usos térmicos y eléctricos en Andalucía**

La Tabla 3.7. muestra el valor económico de la energía producida a partir de biomasa del olivar para los distintos usos, de acuerdo con las ecuaciones [16] a [18].

En el caso de la energía eléctrica, el valor medio anual de biomasa del olivar en el período 2009-2016 es de 771,4 millones de euros. El mayor valor se obtiene en el año 2013 (974,6 millones de euros). La razón reside en que en este año la generación eléctrica (6.893,39 GWh) fue un 19,9% superior a la media del período 2009-2016 y el precio

unitario de la energía eléctrica generada con biomasa en este año (141,39 €/MWh) fue un 5,5% de la media del período.

En cuanto a los usos térmicos analizados (doméstico e industrial), el valor medio anual de biomasa del olivar en el período 2009-2016 es de 450,0 millones de euros. En el año 2013 también se obtiene el valor máximo. Igualmente, la mayor producción de este año y el mayor precio unitario de la energía térmica (8,8% para uso doméstico y 12,7% para industrial) determinan el mayor valor de la energía térmica en este año.

En relación con los usos térmicos se han diferenciado los usos destinados a la industria y doméstico. Para cada uno de estos usos se ha considerado la misma cantidad de biomasa, por lo que los resultados obtenidos para cada uso no son sumables. Se observa como el uso doméstico tendría un impacto medio en el período de 574,9 millones de euros y el industrial 325,1 millones de euros. Respecto a la generación eléctrica el impacto sería de 771,4 millones de euros (0,5% del PIB de Andalucía), influyendo directamente sobre el sector agrícola andaluz. El Valor Añadido Bruto (VAB) del sector primario en Andalucía en 2016 fue de 9.448,4 millones de euros (IECA, 2016), representando el 6,0% del total regional.

A partir de los valores medios obtenidos para el período 2009-2016, se observa como el aprovechamiento eléctrico y térmico para uso doméstico de la biomasa del olivar tendría un impacto sobre la economía andaluza de 1.346,3 millones de euros. Esto equivale al 0,9% del PIB de Andalucía en el año 2016. Por otro lado, el aprovechamiento eléctrico y térmico para uso industrial provocaría un impacto de 1.096,5 millones de euros (0,7% del PIB de Andalucía en el año 2016).

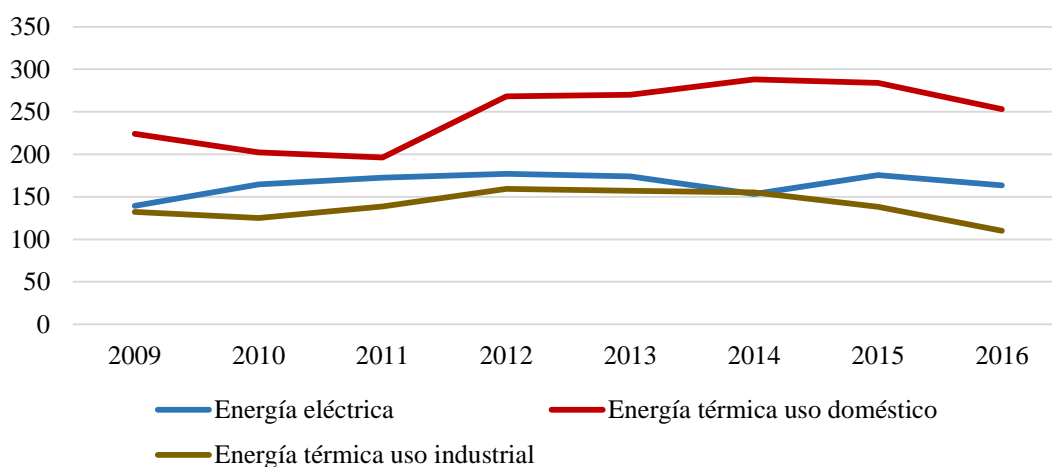
**Tabla 3.7.** Valor económico de la energía producida a partir de la biomasa del sector del olivar para los distintos usos (Unidad: euros)

Años	Energía eléctrica	Energía térmica uso doméstico	Energía térmica uso industrial
2009	705.216.324	585.254.561	345.590.156
2010	868.395.355	566.984.894	350.814.183
2011	845.894.155	469.190.916	331.829.102
2012	662.220.837	491.155.990	291.935.151
2013	974.622.802	775.542.362	451.202.886
2014	555.155.311	484.788.029	261.367.064
2015	842.304.084	680.181.443	331.008.180
2016	717.186.922	546.057.342	237.027.348
<b>Media del período</b>	<b>771.374.474</b>	<b>574.894.442</b>	<b>325.096.759</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

La Figura 3.4. muestra el valor de la biomasa para los tres usos especificados. Estos se obtienen a partir de las ecuaciones [19] a [21]. A lo largo de todo el período, el valor de la energía térmica para uso doméstico es superior al de los demás usos. Así, mientras el valor medio de este uso en el período considerado es de 248,20 €/t, el valor medio de la electricidad es de 165,04 €/t y el del térmico uso industrial de 139,50 €/t. Se puede observar en la Figura 3.4 que la evolución del valor de la biomasa para uso térmico industrial y eléctrico es bastante similar en el período. Si bien a partir de 2014 se observa una reducción del valor para uso industrial. En el caso de los usos térmicos doméstico el valor se incrementa un 19,5% en 2012 respecto a 2011, a partir de este año el valor resultante oscila entre 288 €/t (año 2014) y 248,2 €/t (año 2016).

**Figura 3.4.** Valor de la biomasa para los distintos usos (Unidad: €/t)



Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. Discusión

Los resultados potenciales obtenidos reflejan el elevado potencial que tiene Andalucía en biomasa de olivar. Estos resultados no distan mucho del potencial cuantificado por diversos autores en los últimos años. Un ejemplo relevante es el de García-Maraver et al (2012). Los autores cuantifican en su estudio un potencial de 4,2 millones de toneladas al año de podas de olivar (ramones y hojas) en la región de Andalucía (España). Mientras que en el presente trabajo, la media de las podas de olivar en el período analizado se sitúan en torno a los 3,9 millones de toneladas al año (ramones y leñas) en esta misma región. Del mismo modo, el potencial de la biomasa de olivar ha sido objeto de estudio en muchos países, principalmente en los situados en la cuenca mediterránea, donde este cultivo tiene una especial relevancia. Así, cabe destacar los estudios realizados para la región de Calabria en el sur de Italia o las regiones de Creta o Tesalia en Grecia. El potencial cuantificado para la región de Calabria (Italia) se sitúa en 820.000 toneladas de subproductos de olivar al año (Algieri et al., 2019). Por su parte, en las regiones de Creta y Tesalia (Grecia) este se sitúa en torno a los 2 millones de toneladas de subproductos de olivar al año (Alatzas et al., 2019). De esta forma, es importante

resaltar el elevado potencial que tiene Andalucía (España) con respecto a otras regiones europeas a la hora de producir subproductos de olivar.

No obstante, a pesar de la importancia que tienen los residuos del sector del olivar para la generación de energía, su uso es reducido. Así, si se comparan los datos reales con los resultados potenciales se puede reflejar el elevado desaprovechamiento que existe de los subproductos del sector del olivar en Andalucía para usos térmicos y eléctricos en el período 2004-2016. Del olivar y su sector agroindustrial suelen aprovecharse alrededor de 2 millones de toneladas al año para fines energéticos. Sin embargo, este cultivo y su industria generan de media 6,5 millones de residuos al año. De este modo, se estaría desaprovechando para fines energéticos un 69,23% de los residuos producidos. Entre las principales causas que provocan tal desaprovechamiento destacan los elevados costes de la mano de obra y el transporte, la desfavorable legislación vigente en el marco nacional desde 2012 y los escasos incentivos económicos existentes para su impulso (Sevilla Jiménez et al., 2013).

Las metodologías utilizadas para obtener los resultados del potencial de la biomasa en Andalucía corresponden a la Agencia Andaluza de la Energía (2017) y a Civantos López-Villalta (1981). Estas se ajustan mejor al análisis desarrollado en este trabajo. En el caso del primero, esta institución se basa en una metodología reciente que permite obtener los diferentes subproductos del sector agroindustrial del olivar. Esta metodología se basa en obtener datos de producción de biomasa a través de experiencias de campo y procesarlos a través de un sistema de información geográfico (SIG). Además, se utilizan metodologías similares para obtener estos mismos resultados, y un ejemplo de ello es el trabajo de García-Martín et al. (2020). Por otra parte, la metodología propuesta por Civantos López-Villalta (1981) permite obtener las cantidades de ramones y leñas, y luego clasificarlas, según usos térmicos o eléctricos. La metodología se elaboró teniendo en cuenta las características del terreno, de la plantación o la frecuencia de la poda del olivar en esta región. Aunque las características de este cultivo han ido evolucionando a lo largo de los años, hasta ser catalogado como olivar intensivo, superintensivo o tradicional, se ha seguido utilizando la metodología de Civantos López-Villalta (1981) para cuantificar la biomasa de las podas de olivar. El establecimiento de una fórmula



matemática que cuantifique la biomasa del olivar superintensivo en seto requiere de la realización de experiencias reales que permitan determinar la ecuación. La escasa superficie existente en la actualidad de este tipo de cultivo (2,5% del total), la necesidad de desarrollar plantaciones óptimas, mecanizar el conjunto de operaciones agronómicas incluida la poda, centra el trabajo de técnicos y científicos en olivicultura. No obstante, existen algunos trabajos experimentales que muestran una producción de biomasa del orden de dos o tres veces la obtenida en el olivar tradicional e intensivo (Parras, 2020).

Como resultado de este trabajo, cabe destacar la pérdida de oportunidades, en términos energéticos, provocada por el escaso uso de esta materia orgánica. En el caso del presente estudio, la biomasa del sector del olivar para usos eléctricos representaba en 2016 el 10,7% de la generación total de la biomasa y el 1,2% de la generación eléctrica renovable. Y para usos térmicos, el 16% de la generación total de la biomasa y el 14,4% de la generación térmica renovable. De este modo, si hubiese pleno aprovechamiento de los subproductos la biomasa de olivar supondría el 55,6% del total de generación eléctrica con biomasa y el 29,8% del total térmico generado con biomasa. Asimismo, representaría el 6,2% de la generación eléctrica renovable y el 26,7% de la generación térmica renovable. Es decir, el pleno aprovechamiento de los subproductos del olivar supondría una importante alternativa a la hora de cumplir los objetivos marcados por la UE en materia energética y medioambiental, así como con los objetivos marcados por el gobierno nacional y regional en esta misma vertiente. De igual modo, constituiría una oportunidad para poner en marcha el modelo económico basado en la economía circular y la bioeconomía (Bünger, 2010). De este modo, se podría cerrar el ciclo de producción de estos sectores con el aprovechamiento de estos subproductos. Esto se traduciría en un mayor beneficio económico y social.

Por su parte, un mayor aprovechamiento de estos subproductos supondría un aumento del número de plantas de generación eléctrica y de instalaciones térmicas. En 2016 existían 17 plantas de generación eléctrica con biomasa, de las cuales 13 utilizaban subproductos del olivar (Agencia Andaluza de la Energía, 2017). La potencia instalada en estas 13 plantas era de 158,6 MW. De este modo, si se utilizasen a pleno rendimiento todos los residuos del olivar la potencia instalada sería 826,2 MW, lo que daría lugar a la

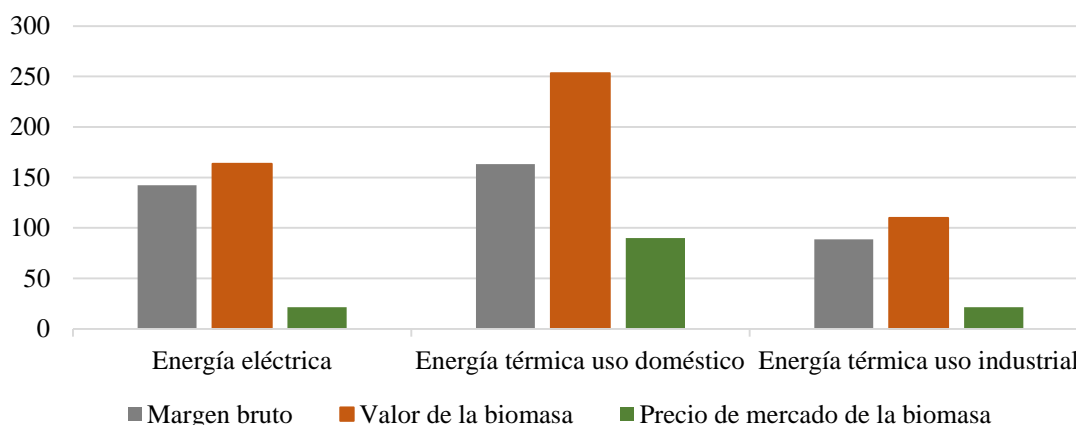
apertura de 55 plantas más con una potencia media similar a la actual (12,2 MW/planta). Igualmente, en ese mismo año existían 20.190 instalaciones térmicas que utilizaban biomasa de olivar (Agencia Andaluza de la Energía, 2017) con una potencia instalada de 1.279,2 MW. En este sentido, el pleno aprovechamiento incrementaría estas instalaciones en 17.262 más, con una potencia media similar a la actual (0,06 MW/instalación). La puesta en marcha de esta nueva potencia requeriría una inversión aproximada de 2.293 millones de euros en el caso de la electricidad y 414 millones de euros en el caso de la biomasa para uso térmico.

Hasta la fecha, los estudios destinados a cuantificar el potencial de la biomasa del sector del olivar se han limitado a destacar las cantidades desaprovechadas de esta materia orgánica. Estos también destacan las pérdidas que se provocan en términos energéticos, ambientales y sociales. Sin embargo, este trabajo va un paso más allá, ya que además de evaluar el potencial de la biomasa del sector del olivar y las pérdidas en términos energéticos, este trabajo destaca el valor económico de la biomasa del sector del olivar en la región de Andalucía, haciendo una diferenciación entre usos eléctricos y térmicos (para uso industrial y doméstico). Por lo tanto, este novedoso análisis nos permite valorar económicamente qué usos tienen un mayor valor y qué cantidades se estarían desaprovechando en términos económicos.

El aprovechamiento energético de la biomasa comprende una extensa cadena de valor de este combustible. Esta abarca desde la obtención de la biomasa hasta el funcionamiento de las instalaciones de generación energética. Estas operaciones son: labores de obtención en campo y/o en la industria, acondicionamiento (empacado, astillado, peletizado, etc.) transporte, amortización de la inversión de la instalación y su mantenimiento. En el caso particular del acondicionamiento de la biomasa este puede ser muy diferente para usos térmicos domésticos que para industrial o electricidad. Los usos domésticos requieren biomasa de unas características más homogéneas, como es el caso de los pellets, hueso de alta calidad o astillas de reducida granulometría y baja humedad. El resto de usos permite un mayor grado de características de las biomasa, fundamentalmente resumidas en un mayor rango de granulometría y humedad.

El coste total de la cadena de valor para cada tipo de aprovechamiento analizado debe ser inferior al valor de la biomasa que se ha calculado para que su utilización sea rentable. Tal y como se puede apreciar en la figura 3.5, existe un margen bruto (diferencia entre el valor de la biomasa y el precio de mercado de esta) para cada uno de los usos energéticos estudiados. En el caso de la biomasa para generación térmica uso doméstico su valor económico en 2016 fue de 253,20 €/t, siendo superior a los precios de la biomasa publicados en España (IDAE, 2018b). Para estos usos el precio de mercado de la biomasa osciló en ese año entre 183,60 €/t (pellet) y 90,00 €/t (astilla y hueso). Por lo tanto, sería viable este tipo de aprovechamiento energético, especialmente en el caso de la astilla y el hueso, ya que el valor calculado tiene un margen sobre el precio de mercado de la biomasa de 163,20 €/t.

**Figura 3.5.** Margen del valor económico de la biomasa sobre su precio de mercado (Unidad: €/t)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos IDAE (2019).

En cuanto a los usos térmicos industrial y electricidad, el valor obtenido para la biomasa en el año 2016 fue de 109,9 €/t y 163,4 €/t, respectivamente. Los precios de la biomasa en este año para estos usos fueron de 84,3 €/t hueso a granel, 46,0 €/t astilla bruta y 21,3 €/t orujillo. Igualmente, considerando la diferencia que existe entre el valor obtenido y el precio en el mercado, se considera factible que la biomasa del olivar pudiese ser utilizada en un mayor grado que en la actualidad.

## Capítulo 4. Conclusiones.

### 4.1. Conclusiones generales

En Andalucía el olivar presenta una gran extensión de superficie cultivada (1,66 millones de hectáreas), que equivale al 60% de la superficie ocupada por este cultivo en España y al 30% de la UE. Esta característica conlleva a que España y, especialmente Andalucía, posea un elevado potencial de biomasa de olivar para usos energéticos. De esta forma, un mayor aprovechamiento de la biomasa de olivar para usos térmicos y eléctricos supondría una oportunidad para la transición energética y para instaurar con mayor rigor un modelo basado en la bioeconomía y la economía circular. Adicionalmente, un mayor uso de la biomasa de olivar contribuiría a combatir el cambio climático, mejoraría la calidad medioambiental y tendería a reducir el consumo de combustibles fósiles. En definitiva, un mayor aprovechamiento de esta materia orgánica favorecería la posibilidad de que España y Andalucía pudieran cumplir con los objetivos marcados en los planes energéticos.

Las principales conclusiones de esta tesis doctoral pueden ser agrupadas en dos apartados, siguiendo la estructura de la misma:

En el capítulo 2, basado en el artículo de investigación, **Measures to Promote Olive Grove Biomass in Spain and Andalusia: An Opportunity for Economic Recovery against COVID-19**, se analiza la evolución y situación actual de la normativa que regula la biomasa de olivar como fuente de energía en Europa, España y Andalucía. Asimismo, se analiza su efecto sobre la evolución en el uso de la biomasa en la región andaluza, especialmente la de olivar. De este análisis, se concluye que la normativa energética vigente a nivel nacional representa una gran barrera para el avance y desarrollo del consumo de biomasa, en particular de la procedente del olivar y su industria.

A lo largo de los años, la aprobación y puesta en marcha de diferentes leyes, planes e incentivos, tanto a nivel nacional como regional, no han resultado ser suficiente para el desarrollo de la biomasa del olivar. Así, en Andalucía, si bien la biomasa del olivar

experimenta un incremento para los usos eléctricos y térmicos desde 2005, hasta alcanzar los objetivos del PASENER 2007-2013, esta situación se ve obstaculizada por la entrada en vigor de diferentes normativas, aprobadas a partir de 2012. En este sentido, el Real Decreto-ley 1/2012 y el Real Decreto-ley 2/2013 suponen un retroceso para el desarrollo de la biomasa del olivar. A partir de este momento, se elimina el sistema de primas, que suponía una ventaja para estas fuentes de energía.

Asimismo, este sector tiene otras barreras (como las del transporte y la mano de obra, en el caso de las podas de olivar) que todavía no han sido corregidas. Los incentivos aún siguen siendo escasos y a los agricultores no les resulta rentable su recogida para su posterior aprovechamiento. Esto se debe a la escasa retribución, que ni siquiera llega a cubrir los costes de recolección. A todo esto, se le suma la falta de información sobre las posibilidades de aprovechamiento de esta materia orgánica.

En cuanto a la promoción de la biomasa eléctrica se observa como la normativa no ha podido corregir la diferencia existente entre esta fuente de energía y el resto de las energías renovables. La necesidad de adquirir el combustible (biomasa de olivar) requiere disponer de suficiente retribución para rentabilizar las fuertes inversiones a realizar, lo que le hace ser menos competitiva que la eólica o la fotovoltaica. Como consecuencia, la biomasa para usos eléctricos sólo ha conseguido situarse en 677 MW de potencia instalada en España. Un desarrollo bastante escaso si tenemos en cuenta las expectativas que se han ido estableciendo en cada uno de los planes energéticos para esta fuente energética.

Para corregir esta situación, en el ámbito nacional cabría la necesidad de realizar subastas eléctricas específicas de plantas de generación eléctrica con biomasa con una retribución adecuada para asegurar la rentabilidad de los proyectos. En cuanto al ámbito de Andalucía, para potenciar la biomasa de olivar sería necesario establecer medidas específicas dirigidas a este sector, al objeto de promocionar entre los agricultores prácticas ambientales que posibiliten la obtención de la biomasa. Entre estas medidas estarían las destinadas a la formación y asesoramiento de los agricultores, a las subvenciones a la inversión en maquinaria y la promoción de empresas de servicios agrícolas especializadas en la obtención de biomasa de olivar.

Sin embargo, en cuanto a la biomasa para usos térmicos, sí parece que regulaciones como la inclusión de energías renovables en los edificios (obligatorio en el Código Técnico de la Edificación), o los programas de subvenciones nacionales y regionales destinados a esta tecnología han propiciado su desarrollo, convirtiéndola en una de las más utilizadas en el sector residencial. De cualquier modo, la puesta en marcha de las medidas regionales antes mencionadas potenciaría aún más su uso.

Aunque Europa ha intentado favorecer el sector de la biomasa, especialmente desde 2005, España no ha superado las barreras que presenta este sector. Así, España, y especialmente Andalucía, estarían desaprovechando una oportunidad desde el punto de vista energético y económico.

En el capítulo 3, basado en el artículo de investigación, **The economic value of olive sector biomass for thermal and electrical uses in Andalusia (Spain)**, se determina la cantidad máxima de energía eléctrica y térmica que puede obtenerse en Andalucía a partir de los residuos del olivar y el valor económico que podría generarse a partir de estos usos energéticos. De este estudio, se concluye que los subproductos del olivar y su sector agroindustrial pueden contribuir al crecimiento de productos energéticos alternativos a los fósiles, especialmente en los países mediterráneos, entre los que se encuentra España y, por lo tanto, la región de Andalucía. De esta forma, el uso de estos subproductos con fines energéticos se considera como un elemento esencial para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y combatir el cambio climático. Asimismo, un mayor aprovechamiento de estos subproductos permitiría implantar con mayor intensidad el modelo económico de bioeconomía y economía circular propuesto por la UE.

Los resultados muestran que existe un elevado desaprovechamiento de los residuos del olivar para fines energéticos. En concreto, al comparar los datos potenciales con los reales, referentes al año 2016, puede contabilizarse un desaprovechamiento del 69,23% de los subproductos generados. Este desaprovechamiento se traduce en una generación de energía eléctrica y térmica inferior de la que sería posible si se utilizaran todos los residuos. Si la biomasa procedente del olivar se utilizara plenamente, la generación de energía eléctrica sería un 83,9% mayor y la térmica un 64,9%. En definitiva, el pleno aprovechamiento energético de estos residuos representaría el 55,6%

del total de generación eléctrica con biomasa y el 29,8% del total térmico generado con biomasa. Asimismo, supondría el 6,2% de la generación eléctrica renovable y el 26,7% de la generación térmica renovable. Por tanto, contribuiría a alcanzar los objetivos nacionales y regionales de uso de energías renovables.

Los resultados obtenidos también muestran que el valor económico de la biomasa de olivar es suficiente para cubrir la cadena de valor que representa el aprovechamiento energético de la biomasa. La cadena de valor abarca desde la obtención de la biomasa hasta el funcionamiento de las instalaciones de generación energética. El uso energético con mayor valor corresponde al térmico para uso doméstico (253,20 €/t), seguido del eléctrico (163,4 €/t) y del térmico para uso industrial (109,9 €/t). Así, cabe destacar que sería especialmente interesante un mayor aprovechamiento de la biomasa del sector del olivar para generación de energía térmica en la industria y generación de energía eléctrica, que son las que menor valor representan. La industria en este recurso energético podría encontrar un excelente aliado para reducir sus emisiones de gases efecto invernadero y ser así más independiente del comercio de derechos de emisión. En cuanto a la explotación de la totalidad del potencial de la biomasa de olivar para usos eléctricos requeriría contar con el sistema de retribución de la energía eléctrica a partir de fuentes renovables existente en España. De este modo, se puede asegurar su viabilidad.

La puesta en valor de toda la biomasa del olivar requeriría de la adopción de medidas de diversa índole. Por una parte, a través de la política agrícola se podrían establecer sistemas de subvenciones y obligaciones normativas. De esta forma, se incentivarían las operaciones agrarias que reduzcan el impacto ambiental del sector. Por otro lado, a través de la política energética se propone dar una mayor promoción a través de distintos programas de incentivos. Así, se podría poner de relieve el protagonismo de la biomasa eléctrica como energía gestionable frente a otras energías renovables (eólica o fotovoltaica), ya que se trata de una fuente energética que no depende directamente de factores variables como el viento o el sol. Dicha característica dota de una mayor seguridad de funcionamiento al sistema eléctrico, sin la necesidad de realizar nuevas inversiones en infraestructura de almacenamiento, caso de la energía eólica o solar fotovoltaica. En el mismo sentido, sería necesario el establecimiento de sistemas de

subastas específicas para esta biomasa al objeto de que se pusieran en marcha nuevas instalaciones de generación. En cuanto a la energía térmica, es imprescindible desarrollar sistemas de climatización en distrito en España y Andalucía, así como grandes instalaciones industriales. Todo ello, aprovechando los fondos europeos existentes (como los fondos FEDER o los NextGenerationEU) y estableciendo una normativa reguladora que promueva el uso de la biomasa frente a los combustibles de origen fósil. Los fondos NextGenerationEU se aprueban a raíz de la crisis económica provocada por el COVID-19 y posee un elevado potencial, ya que permite impulsar programas de incentivos para instalaciones de biomasa, sistema de logística y los Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE), creados por el Gobierno de España para promover la economía. En este sentido la configuración de un proyecto PERTE tractor relacionado con el desarrollo de la tecnología de la biomasa sería deseable, y sobre todo una oportunidad para el sector primario y energético. Por último, a través de la política social y rural, se podría enaltecer la importancia que el aprovechamiento de esta biomasa ofrece para la reducción de la despoblación de las zonas rurales.

Finalmente, de forma paralela a estas medidas de política agrícola, energética y social, sería necesario añadir otras medidas destinadas a solucionar los principales obstáculos a los que se enfrentan este sector. Sería conveniente establecer programas de incentivos orientados a reducir los costes de transporte y recolección de residuos, estableciendo así, una cierta rentabilidad para los emprendedores del sector.

## **4.2. Futuros estudios de investigación**

Tras los distintos análisis realizados en esta tesis doctoral se puede destacar de manera general que un mayor aprovechamiento de los subproductos del olivar y su sector agroindustrial tenderían a mejorar la eficiencia energética y a reducir las emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera. Esto supondría un beneficio para combatir el cambio climático y mejorar la calidad medioambiental. Además, traería consigo un efecto positivo para el desarrollo de la sociedad y la actividad económica en general. De este modo, la presente tesis doctoral sirve de antesala a nuevas investigaciones. Con este



trabajo añadimos a la literatura científica existente nuevos contenidos no analizados con profundidad hasta el momento. Los nuevos resultados que se desprenden de estos análisis pueden servir de gran ayuda para continuar con nuevas líneas de investigación. En este sentido, las nuevas investigaciones podrían ir orientadas a:

- 1) Avanzar en el análisis de la transición energética a nivel regional, potenciando para ello el uso de recursos autóctonos y energías renovables.
- 2) Potenciar el modelo de bioeconomía y economía circular, a través de la fabricación de nuevos vectores energéticos, materias primas para las biorrefinerías y el desarrollo de tecnologías para su aprovechamiento.
- 3) Destacar el impacto que tendría un mayor aprovechamiento de la biomasa de olivar sobre las zonas rurales. Especialmente en los municipios del reto demográfico, al objeto de impactar positivamente en la repoblación de estos, facilitando la reindustrialización de éstas a través de empresas desarrolladoras y fabricantes de maquinaria y equipos, así como la implantación de plantas de generación de energía.
- 4) Estudiar las condiciones retributivas de la energía que deberían existir para posibilitar el crecimiento del uso energético del olivar.
- 5) Determinar nuevos sistemas de financiación encaminados a promover el pleno aprovechamiento de la biomasa de olivar para actuar de manera positiva sobre el PIB y el nivel de empleo.
- 6) Determinar los efectos que supondría el pleno aprovechamiento de la biomasa de olivar en el cambio climático, considerando la expansión actual de este cultivo.

Igualmente, esta tesis doctoral abre el debate hacia nuevos temas de investigación, relacionados con el ámbito energético, económico o medioambiental, y se une a los grupos que apuestan por una recuperación verde ante la crisis económica provocada por el COVID-19.

## Bibliografía.

Agencia Andaluza de la Energía. *Estudio básico sobre el sector de los biocarburantes.*

**2011.** Disponible en:  
[https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/estudio\\_basico\\_sobre\\_el\\_sector\\_de\\_los\\_biocarburantes.pdf](https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/estudio_basico_sobre_el_sector_de_los_biocarburantes.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Agencia Andaluza de la Energía. *Andalucía tiene un potencial de energía por biomasa para abastecer a más de 800.000 personas.* **2014.** Disponible en:  
<https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/en/node/629>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Agencia Andaluza de la Energía. *La biomasa en Andalucía.* **2017.** Disponible en:  
[https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/documentos/la\\_biomasa\\_en\\_andalucia\\_diciembre\\_2017.pdf](https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/documentos/la_biomasa_en_andalucia_diciembre_2017.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Agencia Andaluza de la Energía. *INFO-ENERGÍA.* **2020a** Disponible en:  
<http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/info-web/loginController>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Agencia Andaluza de la Energía. *La Bioenergía en Andalucía.* **2020b.** Disponible en:  
[https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/3\\_2\\_0068\\_20\\_LA\\_BIOENERGIA\\_EN\\_ANDALUCIA.PDF](https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/3_2_0068_20_LA_BIOENERGIA_EN_ANDALUCIA.PDF). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). *Resúmenes climatológicos España.* **2019.** Disponible en:  
[http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia\\_clima/resumenes?w=0&datos=2](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes?w=0&datos=2). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). *La energía en Europa: situación actual.* **2017.** Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2017->

- configuracion-del-futuro/articulos/la-energia-en-europa-situacion-actual. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- André, F.J.; De Castro, L.M.; Cerdá, E. Las energías renovables en el ámbito internacional. *Cuadernos económicos de ICE* **2012**, 83, 11-36.
- Alatzas, S.; Moustakas, K.; Malamis, D.; Vakalis, S. Biomass potential from agricultural waste for energetic utilization in Greece. *Energies* **2019**, 12(6), 1095.
- Algieri, A.; Andiloro, S.; Tamburino, V.; Zema, D.A. The potential of agricultural residues for energy production in Calabria (Southern Italy). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2019**, 104, 1-14.
- Altan, A.; Karasu, S.; Zio, E. A new hybrid model for wind speed forecasting combining long short-term memory neural network, decomposition methods and grey wolf optimizer. *Applied Soft Computing Journal*, **2021**, 100, 106996.
- Ayuntamiento de Sevilla. *Plan de Acción por el Clima y la Energía Sostenible (PACES)*. **2016**. Disponible en: <https://www.sevilla.org/servicios/economia/agencia-energia-sostenibilidad/documentos/paces-2016-aprobado.pdf>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Banco de España. *Evolución económica y financiera de España durante la crisis del COVID-19*. **2021**. Disponible en: <https://www.bde.es/f/webbde/GAP/Secciones/SalaPrensa/IntervencionesPublicas/DirectoresGenerales/economia/arce110221.pdf>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Bénassy-Quéré, A.; Decreux, Y.; Fontagné, L.; Khoudour-Casteras, D. Economic Crisis and Global Supply Chains. *Center D'Études Perspectives et D'Informations Internationales* **2009**.
- Berbel, J.; Posadillo, A. Review and analysis of alternatives for the valorisation of agro-industrial olive oil by-products. *Sustainability*, **2018a**, 10(1), 237.

Berbel, J.; Gutiérrez-Martín, C.; La Cal, J.A. Valorización de los subproductos de la cadena del aceite de oliva. *Mediterráneo económico*, **2018b**, 31, 273-289.

Berbel, J.; Posadillo, A. Opportunities for the bioeconomy of olive oil byproducts. *Biomed J. Sci. Tech. Res.*, **2018c**, 1, 1-3.

Boletín Oficial de las Cortes Generales (BOCG) no. 169, de 13 de septiembre de **1991**, por el que se aprueba el Plan Energético Nacional 1991-2000.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 22, de 25 de enero de **1985**, por el que se aprueba la Ley 2/1985, de 21 de enero, sobre protección civil, 2092-2095.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 313, de 31 de diciembre de **1994a**, por el que se aprueba la Ley 40/1994, de 30 de diciembre, de ordenación del Sistema Eléctrico Nacional, 39362-39386.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 313, de 31 de diciembre de **1994b**, por el que se aprueba el Real Decreto 2366/1994, de 9 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones hidráulicas, de cogeneración y otras abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, 39595-39603.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 285, de 28 de noviembre de **1997**, por el que se aprueba la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, 35097-35126.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 312, de 30 de diciembre de **1998**, por el que se aprueba el Real Decreto 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración, 44077-44089.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 75, de 27 de marzo de **2004**, por el que se aprueba el Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, 13217-13238.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 74, de 28 de marzo de **2006a**, por el que se aprueba el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 150, de 24 de junio de **2006b**, por el que se aprueba el Real Decreto-Ley 7/2006, de 23 de junio, por el que se adoptan medidas urgentes en el sector energético. pp. 23979-23983.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 126, de 26 de mayo de **2007**, por el que se aprueba el Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 312, de 24 de diciembre de **2010**, por el que se aprueba el Real Decreto-Ley 14/2010, de 23 de diciembre, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico, 106386-106394.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 24, de 28 de enero de **2012**, por el que se aprueba el Real Decreto-Ley 1/2012, de 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos, 8068-8072.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 29, de 2 de febrero de **2013a**, por el que se aprueba el Real Decreto-Ley 2/2013, de 1 de febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 167, de 13 de julio de **2013b**, por el que se aprueba el Real Decreto-Ley 9/2013, de 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 310, de 27 de diciembre de **2013c**, por el que se aprueba la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico, 105198-105294.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 140, de 10 de junio de **2014**, por el que se aprueba el Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, 43876-43978.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 243, de 10 de octubre de **2015**, por el que se aprueba el Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo, 94874-94917.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 18, de 21 de enero de **2016**, de Resolución de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se resuelve la subasta para la asignación del régimen retributivo específico a nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de biomasa en el sistema eléctrico peninsular y para instalaciones de tecnología eólica, al amparo de lo dispuesto en el Real Decreto 947/2015, de 16 de octubre, 5615-5618.

Boletín Oficial del Estado (BOE) no. 87, de 12 de abril de **2017**, de Resolución de la Secretaría de Estado de Energía, por la que se establecen el procedimiento y las reglas de la subasta para la asignación del régimen retributivo específico a nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, convocada al amparo de lo dispuesto en el Real Decreto 359/2017, de 31 de marzo, y en la Orden ETU/315/2017, de 6 de abril, 29596-29622.

Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (BOJA) no. 82, de 17 de julio de **1999**, por el que se aprueba la Ley 5/1999, de 29 de junio, de prevención y lucha contra incendios forestales.

Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (BOJA) no. 70, de 10 de abril de **2007**, por el que se aprueba la Ley 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energética de Andalucía.

Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (BOJA) no. 30, de 13 de febrero de **2009**, por el que se aprueba la Orden de 4 de febrero de 2009, por la que se establecen las bases

reguladoras de un programa de incentivos para el desarrollo energético sostenible en Andalucía y se efectúa su convocatoria para los años 2009-2014.

Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (BOJA) no. 112, de 9 de junio de **2011a**, por el que se aprueba el Decreto 169/2011, de 31 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de Fomento de las Energías Renovables, el Ahorro y la Eficiencia Energética en Andalucía.

Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (BOJA) no. 205, de 19 de octubre de **2011b**, por el que se aprueba la Ley 5/2011, de 6 de octubre, del olivar de Andalucía.

Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (BOJA) no. 58, de 26 de marzo de **2014**, por el que se aprueba el Real Decreto-ley 1/2014, de 18 de marzo, por el que se regula el Programa de Impulso a la Construcción Sostenible de Andalucía y se efectúa la convocatoria de incentivos para 2014 y 2015.

Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (BOJA) no. 54, de 19 de marzo de **2015**, por el que se aprueba el Decreto 103/2015, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Plan Director del Olivar.

Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (BOJA) no. 249, de 30 de diciembre de **2016**, por el que se aprueba la Orden de 23 de diciembre de 2016, por la que se aprueban las bases reguladoras para la concesión de incentivos para el desarrollo energético sostenible de Andalucía en el período 2017-2020.

Boletín Oficial de la Junta de Andalucía (BOJA) no. 199, de 15 de octubre de **2018**, por el que se aprueba la Ley 8/2018, de 8 de octubre, de medidas frente al cambio climático y para la transición hacia un nuevo modelo energético en Andalucía.

Bouznit, M.; Pablo-Romero, M.D.P.; Sánchez-Braza, A. Measures to Promote Renewable Energy for Electricity Generation in Algeria. *Sustainability*, **2020**, 12, 1468.

Bünger, M. Biofuels: Putting Pressure on Petrol. *Renewable Energy World*, **2010**, 13.

- Castello, M.C.J.; Bermejo, J.A.R.; Labari, C.B.; Ortíz, M.P.M. Análisis de la normativa española sobre la biomasa como energía primaria: consecuencias de la misma. *DYNA Energía y Sostenibilidad*, **2012**, 2, 2-10.
- Castillo Guerrero, M. La cultura del olivo. Aspectos distintivos en el cultivo del olivar entre la región de Umbría (Italia) y la provincia de Sevilla. *Espacio y Tiempo, Revista de Ciencias Humanas*, **2012**, 26, 75-101.
- Ceylan, R.F.; Ozkan, B.; Mulazimogullari, E. Historical evidence for economic effects of COVID-19. *The European Journal of Health Economics*, **2020**, 21, 817-823.
- Chen, J.; Zhang, B.; Luo, L.; Zhang, F.; Yi, Y.; Shan, Y.; Liu, B.; Zhou, Y.; Wang, X.; Lü, X. A review on recycling techniques for bioethanol production from lignocellulosic biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2021**, 149, 111370.
- Christoforou, E.; Kylili, A.; Fokaides, P.A. Technical and economical evaluation of olive mills solid waste pellets. *Renewable Energy*, **2016**, 96, 33-41.
- Civantos López-Villalta, L. Aprovechamiento de ramones y de leña en el olivar. *Agricultura: Revista agropecuaria*, **1981**, 585, 180-181.
- Comisión Nacional del Mercado de Valores (CNMV). *Resultado de las liquidaciones anuales de retribución de las instalaciones de producción de energías renovables, cogeneración y residuos*. **2020**. Disponible en: <https://www.cnmc.es/expedientes/liqde00220>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. *Potencial energético de los subproductos de la industria olivarera en Andalucía*. **2010**. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Potencial%20energ%C3%A9tico.pdf>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía. *Plan Director del Olivar Andaluz*. **2015**. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturaganaderiapescaydesarrol>



losostenible/consejeria/sobre-consejeria/planes/detalle/59239.html. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía. *Aforo de la producción de olivar en Andalucía – Campaña 2017/2018*. **2017a**. Disponible en:

[http://www.upa.es/upa/\\_depot/\\_documentos/c7bc45332b4137e1508760633.pdf](http://www.upa.es/upa/_depot/_documentos/c7bc45332b4137e1508760633.pdf).

Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía. *Plan Estratégico para la Agroindustria de Andalucía Horizonte 2020*. **2017b**. Disponible en:

[https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Propuesta\\_Plan\\_Agroindustria\\_Andaluza\\_Horizonte\\_2020\\_2017\\_11\\_30.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Propuesta_Plan_Agroindustria_Andaluza_Horizonte_2020_2017_11_30.pdf).

Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía. *Estrategia Andaluza de Bioeconomía Circular*. **2018**. Disponible en:

[https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Estrategia\\_Andaluza\\_Bioeconomia\\_Circular\\_EABC\\_18.09.2018.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Estrategia_Andaluza_Bioeconomia_Circular_EABC_18.09.2018.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía. *Producción agrícola*. **2019a**. Disponible en:

<https://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturaganaderiapescaydesarrollosostenible/areas/agricultura.html>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía. *Análisis de la densidad en plantaciones de olivar en Andalucía*. **2019b**. Disponible en:

[https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/estudios\\_informes/19/11/An%C3%A1lisis%20densidad%20olivar%20andaluz%20v3.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/estudios_informes/19/11/An%C3%A1lisis%20densidad%20olivar%20andaluz%20v3.pdf).

Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Consejería de Empleo y Desarrollo Tecnológico de la Junta de Andalucía. *Plan Energético de Andalucía 2003-2006*. **2003**. Disponible en:

[https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/1129906106388\\_plean2003-20061.pdf](https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/1129906106388_plean2003-20061.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Consejería de Empleo, Empresa y Comercio de la Junta de Andalucía. *Estrategia Energética de Andalucía 2020*. **2013**. Disponible en: <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/EEA/files/assets/basic-html/index.html#1>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía. *Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética 2007-2013*. **2007**. Disponible en: [https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/2\\_pasener\\_2007-2013\\_documento\\_completo.pdf](https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/2_pasener_2007-2013_documento_completo.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía. *Medio Ambiente en Andalucía. Informe 1994*. **1994**. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/ima/1994/ima94\\_ret.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/ima/1994/ima94_ret.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía. *Actuaciones de la Junta de Andalucía en cambio climático/COP21*. **2018**. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.30d4b35a97db5c61716f2b105510e1ca/?vgnextoid=355466afc1141510VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=4c770f000a421510VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextfmt=portalwebSinMenu>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Consejería de la Presidencia, Administración Pública e Interior. *Estrategia Energética de Andalucía 2030*. **2021**. Disponible en: [https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2021-10/202109\\_EEA2030%20propuesta%20inicial.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2021-10/202109_EEA2030%20propuesta%20inicial.pdf). Último acceso el 18 de noviembre de 2021.

D'Adamo, I.; Falcone, P.M.; Gastaldi, M.; Morone, P. A social analysis of the olive oil sector: The role of family business. *Resources* **2019**, 8(3), 151.

- Dermeche, S.; Nadour, M.; Larroche, C.; Moulti-Mati, F.; Michau, P. Olive mill wastes: biochemical characterizations and valorization strategies. *Process Biochem*, **2013**, 48, 1532-1552.
- Di Fraia, S.; Fabozzi, S.; Macaluso, A.; Vanoli, L. Energy potential of residual biomass from agro-industry in a Mediterranean region of southern Italia (Campania). *Journal of Cleaner Production*, **2020**, 277, 124085.
- DOUE-L-283, de 27 de octubre de **2001**, por el que se aprueba la Directiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad.
- DOUE-L-176, de 15 de julio de **2003**, por el que se aprueba la Directiva 2003/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2003, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se deroga la Directiva 96/92/CE – Declaraciones sobre las actividades de desmantelamiento y gestión de residuos.
- DOUE-L-140, de 5 de junio de **2009**, por el que se aprueba la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE, 16-62.
- DOUE-L-328, de 21 de diciembre de **2018**, por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética, 210-230.
- Dounavis, A.S. Techno-economic analysis of the olive oil mills waste valorisation for energy production: A case study of Corfu. *Environmental Research, Engineering and Management*, **2019**, 75(4), 18-29.
- Energiza. *Biomasa en la Unión Europea*. **2012**. Disponible en: [https://www.energiza.org/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=939:biomasa-en-la-uni%C3%B3n-europea](https://www.energiza.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=939:biomasa-en-la-uni%C3%B3n-europea). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Esencia de olivo: cultura del aceite de oliva virgen extra. *Zonas productoras en España*. **2018**. Disponible en: <http://www.esenciadeolivo.es/aceite-de-oliva/aceite-de-oliva-en-espana/zonas-productoras-en-espana/>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Europa Press. *Junta y Gobierno constituyen la Sociedad Andaluza para la Valorización de la biomasa “pionera en Europa”*. **2006**. Disponible en: <http://www.europapress.es/andalucia/innova-00232/noticia-innova-junta-gobierno-constituyen-sociedad-andaluza-valorizacion-biomasa-pionera-europa-20061101160415.html>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

European Commission (EC). *Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan*; Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg, 6 July **1998**; Disponible en: [https://europa.eu/documents/comm/white\\_papers/pdf/com97\\_599\\_en.pdf](https://europa.eu/documents/comm/white_papers/pdf/com97_599_en.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

European Commission (EC). Communication from the Commission, Biomass Action Plan. In [COM (2005) 628 final], Brussels, Belgium, 7 December **2005**. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0628:FIN:EN:PDF>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

European Commission (EC). Green Paper: A European strategy for sustainable, competitive and secure energy. In [COM (2006) 105 final], Brussels, Belgium, 8 March **2006a**. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM%3A127062>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

European Commission (EC). Communication from the Commission to the Council and the European Parliament on an EU Forest Action Plan. In [COM (2006) 302 final], Brussels, Belgium, 15 June **2006b**. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0302:FIN:EN:PDF>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

European Commission (EC). Communication from the Commission to the Council and the European Parliament on Renewable Energy Road Map Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future. **2007**. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52006DC0848>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

European Commission (EC). Communication from the Commission to the Council and the European Parliament on the Biomass Action Plan Progress Report. In [COM (2009) 0192], Brussels, Belgium, 24 April **2009**. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0192:FIN:EN:PDF>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

European Commission (EC). Report from the Commission to the Council and the European Parliament, on Sustainability Requirements for the Use of Solid and Gaseous Biomass Sources in Electricity, Heating and Cooling. In [COM (2010) 0011 final], Brussels, Belgium, 25 February **2010**. Disponible en: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6e598e2a-2655-4ae2-8c20-ef617d5bf3fd/language-en>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

European Commission (EC). Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe; COM (2012) final; European Commission: Brussels, Belgium, **2012**.

European Commission (EC). *Horizon 2020 in brief*. **2014**. Disponible en: [https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/horizon2020/files/H2020\\_in\\_Brief\\_EN\\_FinalBAT.pdf](https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/horizon2020/files/H2020_in_Brief_EN_FinalBAT.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

European Commission (EC). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank on Clean Energy for All Europeans. In [COM (2016) 860 final], Brussels, Belgium, 30 November **2016**. Disponible en: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fa6ea15b-b7b0-11e6-9e3c-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-search>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

European Commission (EC). Press Release Database. *Europe leads the global clean energy transition: Commission welcomes ambitious agreement on further renewable energy development in the EU*. **2018a**. Disponible en: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_STATEMENT-18-4155\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_STATEMENT-18-4155_en.htm). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

European Commission (EC). Trends in the EU Agricultural Land within 2015–2030. **2018b**. Disponible en: <http://www.ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/jrc113717.pdf>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

European Commission (EC). *A new bioeconomy strategy for a sustainable Europe*. **2018c**. Disponible en: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_18\\_6067](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_18_6067). Último acceso 28 de octubre de 2021.

European Commission (EC). Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on The European Green Deal. In [COM (2019) 640 final], Brussels, Belgium, 11 December **2019**. Disponible en: [https://pdc.minambiente.it/sites/default/files/norme/com\\_2019\\_640\\_final.pdf](https://pdc.minambiente.it/sites/default/files/norme/com_2019_640_final.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

European Commission (EC). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on Guidelines for Trans-European Energy Infrastructure and Repealing Regulation (EU) No 347/2013. In [COM (2020) 824 final], Brussels, Belgium, 15 December **2020**. Disponible en: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/cc5ea219-3ec7-11eb-b27b-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-search>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Eurostat. *Data Browser: Simplified Energy Balances*. **2019a**. Disponible en: [https://www.ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_BAL\\_S\\_\\_custom\\_1347272/default/table?lang=en](https://www.ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_BAL_S__custom_1347272/default/table?lang=en). Último acceso 28 de octubre de 2021.

- Eurostat. *Data Browser: Complete Energy Balances*. **2019b**. Disponible en: [https://www.ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_BAL\\_C\\_\\_custom\\_1347456/default/table?lang=en](https://www.ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_BAL_C__custom_1347456/default/table?lang=en). Último acceso 28 de octubre de 2021.
- Eurostat. *Gas price for household consumers*. **2019c**. Disponible en: [https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_pc\\_202&lang=en](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_202&lang=en). Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Eurostat. *Gas price for non-household consumers*. **2019d**. Disponible en: [https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_pc\\_203&lang=en](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_203&lang=en). Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Fundación para la Eficiencia Energética (FEE). *Crece en Andalucía el consumo de biomasa en el sector residencial*. **2016**. Disponible en: <https://www.eseficiencia.es/2016/09/07/crece-en-andalucia-el-consumo-de-biomasa-en-el-sector-residencial>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- García-Maraver, A.; Zamorano, M.; Ramos-Ridao, A.; Díaz L.F. Analysis of olive grove residual biomass potential for electric and thermal energy generation in Andalusia (Spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2012**, 16, 745-751.
- García-Martín, J.F.; Cuevas, M.; Feng, C.H.; Álvarez Mateos, P.; Torres García, M.; Sánchez, S. Energetic valorisation of olive biomass: olive-tree pruning, olive stones and pomaces. *Processes*, **2020**, 8 (5), 511.
- Hamelin, L.; Borzęcka, M.; Kozak, M.; Pudełko, R. A spatial approach to bioeconomy: Quantifying the residual biomass potential in the EU-27. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2019**, 100, 127-142.
- Hermida Balboa, C.; Domínguez Somonte, M. Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3. *Informador técnico*, **2014**, 78, 82-90.
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). *Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010*. **1999**. Disponible en: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_4044\\_PFER2000-10\\_1999\\_1cd4b316.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_4044_PFER2000-10_1999_1cd4b316.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). *Plan de Energías Renovables 2005-2010*. **2005**. Disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_PER\\_2005-2010\\_8\\_de\\_gosto-2005\\_Completo.\(modificacionpag\\_63\)\\_Copia\\_2\\_301254a0.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_PER_2005-2010_8_de_gosto-2005_Completo.(modificacionpag_63)_Copia_2_301254a0.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). *Evaluación del potencial de energía de la biomasa – Estudio técnico PER 2011-2020*. **2011a**. Disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e14\\_biomasa\\_A\\_8d51bf1c.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e14_biomasa_A_8d51bf1c.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). *Plan de Energías Renovables 2011-2020*. **2011b**. Disponible en: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_PER\\_2011-2020\\_def\\_93c624ab.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_PER_2011-2020_def_93c624ab.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Informe de precios de la biomasa*. **2019**. Disponible en: [https://www.idae.es/sites/default/files/estudios\\_informes\\_y\\_estadisticas/informe\\_precios\\_biomasa\\_usos\\_termicos\\_4t\\_2019\\_corregido\\_af.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/estudios_informes_y_estadisticas/informe_precios_biomasa_usos_termicos_4t_2019_corregido_af.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). *Informe estadístico energías renovables*. **2020**. Disponible en: <http://informeestadistico.idae.es/t10.htm>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA). *Contabilidad regional anual de Andalucía*. **2016**. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/craa/index.htm>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.



- International Monetary Fund (IMF). *World Economic Outlook Update*. **2021**. Disponible en: <http://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/01/26/2021-world-economic-outlook-update>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). *Transformación Energética Mundial. Hoja de ruta hasta 2050*. **2018**. Disponible en: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA\\_Global\\_Energy\\_Transformation\\_2018\\_summary\\_ES.pdf?la=en&hash=A5492C2AAC7D8E7A7CBF71A460649A8DEDB48A82](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Global_Energy_Transformation_2018_summary_ES.pdf?la=en&hash=A5492C2AAC7D8E7A7CBF71A460649A8DEDB48A82). Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Jiang, P.; Van Fan, Y.; Klemeš, J.J. Impacts of COVID-19 on energy demand and consumption: Challenges, lessons and emerging opportunities. *Applied Energy*, **2021**, 285, 116441.
- Karasu, S.; Altan, A., Bekiros, S.; Ahmad, W. A new forecasting with wrapper-based feature selection approach using multi-objective optimization technique for chaotic crude oil time series. *Energy*, **2020**, 212, 118750.
- Langeveld, J.W.; Sanders, J.P.M. The Biobased Economy: Biofuels, Materials and Chemicals in the Post-oil Era. *Earthscan: London, UK*; **2010**.
- Manzanares-Secades, P.; Ruíz-Ramos, E.; Ballesteros-Perdices, M.; Negro, M.J.; Gallego, F.J.; López-Linares, J.C.; Castro-Galiano, E. Residual biomass potential in olive tree cultivation and olive oil industry in Spain: valorization proposal in a biorefinery context. *Spanish journal of agricultural research*, **2017**, 15(3), 6.
- Marquina, J.; Colinet, M.J.; Pablo-Romero, M.D.P. Measures to Promote Olive Grove Biomass in Spain and Andalusia: An Opportunity for Economic Recovery against COVID-19. *Sustainability*, **2021a**, 13(20), 11318.
- Marquina, J.; Colinet, M.J.; Pablo-Romero, M.D.P. The economic value of olive sector biomass for thermal and electrical uses in Andalusia (Spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2021b**, 148, 111278.
- Martínez-Romero, A.; Leyva-Galán, A. La biomasa de los cultivos en el ecosistema. Sus beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales*, **2014**, 35(1).

- McCormick, K.; Kautto, N. The Bioeconomy in Europe: An Overview. *Sustainability*, **2013**, 5, 2589-2608.
- Medina, A.; Hernández, J.C. La biomasa procedente de las podas de olivar en Mágina. *Suma*, **2006**, 23, 89-108.
- Menéndez, J.A.; Fernández-Tresguerres, L.G.; Villanueva, S.F.; Durán, M.; Montes Morán, M.A.; Arenillas de la Puente, A. Report on the availability of Biomass Sources in Spain: vineyards and olive groves. *Digital.CSIC*, **2018**.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Superficie y producción*. **2016**. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/aceite.aspx>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE)*. **2020a**. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Aceite de Oliva y Aceituna de Mesa. **2020b**. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Ministerio de Economía y Competitividad. *Estrategia Española de Bioeconomía. Horizonte 2030*. **2015**. Disponible en: [https://www.mapa.gob.es/ca/desarrollo-rural/temas/innovacion-medio-rural/estrategiaenbioeconomia23\\_12\\_15\\_tcm34-560119.pdf](https://www.mapa.gob.es/ca/desarrollo-rural/temas/innovacion-medio-rural/estrategiaenbioeconomia23_12_15_tcm34-560119.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. *La Comisión de Expertos sobre transición energética entrega a Nadal su informe final – Nota de prensa*. **2018**. Disponible en: <http://www.mincotur.gob.es/es-es/gabineteprensa/notasprensa/2018/documents/180402%20np%20informe%20comisión%20expertos.pdf>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. *Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España – PANER 2011-2020*. **2010**. Disponible en: [https://energia.gob.es/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/20100630\\_PANER\\_Espanaversion\\_final.pdf](https://energia.gob.es/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/20100630_PANER_Espanaversion_final.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Montanaro, G.; Nuzzo, V.; Xiloyannis, C.; Dichio, B. Climate change mitigation and adaptation in agricultura: the case of the olive. *Journal of Water and Climate Change*, **2018**, 9(4), 633-642.
- Narbona Ruíz, C. La Recuperación Verde. Urgente y oportuna. *Temas para el debate* **2020**, 307-308, 34-37.
- Observatorio Económico de Andalucía. *Economía Andaluza. Cuatro trimestre de 2020*. **2021**. Disponible en: <https://www.oeandalucia.com/wp-content/uploads/informeivq2020.pdf>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Office for Official Publications of the European Communities (OOPEC). *Treaty of Amsterdam Amending the Treaty on European Union, the Treaties Establishing the European Communities and Certain Related Acts*. **1997a**. Disponible en: <http://www.europarl.europa.eu/topics/treaty/pdf/amst-es.pdf>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Office for Official Publications of the European Communities (OOPEC). *Agenda 2000: For a Stronger and Wider Union*. **1997b**. Disponible en: <http://aei.pitt.edu/3137/1/3137.pdf>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE). *Resultados de Mercado*. **2019**. Disponible en: <http://www.omie.es/files/flash/ResultadosMercado.html>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Pablo-Romero, M.P.; Sánchez-Braza, A.; Pérez, M. Incentives to promote solar thermal energy in Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2013**, 22, 198-208.
- Parras, J. Manejo de la poda de producción en plantaciones de olivar en seto. *Revista Olint*, **2020**.

- Publications Office of the European Union. *The EU's 2021-2027 long-term Budget and NextGenerationEU. Facts and Figures*. **2021**. Disponible en: <file:///C:/Users/Puesto2/Downloads/KV0221232ENN.en.pdf>. Último acceso el 15 de noviembre de 2021.
- Revista Interempresas. *El olivar en el mundo: más de 1.500 millones de olivos que abastecen de aceite a 174 países*. **2017**. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Produccion-Aceite/Articulos/184882-olivar-en-mundo-mas-de-1500-millones-de-olivos-que-abastecen-de-aceite-a-174-paises.html>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Revista Interempresas. *Un estudio de Pieralisi cifra en 14.000 las almazaras en todo el mundo*. **2019**. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Produccion-Aceite/Articulos/239960-Un-estudio-de-Pieralisi-cifra-en-14000-las-almazaras-en-todo-el-mundo.html>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- Revista Mercacei. *¿Dónde se ubican las 10 fincas de olivar más grandes del planeta?* **2018**. Disponible en: <https://www.mercacei.com/noticia/48851/actualidad/donde-se-ubican-las-10-fincas-de-olivar-mas-grandes-del-planeta.html>. Último acceso 28 de octubre de 2021.
- Rodríguez, G.; Lama, A.; Rodríguez, R.; Jiménez, A.; Guillén, R.; Fernández-Bolaños, J. Olive stones an attractive source of bioactive and valuable compounds. *Bioresource Technology*, **2008**, 99, 5261-5269.
- Romero-Gámez, M.; Castro-Rodríguez, J.; Suárez-Rey, E.M. Optimization of olive growing practices in Spain from a life cycle assessment perspective. *Journal of Cleaner Production*, **2017**, 149, 25-37.
- Romero-García, J.M.; Niño, L.; Martínez-Patiño, C.; Álvarez, C.; Castro, E.; Negro, M.J. Biorefinery based on olive biomass. State of the art and future trends. *Bioresource Technology*, **2014**, 159, 421-432.
- Romero-García, J.M.; Sánchez, A.; Rendón-Acosta, G.; Martínez-Patiño, J.C.; Ruiz, E.; Magaña, G.; Castro, E. An olive tree pruning biorefinery for co-producing high

- value-added bioproducts and biofuels: economic and energy efficiency analysis. *BioEnergy Research*, **2016**, 9(4), 1086-1070.
- Rosúa J.M.; Pasadas, M. Biomass potential in Andalusia, from grapevines, olives, fruit trees and polar, for providing heating in homes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2012**, 16, 4190-4195.
- Ruíz, E.; Romero-García, J.M.; Romero, I.; Manzanares, P.; Negro, M.J.; Castro, E. Olive-derived biomass as a source of energy and chemicals. *Bioproducts and Biorefining*, **2017**, 6, 1077-1094.
- Sevilla Jiménez, M.; Golf Laville, E.; Driha, O. Las energías renovables en España. *Estudios de Economía Aplicada*, **2013**, 31-1, 35-58.
- Spinelli, R.; Picchi, G. Industrial harvesting of olive tree pruning residue for energy biomass. *Bioresource Technology*, **2010**, 101, 730-735.
- Spinelli, R.; Magagnotti, N.; Nati, C.; Cantini, C.; Sani, G.; Picchi, G.; Biocca, M. Integrating olive grove maintenance and energy biomass recovery with a single-pass pruning and harvesting machine. *Biomass and Bioenergy*, **2011**, 35, 808-813.
- Torrìsi, S.; Anastasi, E.; Longhitano, S.; Longo, I.C.; Zerbo, A.; Borzì, G. Circular economy and the benefits of biomass as a renewable energy source. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, **2018**, 5(4), 81-175.
- Unión por la biomasa, por el Empleo, la Sostenibilidad y el Desarrollo Rural. *Balance socioeconómico de las biomásas en España 2017-2021*. **2018**. Disponible en: [https://www.appa.es/wp-content/uploads/2018/08/Balance-Biomásas-Espa%C3%B1a-UNI%C3%93N-BIOMASA\\_vf.pdf](https://www.appa.es/wp-content/uploads/2018/08/Balance-Biomásas-Espa%C3%B1a-UNI%C3%93N-BIOMASA_vf.pdf). Último acceso el 28 de octubre de 2021.
- United Nations. *Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015*. **2015**. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10.pdf>. Último acceso el 28 de octubre de 2021.

- United Nations. *The Role of Fossil Fuels in a Sustainable Energy System*. **2020a**. Disponible en: <https://www.un.org/en/chronicle/article/role-fossil-fuels-sustainable-energy-system>. Último acceso el 17 de noviembre de 2021.
- United Nations. *Shared Responsibility, Global Solidarity: Responding to the socio-economic impacts of COVID-19*. **2020b**. Disponible en: SG-Report-Socio-Economic-Impact-of-Covid19.pdf (un.org). Último acceso el 17 de noviembre de 2021.
- United Nations. *Outcomes of the Glasgow Climate Change Conference – Advance Unedited Versions (AUVs)*. **2021**. Disponible en: <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/glasgow-climate-change-conference-october-november-2021/outcomes-of-the-glasgow-climate-change-conference>. Último acceso el 18 de noviembre de 2021.
- Velázquez-Martí, B.; Fernández-González, E.; López-Cortés, I.; Salazar-Hernández, D.M. Quantification of the residual biomass obtained from pruning of trees in Mediterranean olive groves. *Biomass & Bioenergy*, **2011**, 35, 3208-3217.
- Vilar, J.; Cárdenas, J.F. El sector internacional de elaboración de aceite de oliva. Un estudio descriptivo de los 56 países productores. *Gea Westfalia*, **2016**.
- Vilar, J.; Pereira, J.E. *Informe “Caja Rural de Jaén” sobre coyuntura para la olivicultura internacional. Campaña 2016/2017*. **2018**. Disponible en: [http://www.expoliva.info/archivos/informe\\_caja\\_rural.pdf](http://www.expoliva.info/archivos/informe_caja_rural.pdf). Último acceso el 26 de noviembre de 2019.

---

# ***ANEXOS***

---

## Article

# Measures to Promote Olive Grove Biomass in Spain and Andalusia: An Opportunity for Economic Recovery against COVID-19

Jesús Marquina, María José Colinet and María del P. Pablo-Romero \* 

Department of Economic Analysis and Political Economy, Faculty of Economics and Business Sciences, University of Seville, Ramon y Cajal 1, 41018 Seville, Spain; jmarquinadelaossa@gmail.com (J.M.); mjcolinet@gmail.com (M.J.C.)

\* Correspondence: mpablrom@us.es; Tel.: +34-954-557-611; Fax: +34-954-557-629

**Abstract:** Olive grove biomass presents an opportunity to reduce greenhouse gases and meet the sustainability objectives set by Europe. Given the relevance of this organic matter, this paper analyzes the evolution and current situation of the regulations that regulate olive grove biomass as a source of energy in Europe, in Spain and in Andalusia. Likewise, its effect on the evolution of the use of biomass in the Andalusian region, especially the olive grove, is analyzed. The analysis is novel, since there are no previous studies that reveal this type of information for the olive grove biomass sector. The results show that, as of 2005, the development of biomass for thermal and electrical uses is favorable, reaching the objectives set by the PASENER 2007–2013. However, this situation is reversed as of 2012, with the abolition of the feed-in tariff system for renewables. Besides this, the olive grove biomass sector faces other obstacles such as the cost of residue collection and the few incentives for this sector. The reorientation of the measures, in order to enhance this energy source, would generate a positive effect for the economy of the region that has been affected by COVID-19.

**Keywords:** renewable energy; biomass; olive grove; energy regulations; energy plans; Spain; Andalusia



**Citation:** Marquina, J.; Colinet, M.J.; Pablo-Romero, M.d.P. Measures to Promote Olive Grove Biomass in Spain and Andalusia: An Opportunity for Economic Recovery against COVID-19. *Sustainability* **2021**, *13*, 11318. <https://doi.org/10.3390/su132011318>

Academic Editor: Brantley Liddle

Received: 7 September 2021

Accepted: 10 October 2021

Published: 13 October 2021

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

The current health crisis caused by COVID-19 has led to a bleak outlook throughout the global economy [1]. The world economy has been hit hard, experiencing a contraction of 3.5% in 2020 [2]. This indicates a recession much worse than that of the 2008 crisis (GDP contraction of 1.3%) [3]. Faced with this current economic framework, much emphasis has been placed on a green recovery as a means to stimulate the economy [4]. In fact, the UN has established the promotion of economic recovery plans that take into account the climate and nature crisis. Likewise, the International Renewable Energy Agency (IRENA) urges governments to face the challenge of economic recovery by taking advantage of the progress made in renewable energies, so as not to lose sight of the fight against climate change and the commitment to sustainability [5]. In this way, it is intended that renewable energies play a key role in economic recovery, guaranteeing sustainability and energy security, creating employment and strengthening resilience to protect people's health and well-being.

Faced with this international panorama, olive grove biomass, as a renewable energy source, plays a key role in this green recovery that is being implemented. This organic matter presents an opportunity for Mediterranean countries, which is where the highest concentration of this crop exists and, therefore, where the greatest generation of residues originate.

Thus, the olive grove is considered to have high economic and energy value. Currently, it has a presence in countries where it was traditionally considered unimaginable that



these could exist, such as China, Australia, Latvia and Finland. However, despite its greater expansion to various countries around the world, 80% of the surface of olive groves is concentrated in the Mediterranean basin [6]. Likewise, olive oil industries also have a greater presence in Mediterranean countries, reaching 94% of the world's olive oil production [7]. The great wealth generated by this crop and the agro-processing sector in this geographical area, means that, every year, large quantities of biomass are generated that can be used for energy use. This reveals the importance this crop has for these countries, since its waste presents an alternative clean energy source. At the same time, it contributes to improvement in climate change (one of the main objectives worldwide).

Olive grove biomass as an energy source is regulated by the different rules governing this sector. In Europe, its regulation began from 1997, with the approval of the Treaty of Amsterdam (where the principle of sustainable development was included in the Community Objectives) and the preparation of the White Paper on Energy [8]. With the latter, the main aim was to promote the use of renewable energies. The first measures proposed by the White Paper on Energy focused on improving competitiveness, security of supply and protection of the environment. Its fiscal and financial measures included a favorable tax treatment for renewable energies, subsidies for the start-up of new production plants and financial incentives for consumers [9]. From that moment, companies related to the agricultural and olive sector (mainly olive mills, table olive industry, olive pomace extractors and a small number of growers) began to have greater incentives to develop tasks related to use of waste, with the purpose of producing energy, mainly for self-consumption.

In parallel, in the same year, the approval of the Agenda 2000 invited the promotion of renewable energy sources. It was also proposed that biomass should be developed by all available means in the agricultural, fiscal or industrial fields, which encouraged the Member States to grant aid for their support [10]. This background influenced the development and progress of biomass as a source of renewable energy. Its relevance, at European level, is evidenced by its high level of production (102,615 ktoe, which represents 44.67% of the total production of renewable energies in 2019) [11]. Among the main European producers are Germany, France, Italy, Sweden, Finland and Poland, with 57.56% of the total production in 2019 [12]. The main consumers of biomass are the Nordic and Baltic countries, together with Austria, and headed by Finland [13].

Within this group, no Mediterranean basin olive grove cultivation countries are predominant. In this sense, at the European level, Spain did not occupy a privileged place in the production of primary energy from biomass. However, it does stand out for its ability to obtain this resource. In 2020, the Spanish territory had 50.6 million hectares cultivated (5.43% corresponded to olive groves) and had a solid and numerous agro-processing sector producing large amounts of biomass each year [14,15]. In spite of this, in 2018, the biomass potential was 17,287 ktoe (18.36% of the European total) and consumption was 5444 ktoe (1314 ktoe for electrical uses and 4130 ktoe for thermal uses) [16,17].

Within Spain, in 2018, Andalusia represented 17.1% of the potential biomass (2963 ktoe) which is equivalent to 16.2% of the region's primary energy consumption [16]. The region had 8.76 million agricultural hectares in 2020, of which 1.66 million were occupied by olive groves [14]. In addition, the olive crop has continued to expand (8.1% since 2004) [14]. Thirteen of the seventeen Andalusian power generation plants traditionally use the remains of the oil production industry (olive pomace, extracted olive pomace, olive stones and olive leaves) as fuel for the olive industry itself [18].

The relevance of the olive sector in the Andalusian region, its prospects for growth in the immediate future, and its capacity to generate renewable energy from its waste, justify the interest of this study. Thus, the objective of this paper is to analyze the effects that the main approved regulations have had on the development of olive grove biomass in Andalusia, and whether their effects have been positive or negative. In the same way, this paper aims to encourage policies aimed at promoting olive grove biomass as an energy source for thermal and electrical uses. In addition, it is also intended that the use of this energy source represents a possible alternative to stimulate the economy, which has

been greatly aggravated by the health crisis caused by COVID-19. Therefore, the launch of a “Green Recovery” is proposed. For this, the plans and programs, laws, and other regulations approved for this purpose and its main consequences are analyzed in a triple scenario: European, Spanish and regional. With this aim, the following procedure is followed for the development of this paper. In the first place, the main regulations that regulate biomass production for thermal and electrical energy purposes in Europe, in Spain and in Andalusia are compiled and systematized, with special mention of olive grove biomass. Thus, the main measures and aims of these regulations are detailed. Second, the effect of these regulations on the evolution and level of development of olive grove biomass in Andalusia is analyzed. It should be said that similar analyses have been carried out previously, but referring to other renewable energy sources or referring to other countries. Proof of this are the studies by Pablo-Romero et al. (2013) on measures to promote solar thermal energy in Spain [19] or that of Bouznit et al. (2020) on measures to promote renewable energy for electricity generation in Algeria [20]. However, this paper presents a novel study, since as far as we know, there are no previous studies that analyze the regulations that have been regulating the use of olive grove biomass in recent years and its effects on the development of its capacity, particularly in Andalusia.

It is important to point out that in the European and Spanish areas, there are numerous regulations that may also have an indirect influence on the development of olive grove biomass for electricity production. In this paper we refer only to those that have a direct impact.

The results of the analysis allow us to determine in what way these measures have influenced the development of biomass from olive groves in Spain and Andalusia, as a renewable energy source for electrical and thermal uses. The analysis is relevant, since it may allow the orientation of the policies to be improved in the main olive-growing country and region, with extension to other Mediterranean countries, also affected by COVID-19.

This paper highlights different unsolved problems that this energy sector has in Spain and, especially, in Andalusia. In this sense, the main problems are related to: current regulations, high cost of labor and transport and the limited incentives for this sector to correct the aforementioned obstacles. Thus, this paper offers an opportunity to open the debate on a problem of great magnitude that paralyzes the development of olive grove biomass in a region where its potential is high.

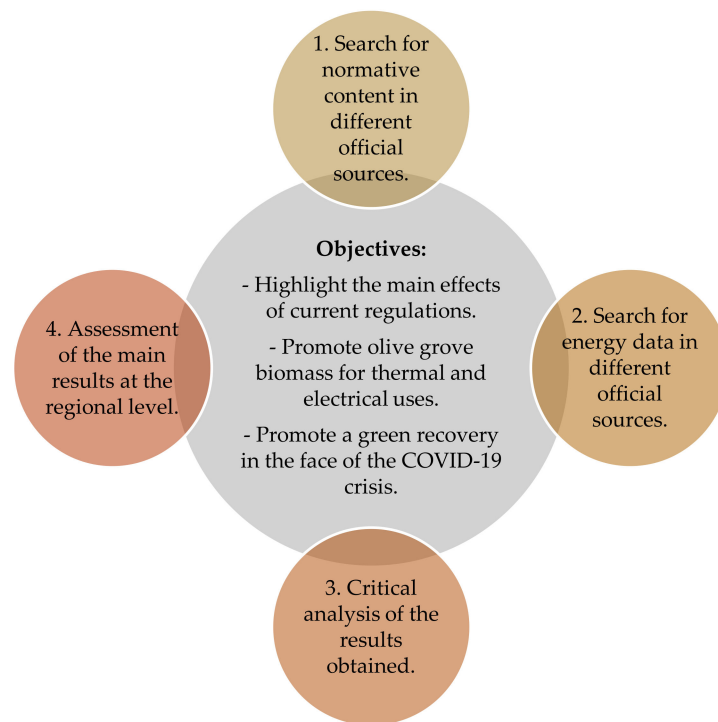
The main contributions presented in this paper can be used to boost olive grove biomass in those places where this crop is grown. Thus, this paper provides a set of information not previously collected in any previous paper. In this way, the main novelties that this paper contributes are:

- Compilation of the main regulations regarding biomass, making special references to aspects related to olive grove biomass.
- Representation and critical assessment of the main energy data of olive grove biomass at European, national and regional level.
- Discussion on the main contributions of this renewable energy source to the regional economy.

The structure of this paper is as follows. Following this introduction, Section 2 describes the methodology used. The results are given in Section 3. Section 4 discusses the results and, finally, Section 5 details the latest conclusions.

## 2. Methodology

Figure 1 shows the methodological procedure of this paper:



**Figure 1.** Outline of the research methodology process.

First, the different regulations (energy plans, laws and incentive programs) are compiled and analyzed. From these, the most relevant aspects that affect the biomass and, especially, the olive grove biomass, stand out. The analysis is carried out from the first approved renewable energy policies (1997) until 2020. The main sources of information search are: the website of the European Commission, BOE (Official State Gazette), BOJA (Official Gazette of the Junta de Andalusia) and Ministries of Spain and Andalusia.

Second, energy data referring to biomass and olive grove biomass are collected. Likewise, these data are collected for the period 1997–2020. The data are obtained from different official sources such as Eurostat, the European Environment Agency, IDAE (Institute for Diversification and Energy Saving) and the Andalusian Energy Agency.

Third, a critical analysis is made with the results obtained at the European, national and regional level.

Fourth, the main results are evaluated at the regional level.

Finally, it should be noted that the reason that justifies the search means used to collect information is the official nature and quality of the different publications in certain high-impact journals.

### 3. Results

The results of this paper can be divided into three parts. In each of them, the main regulations and energy plans, approved in Europe, in Spain and in Andalusia, are analyzed. This highlights what effects the policies have had on the development of olive grove biomass, and what opportunities for increased waste usage would mean for the economic recovery after COVID-19.

#### 3.1. Olive Grove Biomass Regulations in Europe

The cultivation of the olive tree occupies more than 11 million hectares throughout the world. Almost 7 million (60%) are concentrated in Europe, more specifically in the countries of the Mediterranean basin [6]. As a result, the EU is a world leader in olive oil production, with an average production of 2.1 million tons per year (68% of world production) [21]. Most of this production is concentrated in the Mediterranean area, dominated by Spain, Italy and Greece (70% of European production), Spain being the main producer of olive oil

(with a production of 1.12 million tons during the 2019–2020 season) [22,23]. In this regard, the importance of the olive sector justifies the relevance of this crop in its contribution to the production of renewable energies. Therefore, the waste generated by this crop has been the subject of a great deal of interest in the development of different European regulations related to renewable energies.

### 3.1.1. Communications from the European Union

The first measures to boost olive biomass in Europe took place with the approval of the White Paper on Energy in 1997 [COM (1997) 0599]. Since then, as shown in Table 1, the EU has published a range of documents related to its position in favor of reducing climate change, and its commitment to the use of renewable energies. In each of these documents, biomass is the subject of special attention, as this energy source is the most used within the European territory [11].

**Table 1.** Communications from the EU regarding the promotion of the use of renewable energies.

Name	Year
White Paper “Energy for the future: renewable sources of energy” [COM (1997) 0599]	1997
White Paper on environmental liability [COM (2000) 66 end]	2000
“Biomass Action Plan” [COM (2005) 628 end]	2005
Green Paper “A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy” [COM (2006) 105 end]	2006
“Forest Action Plan” [COM (2006) 302]	2006
“Renewable energy road map—Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future” (Action Plan 2007–2009).	2007
Progress Report on the implementation of the Biomass Action Plan [COM (2009) 0192]	2009
Report on sustainability requirements for the use of solid and gaseous biomass sources in electricity, heating and cooling [COM (2010) 0011 end]	2010
“Clean Energy for All Europeans” [COM (2016) 860 end]	2016
The European Green Deal [COM (2019) 640 end]	2019
Annex on guidelines for trans-European energy infrastructure [COM (2020) 824 end]	2020

Source: Own elaboration from EUR-Lex.

In 2005, the European Commission launched, for the first time, a “Biomass Action Plan” [COM (2005) 628 final]. This plan established a series of measures aimed at increasing the development of this type of energy from wood, waste and agricultural crops [24]. It also aimed to reduce dependence on fossil fuels, reduce greenhouse gas emissions and stimulate economic activity in rural areas. All this was due to the fact that biomass represented more than half (from 44% to 65%) of the renewable energy consumed in Europe. In this regard, the European Commission identified three sectors in which the biomass resource should be a priority: heat production, electricity production and transport. In addition, all the points of this plan were related to a set of measures, carried out by the Common Agricultural Policy (CAP), where much of the aid was aimed at promoting energy crops and the energy use of agricultural by-products and waste. In the case of the olive grove, the established aid contemplated certain agro-environmental practices, among them, the active use of pruning waste.

One year later, the European Commission presented the “Forest Action Plan” [COM (2006) 302] as part of the development of the Forestry Strategy for the European Union (1998), which also includes biomass from the olive groves [25]. This Plan contemplates four main objectives to optimize sustainable management and the multifunctional role of European Union forests:

- Increase long-term competitiveness.
- Improve and protect the environment.
- Contribute to a better quality of life.
- Encourage communication and coordination with the aim of increasing coherence and cooperation at different levels.

Thus, it was intended to promote the use of forest biomass for energy production, focusing on the development of markets for wood pellets and chips.

Later, a Progress Report on the implementation of the Biomass Action Plan was carried out in 2009 [COM (2009) 0192]. It recognized the deviation from compliance with the 2010 objective, regarding renewable energy sources. This deviation was due to the increase in energy consumption within the EU and the insufficient development of renewables [26]. Among the conclusions, it highlighted the need to act prudently in the use of biomass as a source of renewable energy, and proposed an adequate supervision system.

In 2010, the European Commission issued the “Report . . . on sustainability requirements for the use of solid and gaseous biomass sources in electricity, heating and cooling” [COM (2010) 0011 final]. It recommended that Member States that had introduced, or would introduce, national sustainability systems in relation to solid and gaseous biomass, ensure that these systems were equal to those established in the Renewable Energy Directive. This was intended to encourage the production and sustainable use of biomass, a well-functioning internal biomass market and the elimination of obstacles to the development of bioenergy [27].

In the same way, it is important to underline the Commission’s Release on “Clean Energy for All Europeans” [COM (2016) 860 final], in 2016. This established that only the efficient conversion of biomass into energy would receive public support, those that presented favorable characteristics and met adequate sustainability criteria. This was intended to avoid the possible adverse effects that uncontrolled use of biomass could cause for the climate [28]. In this sense, olive cultivation had favorable characteristics that placed it in a better position, with respect to other crops. This was due to the fact that the olive is an organized arboreal crop, whose biomass is controlled by the growth needs of the plants [29]. In short, although it had to comply with the EU’s sustainability criteria, it was part of a more favorable position than biomass from natural forest areas [28].

Finally, it is worth highlighting the European Green Pact [COM (2019) 640 final], which includes a series of measures related to the climate and the environment. Thus, the priority objective is to promote that the EU is the first climate-neutral continent in the world by 2050 [30]. Likewise, the Annex on guidelines for trans-European energy infrastructure [COM (2020) 824 final] aims to expand the European energy infrastructure, in order to address the fragmentation of interconnections between Member States in their isolation from the networks of gas and electricity, secure and diversify the Union’s energy supplies, sources and supply routes, as well as increase the integration of renewable energy sources [31]. Both regulations, recently approved, directly promote the use of olive grove biomass for energy purposes.

### 3.1.2. European Directives

Directive 2001/77/EC [32] was the first to promote compliance with the objectives in the EU. Later, Directive 2003/54/EC was approved and established definitions applicable to the electricity sector in general [33]. Although there was still no express mention of the biomass sector, there was general regulation of renewables. This encouraged the EU’s energy consumption to grow steadily for years. Between 2000 and 2007, it was approximately 25 TWh per year. Likewise, biomass boiler installations increased significantly from 2004, making applications for heating and SHW supplied through pellets, a common practice in many European countries [13].

In 2009, with the entry into force of Directive 2009/28/EC, the objective to reach 20% of final energy consumption from renewable sources by 2020, was established. From that moment, biomass began to be mentioned in the regulatory field, with the establishment of sustainability criteria for biofuels and bioliquids [34]. This Directive was revised in June 2018, when sustainability criteria for the use of biomass was addressed, and in the case of residual biomass it stated the following [35]:

- Biomass should not come from land of high value in terms of biodiversity, nor from peatlands that are not drained.

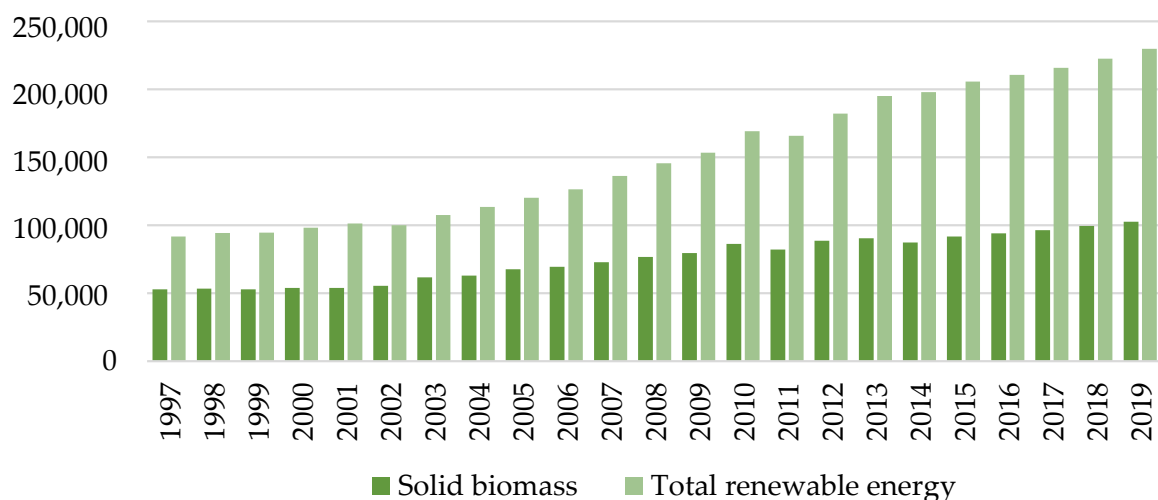
- Forest biomass should not be produced unsustainably.
- The reduction of emissions must be at least 80% for the production of electricity, heating and cooling from biomass in installations, following its start-up on January 1, 2021, and 85% as of January 1, 2026.
- Power generation plants over 20 MW must always use cogeneration technology.

Finally, in December 2018, Regulation (EU) 2018/1999 came into force. It established a series of measures in line with The Paris Agreement 2015, and the specific objectives of the Union for 2030, on energy and climate. In this way, the objectives for renewable energy and energy efficiency are set for the year 2030 at 32% and 32.5%, respectively. These objectives are also included in Directive (EU) 2018/2001 and Directive (EU) 2018/2002, respectively [36]. Both objectives will be revised in 2023 and can only be updated to raise them and not to reduce them. Furthermore, this new regulation prevents charges being applied to self-consumption. Regarding transportation, it has been established that at least 14% of the fuel used must come from renewable sources by 2030, and first-generation biofuels with a high risk of "indirect change in land use", should not count towards the renewable use objectives from then on. In conclusion, these can place the olive grove biomass sector in a more favorable position, in such a way that it can be translated into a future increase in its uses.

### 3.1.3. The Olive Grove in the Evolution of Biomass in Europe

The promotion of renewable energies in Europe has caused the proportion of their use in total energy consumption to increase in recent years. In the 2005–2015 decade, their proportion in EU consumption almost doubled, from 9% to approximately 17% [37]. However, despite the greater efforts by the EU, fossil fuels are still the dominant energy source in Europe, representing 72.6% of the energy mix.

Biomass stands out for its production levels, which makes it the leading renewable energy in the EU. Figure 2 shows the evolution of biomass production in Europe, over the total of renewables produced. Since 1997, it has had the highest percentage of use, followed by hydroelectric (11.97% of the total) and wind (13.74% of the total). Biomass currently provides approximately 4% of the total EU energy supply. However, and despite the fact that in 2019 it represented 44.67% of renewable production, participation has been decreasing slightly over time [11]. The production of biomass in the EU is mainly used for residential heat (83%) and, to a lesser extent, for combined generation (CHP) of heat and electricity (17%) [16].



**Figure 2.** Evolution of the production of solid biomass and the set of renewable energies in Europe during the period 1997–2019 (units: in ktOE). Source: Own elaboration from Eurostat.

The olive grove has favorably contributed to this situation. The oil mills generated 9.6 million tons of biomass per year (mainly, olive pomace, olive leaves and olive stones). For its part, olive grove pruning generated 11.8 million tons of biomass, of which only 30% were used [38]. In this way, in Europe, this crop reached an approximate volume of 13.1 million tons of biomass per year. The olive grove biomass is most often used for electricity generation (47%) and for thermal generation (33%). Regarding the use of thermal energy, the main consumer is the olive oil industry (oil mills) and extraction, followed by the agro-processing sector that does not relate to olive oil, and the domestic sector [38]. Olive cultivation also plays a fundamental role in the advancement of this type of energy, which is due to the fact that its main by-products represent an important way to generate electrical and thermal energy, especially in Mediterranean countries [39].

### *3.2. Measures for the Promotion of Olive Grove Biomass in Spain*

Spain has considerable agricultural wealth, which, among other advantages, provides an important opportunity to generate renewable energy. This country ranks second among the countries with the greatest agricultural area utilized in the EU (with 13.3%, and behind France which has 15.9%) [40], where the olive groves occupy 2.75 million hectares [14]. Most of this crop (60%) is concentrated in the Guadalquivir valley (Andalusia), mainly in the provinces of Jaen (22%) and Cordoba (13%) [41].

#### *3.2.1. Renewable Energy Plans*

In Spain, the production and use of olive grove biomass have been influenced by the different energy plans related to renewable energies that have the purpose of promoting their production and use and, consequently, meeting the objectives set by Europe. The main objectives of each of these plans are shown in Table 2. This shows that it was not until 1999, when a specific renewable energy plan was approved, because the 1991 plan, although it included the planning of all energy sources, only introduced a specific chapter dedicated to the promotion of renewable energies.

Since 1999, the three plans approved have adhered to the guidelines set by Europe, with increasing demands for renewable energy. The purposes and objectives set for biomass are contained in each of these plans, where the olive plays a fundamental role.

The National Energy Plan—PEN 1991–2000 basically intended to paralyze the nuclear programs, approved in previous Plans, and to promote the expansion of natural gas and renewable energies [42]. On the other hand, the Plan for the Promotion of Renewable Energy—PFER 2000–2010 began to forge an energy structure that was increasingly beneficial for renewables. From this moment on, the first targets for biomass were highlighted

**Table 2.** Main renewable energy plans in Spain.

Approval Date.	Energy Plans	General Objectives	Specific Objectives for Biomass
1991	National Energy Plan (PEN) 1991–2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimization of costs.</li> <li>- Energy diversification.</li> <li>- Self-supply.</li> <li>- Environmental Protection.</li> </ul> In this way, it plans to subsidize the actions aimed at promoting and improving energy efficiency, committing to renewable energy.	The use of biomass for energy use is encouraged, replacing fossil fuels.
1999	Plan for the Promotion of Renewable Energy (PFER) 2000–2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Natural gas becomes the source with the greatest growth, up to 22.50% of the total in 2010.</li> <li>- The electricity generation structure consists of: 33% natural gas, 28.4% renewable energy, 19.4% nuclear, 15% coal and 4.1% petroleum products.</li> </ul>	It is planned to increase its production for 2010 by 6 million ktoe. Of the total, 0.9 would correspond to thermal uses in the final consumption sectors and 5.1 would be destined to the generation of electricity. In this way, the contribution established, up to the year 2000, is multiplied by 30. For this, it is intended to encourage different economic sectors and households.
2005	Renewable Energy Plan (PER) 2005–2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>- To cover at least 12% of the total energy consumption in 2010 with renewable sources.</li> <li>- To achieve a minimum of electricity generation with renewable (29.4%) on the gross national consumption of electricity.</li> <li>- To achieve a minimum of biofuels (5.75%) in relation to gasoline and diesel consumption in transport, in accordance with Directive 2003/30/EC.</li> </ul>	The targets for biomass in 2010 are set at 1695 MW of installed power for electrical uses. In this way, production would be 11,822.6 GWh plus a production of 582,514 toe/year in thermal biomass.
2011	Renewable Energy Plan (PER) 2011–2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>- To achieve a 20% share of energy from renewable sources in gross final consumption by 2020.</li> <li>- To achieve a 10% share of energy from renewable sources in energy consumption in the transport sector by 2020.</li> </ul>	For the solid biomass, an objective of 1187 MW is established for 2020, and an increase of 383 MW of power is expected for thermal uses in 10 years.

Source: Own elaboration from BOE, IDAE [42–45].

Subsequently, during the validity of the Renewable Energy Plan—PER 2005–2010, an ambitious target for biomass was established. This was set at 1695 MW of installed power for electrical uses, aimed at generating 11,822.6 GWh/year. However, only 32% of the target for solid biomass was reached. In this way, the development of solid biomass for electric power generation was small, despite the important advantages that the main by-products of olive groves could contribute to the energy market. In 2010, the primary biomass energy over the total represented 4.8%, mainly due to its use for thermal applications. In general, the renewables percentage, as primary energy over the total, was 11.3%, so the target of 12% set in the PER 2005–2010 was almost reached [46]. The renewable energies experiencing the greatest growth were wind, solar photovoltaic and solar thermoelectric.

Later, with the Renewable Energy Plan—PER 2011–2020, the requirements of the objectives continued to be increased. Its purpose was to adapt to the new European objectives, established in Directive 2009/28/EC. In the case of biomass, it continued to show a deficit in its development, reaching installed power targets below those highlighted in the previous Plan. Thus, the incipient attempts to encourage its use for energy use and the granting of subsidies (BIOMCASA, GIT, PAREER-CRECE) to promote its projects, had not been enough of an incentive for the development of the sector.

In parallel, and in order to fulfill the commitments with Europe in the field of renewable energies, different Action Plans have been launched from Spain. These were



framed in the obligations established by Directive 2009/28/EC. The National Renewable Energy Action Plan—PANER 2011–2020 Plan is currently in force, reflecting the objectives established by Europe [47]. For the biomass sector, a target of 1587 MW was set, of which 1187 MW would correspond to solid biomass, and 400 MW to biogas. In Spain, there are only 677 MW of biomass installed for electrical uses, which demonstrates the scarce impact of current policies.

Furthermore, The Spanish Bioeconomy Strategy—2030 Horizon, which serves as support for the fulfilment of the objectives of the current Energy Plan, is also relevant. It aims to move towards a society that is less dependent on non-renewable resources, to slow down the process of climate change. The foundation on which it is based is the science–economy–society triangle. In this way, it is a guarantee that all economic agents will collaborate, with the purpose of reducing the polluting effects and generating economic value [48]. Following the same path, the Report of the Committee of Experts of the Parliament (finalized in April 2018) established the basis for an efficient, sustainable and low carbon energy transition. To do this, the environmental and economic impacts were considered when designing the energy policy. The report included several alternatives that analyzed the combination of different sources of energy (nuclear, hydraulic, thermal, coal, combined cycles and renewable sources). In addition, it evaluated the objective of renewable penetration, according to different levels of interconnection with the European continent, and the contribution of mobility and energy efficiency policies [49].

### 3.2.2. Regulations on the Use of Olive Grove Biomass for Energy in Spain

In Spain, renewable energies are driven by current electrical regulations at all times. In these regulations, there is no specific section for olive sector biomass. However, it does fall within different headings, such as that of biomass from agricultural or industrial waste.

In general, the regulatory framework for the electricity sector has been subject to various changes. Thus, as shown in Table 3, from 1994 to present, three Laws relating to the electricity sector have been approved. Law 24/2013 is currently in force, which means a substantial change in the treatment of renewable energies. With this Law, among other issues, renewables cease to have priority in the discharge of energy, compared to other technologies. As of this moment, they only enjoy an equal economic offer in the daily electricity market. In addition, the structure of the system that had been established for renewable energy sources and cogeneration (included in the special regime for installations of up to 50 MW), and the rest of fossil and nuclear technologies (ordinary regime), has been broken. As a result, all energy sources (renewable and non-renewable) compete under equal conditions, abandoning the differentiation between the powers of the ordinary regime and the special regime. Thus, the system of previously established premiums (determined by Ministerial Order IET/1045/2014) was eliminated.

The most developed renewable energies have been wind, solar photovoltaic and solar thermoelectric. During 2007–2013, these experienced strong growth in MW capacity. In 2018, they amounted to 30,473 MW installed, which represented 60% of the national total [17].

With regard to biomass, it should be noted that the implementation of this energy source for electrical uses has been insufficient, when compared with other renewable sources. The biomass capacity for such uses is only 677 MW of capacity. This represents 1.34% of the total renewable power in Spain. However, biomass for thermal uses is in a better position, given its greater uses in the energy market (especially in the household sector), it has 8297 MW of installed capacity [17].

**Table 3.** Main Laws of the electricity sector.

Law	Period of Validity	Description
Law 40/1994, On Management of the National Electricity System.	1994–1998	The concept of a special regime is consolidated, and the security of electricity supply is guaranteed at the lowest possible cost and adequate quality.
Law 54/1997, On the Electricity sector.	1998–2013	Distinguishes production in the ordinary regime from the special regime. The economic remuneration framework is identified for each of these models of electricity generation, including biomass. The system of premiums for electric power generated by special regime installations is the system chosen for promotion of these facilities.
Law 24/2013, On the Electricity sector.	2013 to date	The basic purpose is to establish regulation of the electricity sector. Guaranteeing supply with the necessary levels of quality and at the lowest possible cost, ensuring economic and financial sustainability of the system and allowing an effective level of competition within the electricity sector. All this within the principles of environmental protection of a modern society. The premium system is replaced by a competitive system in auctions (with some exceptions). The profitability of these facilities refers to the ten-year State obligations.

Source: Own elaboration from BOE [50–52].

In parallel to the Laws listed in Table 3, several Royal Decrees have been developed during the period 1994–2017 (Table 4.). These have had some impact on the development of biomass at the national level. In general, from 1998 to 2013, an incentive system for "feed-in tariff" electricity production was established. Subsequently, in 2016, auctions for renewable facilities were established, based on offers on the cost of investment and operation of the plants.

**Table 4.** Main Royal Decrees on renewable energies for electricity generation.

Period of Validity	Royal Decree	Description	Aspects Relevant to Biomass
1994–1998	Royal Decree 2366/1994 On production of electrical energy by hydraulic, cogeneration and other facilities, supplied by renewable energy sources.	Regulating the electrical energy of the “ <i>Special Regime</i> ”, where biomass is the accepted renewable energy source.	There is no specific mention of the biomass energy sector.
1998–2004	Royal Decree 2818/1998 On electric energy production facilities supplied by resources or sources of renewable energy, waste and cogeneration.	A premium is determined for facilities below 50 MW using renewable non-consumable and non-renewable energy, biomass, biofuels or agricultural, livestock or service waste, as primary energy.	A distinction is made between primary biomass (in the case of olive groves it corresponds to biomass from olive tree waste), and secondary biomass (corresponding to waste from the olive oil manufacturing industry). This distinction is reflected in the compensation established for each type, with a 5.07 pesetas/kWh (0.03 EUR/kWh) premium for the first, and a 4.70 pesetas/kWh (0.028 EUR/kWh) premium for the second.
2004–2007	Royal Decree 436/2004 On the methodology for updating and systematization of the legal and economic regime for the production activity of electric power under the special regime is established.	A system, based on the freedom of choice of the owner of the installation, is defined: - Sale of the production or surplus electric power to the distributor. A fee in the form of a regulated tariff is received, unique to all programming periods, based on the production market price. - Sale of the production or surplus directly on the daily or futures markets or through a bilateral contract. The negotiated market price is received, plus a participation incentive and a premium, if the actual installation has the right to receive it. Regardless of the compensation mechanism chosen, holders of special regime facilities are guaranteed a reasonable remuneration for their investments.	Article 37 establishes tariffs, premiums and incentives for biomass facilities. The fee for participating would be 80%, the premium 30% and the incentive 10%, of the average or reference electricity tariff in each year.
2007–2013	Royal Decree 661/2007 Regulating the production activity of electric power in special regime.	Regulates the activity of energy production in special regime and repeals Royal Decree 436/2004. The basic scheme is maintained. The double option of rewards is preserved. Determines a premium complementing the remuneration regime of biomass and/or biogas co-combustion plants in thermal power plants of the ordinary regime.	An installed capacity of 1317 MW is established as an objective for installations using biomass as fuel. The equivalent powers of biomass or biogas in co-combustion installations are not considered within the objectives of reference installed power.

Table 4. Cont.

Period of Validity	Royal Decree	Description	Aspects Relevant to Biomass
2010 to date	Royal Decree-Law 14/2010 On the establishment of urgent measures to correct the electricity sector tariff deficit.	Alleviates the asymmetric effects caused by the economic crisis. Measures are: obligatory tolls on renewable energies (0.5 EUR/MWh), application of percentage economic participation for producers under ordinary and special regimes to mitigate cost overruns and, for photovoltaic installations, limits equivalent operational hours with rights to preferential economic regime.	No special measures are specified or established for the biomass sector.
2012 to date	Royal Decree-Law 1/2012 By which pre-allocation procedures for compensation are removed and economic incentives for new installations for the production of electricity from cogeneration, renewable energy sources and waste are eliminated.	Economic incentives granted to new facilities producing renewable energy are suppressed and new start-up facilities are paralyzed.	Article 3.3. establishes that the government can establish statutorily specific economic regimes for certain installations under the special regime (which includes biomass). The right to the perception of a specific economic regime is permitted and, where appropriate, certain obligations and rights regulated under Sections 1 and 2 of Article 30 of Law 54/1997.
2013 to date	Royal Decree-Law 2/2013 On urgent measures in the electrical system and the financial sector.	The objective is to correct economic imbalances occurring in the electrical system. The reduction of special regime costs is highlighted. Consumers are asked to contribute to economic recovery through consumption and investment.	The reference premium value for all groups (including biomass) is modified, having a value of 0 c EUR/kWh.
2013 to date	Royal Decree-Law 9/2013 By which urgent measures are adopted to guarantee financial stability of the electrical system.	Permits Government approval of a new legal and economic regime for existing electric power production facilities, from renewable energy sources, cogeneration and waste. Thus, it is about giving back to those companies in the renewable sector that are considered efficient, based on the facilities having reasonable profitability set by regulations.	Includes measures, at the general level of the renewable energy sector, without including specific measures on biomass.
2014 to date	Royal Decree 413/2014 On the regulation of production of electrical energy from renewable energy sources, cogeneration and waste.	New remuneration regime for renewables is established. Based on the perception of income obtained from the sale of electricity to the market, plus an additional remuneration (calculated using a series of standardized parameters according to existing technologies in the market and included in Ministerial Order 1045/2014).	Installations that use biomass should send information on the ratio of the types of fuels used (through a certification system), indicating the annual amount used, in tons, per year and the average PCI, in kcal/kg, of each of them.

Table 4. Cont.

Period of Validity	Royal Decree	Description	Aspects Relevant to Biomass
2015 to date	Royal Decree 900/2015 On the regulation of the administrative, technical and economic conditions of the modalities of electricity supply with self-consumption and production with self-consumption.	First regulation of electricity self-consumption in Spain.	No specific reference to biomass.
2015 to date	Royal Decree 947/2015 By which a call is established for the granting of the specific remuneration regime to new installations for production of electricity from biomass at the peninsula's electrical system and wind technology installations.	First auction launched for the allocation of specific remuneration regime to electricity production facilities from wind and biomass technology.	The power for new biomass installations located on the Iberian Peninsula is set at 200 MW.
2017 to date	Royal Decree 359/2017 By which a call is established for the granting of the specific remuneration regime to new installations for the production of electrical energy from renewable energy sources in the peninsular electrical system.	Auctions for 2017, treat all technologies neutrally, without differentiation.	Beneficial for the most developed energy sources (wind and photovoltaic) and represents a further setback in the advance of biomass.

Source: Own elaboration from Noticias Jurídicas, BOE [53–64].

With Royal Decree 2366/1994, the renewable energy sector began to be regularized, making a general mention of biomass. However, it was not until 1998, with Royal Decree 2818/1998, when this sector began to be consolidated.

Subsequently, Royal Decree 436/2004 aimed to continue down the path already started by the previous Royal Decree, but with an added advantage: the application of a system based on the free will of the seller, which consisted of choosing between two options when selling its production on the energy market. Likewise, it was intended that, by the year 2010, one-third of the demand for electricity would be covered by high energy efficiency technologies and renewable energies (without increasing the cost of electricity production) [55]. Later, with the entry into force of Royal Decree 661/2007, the renewable energy sector continued to be reinforced, in this case, with an increase in economic incentives for electricity generation (feed-in tariff). The effects that occurred in the biomass sector during the term of this Royal Decree (2007–2013) were positive. This was due to the installed capacity of biomass for electrical uses being increased by 74.73%, with a total installed biomass power of 657 MW.

After the economic crisis of 2008, the national panorama began to change. With the instability of the electricity sector, several approved regulations paralyzed development in the renewable energy sector. The economic crisis had a strong negative influence on the *tariff deficit*. This began in 2000 and, in 2005, the deficit growth was accentuated, reaching more than EUR 30,000 million in 2011 [65]. Thus, with the approval of Royal Decree-Law 14/2010, these were required to contribute economically to the special regime energies in the electricity system to prevent cost overruns. However, this was intensified with the approval of Royal Decree-Law 1/2012, which introduced a serious cut in existing premiums. At the same time, this paralyzed incentives for new facilities. As of that moment, the concept of special regime and ordinary regime was held in check.

Subsequently, in 2013, Royal Decree-Law 2/2013 and Royal Decree-Law 9/2013 were approved in order to correct the problems of the electricity and financial sectors. Equally, this meant a barrier for the development of renewable energies and, in particular, for olive grove biomass. All this led the renewable energy sector to lose advantages over fossil fuels, which remain the most competitive in the national energy market. In addition, it adversely affected the fulfilment of the objectives, set by Europe in Directive 2009/28/EC, and included in the 2011–2020 Renewable Energy Plan.

Currently, Royal Decree 413/2014 regulates the production of electricity from renewable energy sources. Its approval supposes a radical change for the renewable energies that have begun to lose some privileges. This new remuneration system was based on the application of an additional remuneration (calculated through a series of standardized parameters, established by Ministerial Order 1045/2014) after the sale of electricity on the market.

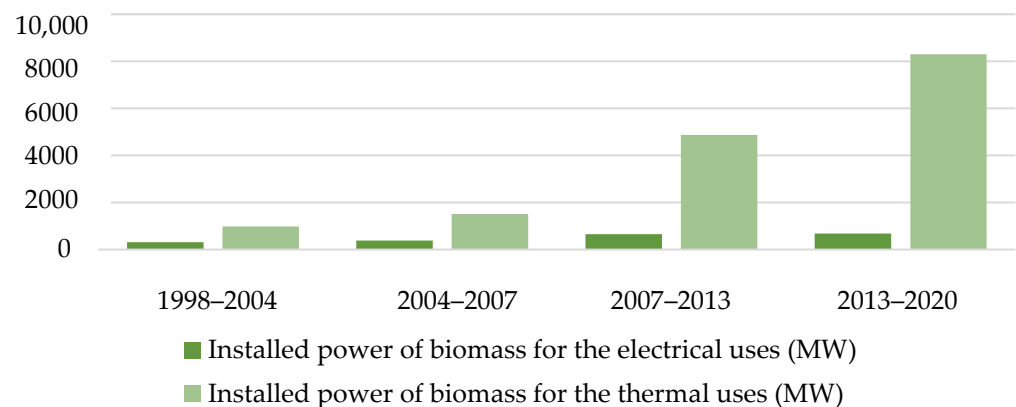
The new remuneration system, based on the auction system, has not been a boost to the development of biomass projects. So far, there has been only one specific biomass auction, regulated by Royal Decree 947/2015. This fixed the installed power of 200 MW for new biomass installations on the Iberian Peninsula. As a result, electric power using biomass, in the period 2013–2018, had only increased by 3.04%, standing at 677 MW. Regarding the other technologies, the following auctions were assigned: wind 4608 MW, photovoltaic 3910 MW and others 19 MW.

In parallel to electrical regulations, different regulations have been approved that affected the development of biomass as an energy source for thermal uses. It is worth mentioning that Royal Decree 314/2006, which implemented the Technical Building Code [66], replaced the old Regulation of Thermal Installations in Buildings (RITE) and gave a boost to the renewable sector, especially biomass for thermal uses. The approval of this Royal Decree implied a commitment to energy efficiency and environmental balance. In addition, it encouraged the incorporation of renewable energy facilities in building processes and gave greater prominence to the European requirements, highlighted by Directive 2002/91/EC. Five basic requirements were developed, aimed at achieving a rational use of the energy

necessary for the use of buildings, and ensuring that part of this consumption came from renewable sources. Likewise, with the approval in that same year of Royal Decree-Law 7/2006, urgent measures were adopted in the energy sector, and the transaction costs of competition (CTC's) were repealed. In this way, the variation of the special regime premiums were disconnected from the average electrical, or reference, tariff [67].

### 3.2.3. The Olive Grove in the Biomass Evolution in Spain

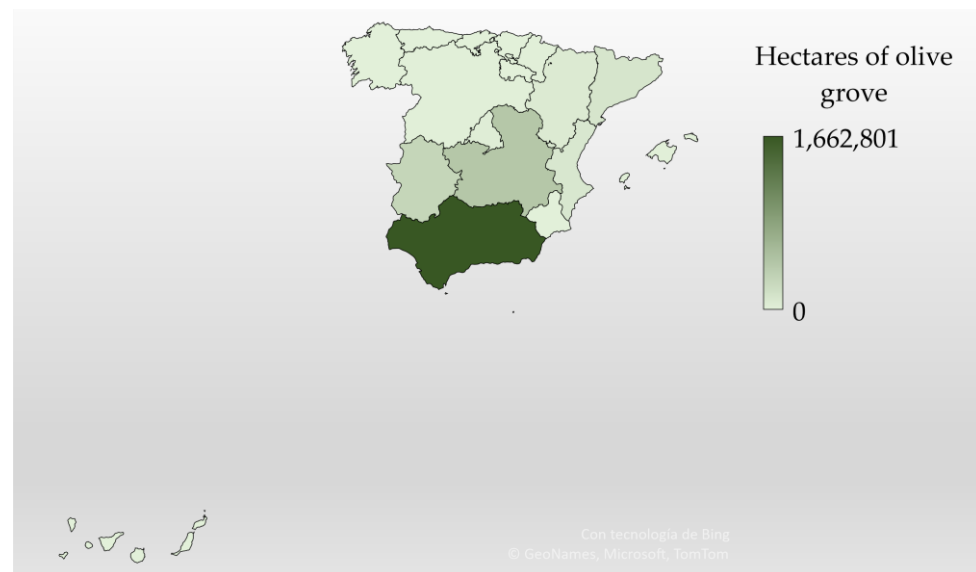
Figure 3 shows the evolution of total installed renewable power, as well as the power in biomass, for both thermal and electrical uses, from the period 1998–2004 to the period 2013–2020. The periods mark the time that each of the main Royal Decrees, related to the production of renewable energies, had been in force (RD 2818/1998, RD 436/2004, RD 661/2007 and RD 413/2014). It can be observed that the installed biomass power, like the other renewable energies, had greater growth during the validity of PER 2005–2010, with increases of more than 70% with respect to the period 2004–2007, when the PFER 2000–2010 was in force. In addition, it should be noted that although the data in Figure 3 only refer to the periods of validity of each of the Royal Decrees, in all years the power of biomass has been increasing, reaching the values of 2020 (677 MW).



**Figure 3.** Evolution of the electrical and thermal power of biomass installed in Spain during the period 1998–2020 (units: in MW). Source: Own elaboration from IDAE.

However, and despite this growth of biomass, the effects of the measures to promote it for electrical use could be considered insufficient, at least when compared with other technologies. Currently, the installed power of renewable energies in Spain stands at 50,356 MW, with the system generating 104,607 GWh, representing 38.1% of total gross electricity production. Wind, with 22,990 MW (45.66% of the total installed capacity), and hydraulics, with 18,963 MW (37.66% of the total installed power), are those that generate the most energy in Spain, with 47% and 35%, respectively. Meanwhile, biomass, with 677 MW of installed capacity (1.34% of the total nationally) only generated 5%.

The high potential of biomass in Spain is due, in part, to the cultivation of the olive and the waste generated by the agro-food olive oil industries. As can be seen in Figure 4, the territory has 2.75 million hectares occupied by this crop. These are mainly concentrated in Andalusia (60.43%), although they are also present in Castile-La Mancha (16.12%) and Extremadura (10.45%) [14]. Thus, Spain has large areas of olive cultivation where around 282.70 million olive groves are concentrated. This generates large amounts of biomass per year, as a result of the different olive grove pruning processes (mainly, thin branches and firewood) [68]. Firewood produced from pruning is often used for domestic heating in rural areas. The thinner pruned wood is used less frequently due to high collection costs, resulting in it being burned in the open field.



**Figure 4.** Distribution of the cultivated area of olive groves in Spain (units: number of hectares). Source: Own elaboration from ESYRCE.

Furthermore, Spain has a large number of agro-food industries, of which 1756 correspond to olive mills (where olive oil is obtained), 487 to the table olive industry (consumable olives) and 63 to olive pomace extractors (extraction of residual oil by chemical processes, producing olive-pomace oil) [23]. These industries are responsible for producing the various products derived from olives, such as table olives, olive oil or olive-pomace oil. These production processes produce different by-products: olive pomace, extracted olive pomace, olive stones and the remains of leaves and branches which are used to generate electrical and thermal energy, often used for self-consumption by the industry [18].

The importance of the olive sector in biomass production in Spain can be demonstrated in different mathematical applications offered and published by various studies. Thus, the outline of the article "Report on the availability of Biomass Sources in Spain: vineyards and olive groves" shows that, in Spain, olive grove pruning generates approximately 7 million tons per year [69]. The largest contribution is made by Andalusia (57%), followed by Castile La-Mancha (17%), Extremadura (11%) and Catalonia (5%). These four regions produce 90% of the total biomass generated by olive grove pruning in Spain [70]. For its part, the olive oil industry generates 4.75 million metric tons of olive pomace (50% is destined to the manufacture of pomace olive oil), 1.45 million metric tons of olive stones and 0.78 million metric tons of extracted olive pomace. The table olive industry produces 0.06 million metric tons of olive stones per year [69].

Despite its high potential, the lower growth rate of biomass, compared to other technologies, may be due to the lower incentives received by the sector (when compared to those for other renewable sources such as wind, solar photovoltaic and solar thermoelectric), and the greater complexity of the treatment this resource requires.

Table 5 shows the results of compensation payments (feed-in tariffs) during the 2014–2020 period. It can be observed that the most prioritized technologies are those of cogeneration, solar photovoltaic, solar thermoelectric and wind, which are precisely those that have advanced most during this period. Biomass, for its part, follows these energy sources, but with a major difference. In relation to the remuneration of generated electricity it can be observed that biomass has higher remuneration than wind, consistent with the increased degree of technological maturity of the latter technology. However, the rewards are much higher in the case of photovoltaic technology, in spite of major technological developments in wind technology and its worldwide expansion. This, together with insufficient incentives to the agricultural sector for the use of waste, has contributed to the



reduced development of olive biomass. Basically, the remuneration does not cover the costs of collection and transport and does not offer an acceptable return for the investor [29].

**Table 5.** Result of the annual compensation payments for production installations of renewable energies, cogeneration and waste during the 2014–2020 period.

Technology	Year	Feed-in Tariff (M EUR)	Feed-in Tariff (EUR/MWh)
Cogeneration	2020	917.86	39.80
	2019	1312.89	49.72
	2018	1233.65	46.89
	2017	1147.40	44.80
	2016	871.04	36.82
	2015	1173.20	50.53
	2014	1702.00	64.30
Solar PV	2020	2354.15	182.73
	2019	2407.83	282.64
	2018	2441.97	326.51
	2017	2493.40	323.52
	2016	2439.30	321.26
	2015	2441.60	315.37
	2014	2822.00	374.67
Solar TE	2020	1244.46	279.03
	2019	1285.73	263.96
	2018	1297.12	297.23
	2017	1313.40	260.60
	2016	1263.00	257.86
	2015	1262.50	261.12
	2014	1441.00	244.82
Wind power	2020	1208.63	23.45
	2019	1413.89	26.71
	2018	1475.33	30.47
	2017	1450.80	30.74
	2016	1256.90	26.60
	2015	1253.10	26.87
	2014	1823.00	36.68
Hydraulics	2020	64.93	14.73
	2019	76.77	18.95
	2018	94.91	15.16
	2017	81.60	28.52
	2016	75.10	16.43
	2015	67.70	16.08
	2014	164.00	36.55
Biomass	2020	330.52	76.33
	2019	311.98	89.09
	2018	315.16	90.98
	2017	306.80	88.49
	2016	274.30	82.87
	2015	258.30	76.15
	2014	283.00	66.11
Waste	2020	86.30	32.58
	2019	109.12	36.05
	2018	118.34	36.71
	2017	119.40	35.34
	2016	104.90	31.29
	2015	102.50	28.95
	2014	81.00	27.75

Table 5. Cont.

Technology	Year	Feed-in Tariff (M EUR)	Feed-in Tariff (EUR/MWh)
Waste treatment	2020	250.46	68.39
	2019	223.59	74.36
	2018	171.98	66.61
	2017	152.80	63.19
	2016	86.10	52.73
	2015	120.50	78.66
	2014	416.00	97.40
Other technologies	2020	1.17	68.40
	2019	1.10	57.89
	2018	0.19	-
	2017	0.19	-
	2016	0.16	1454.55
	2015	0.56	140.00
	2014	-	-

Source: Own elaboration from National Markets and Competition Commission (CNMC).

### 3.3. Measures for the Promotion of Olive Grove Biomass in Andalusia (Spain)

The cultivated area of olive groves in Andalusia occupies 1.66 million hectares (34.04% of the agricultural surface), which is equivalent to 60% of the Spanish olive oil producing area and 30% of that of the EU [14,29]. Likewise, the industrial sector that surrounds this crop, at a national level, is predominantly concentrated in this region where 48% of the oil mills (844), 71% of the olive pomace extractors (45) and 45% of the table olive industry are located (219) [41]. In these industries, products such as olive oil, olive-pomace oil (representing 76% of national production and 42% of the Community's production) and table olives (representing 67% of the national production and 45.9% of the Community's production) are sold. The favorable characteristics of this sector have, over the years, forged a solid market, both nationally and internationally [29]. In turn, the olive grove presents other advantages to the Andalusian region, since the different by-products that are obtained from it, and from its agro-processing sector, have a high renewable energy value. This forms an alternative energy to fossil fuels. This advantage offers the possibility of reducing greenhouse gas emissions to the atmosphere and contributes to the improvement of climate change. In addition, in 1999, the primacy of its by-products boosted the start-up of the first biomass power generation plant in Spain, in Palenciana (Cordoba, Andalusia). Currently, this power generation plant (El Tejar Autogeneración) uses extracted olive pomace (a by-product obtained from the olive-pomace oil manufacturing process) as fuel to generate energy [18].

#### 3.3.1. Effects of the Different Energy Plans for Olive Grove Biomass in Andalusia

In Andalusian regional planning, olive grove biomass has received special attention, as this energy source has developed more in this territory than in Spain's other Autonomous Communities. This is due to the abundant presence of this crop and the high energy richness of its by-products.

Since 1995, Andalusia has launched four plans in the field of energy planning: Energy Plan of Andalusia—PLEAN 1995–2000; Energy Plan of Andalusia—PLEAN 2003–2006; Andalusian Plan for Energy Sustainability—PASENER 2007–2013; and the Andalusian Energy Strategy 2020. The four plans shared the commitment to improve energy efficiency and increase the use of renewable energy, over and above national and community objectives. Specifically, the PLEAN 2003–2006, was intended to cover at least 15% of the total demand for primary energy in the region by 2010, three percentage points more than those highlighted by Europe for that year (12%).

In each of the energy plans, biomass and olive growing in particular played an important role. Table 6 shows the most relevant aspects.

**Table 6.** Plans to promote the use of renewable energies in Andalusia.

Approval	Plans	General Objectives	Relevant Aspects to Biomass
Prepared in 1994 by the Society for Energy Development of Andalusia, for the Ministry of Economy and Finance.	Energy Plan of Andalusia (PLEAN) 1995–2000	Its objective was that, by 2000, renewable energies would contribute 7.6% of the total primary energy.	It aimed to increase biomass by 202 ktoe/ear and develop cogeneration and electricity and gas infrastructure in the region.
Decree 86/2003, of April 1	Energy Plan of Andalusia (PLEAN) 2003–2006	Its purpose was to ensure that, by 2010, 15% of energy demand corresponded to renewable energies, a significant proportion of this objective being obtained in 2006.	In the case of biomass for electrical uses, the objective was to achieve an installed capacity of 250 MW (the figure of 164 MW was reached in 2006) by 2010. Furthermore, due to expected high growth of biomass for thermal uses, the <i>Programme to Promote the Use of Biomass—Probiomass</i> was launched to encourage facilities.
Decree 279/2007, of November 13	Andalusian Plan for Energy Sustainability (PASENER) 2007–2013	Its objective was, in 2013, that 18.3% of primary energy consumption would correspond to renewable energy and 32.2% to gross production of electricity with renewable energy.	With regard to biomass, it was intended to achieve 256.0 MW and 649.0 ktoe, for electrical and thermal uses, respectively. This represented 21.13% of the total renewable energy.
Agreement of October 27, 2015, of the Government Council	Energy Strategy of Andalusia 2020	Five objectives were proposed for 2020: to reduce the trend of primary energy consumption by 25%; to provide 25% of the final gross energy consumption from renewable energies; to decarbonize energy consumption by 30% with respect to 2007 values, to consume 5% of the electricity generated from renewable sources; and improve the quality of the energy supply by 15%.	Two Action Plans were agreed to carry out this Strategy. They included specific measures for the development of a biomass value chain, its energy use and the development of bio-refineries.

Source: Own elaboration from Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa [71–74].

All these plans have incentivized change in the region's energy model. In this way, the consumption of clean energies has been increasing. Currently, energies such as solar, wind and biomass account for 38.8% of installed electrical power [75]. This is equivalent to 40.4% of the electricity consumed by Andalusians.

Together with these plans, other strategies have also been addressed in parallel that have served as supports for the fulfilment of these objectives. Among them are the "Autonomic strategy in the face of climate change" approved in 2002 and the "Andalusian Strategy for Sustainable Development: Agenda 21 of Andalusia" approved in 2004. These were created with the purpose of reducing greenhouse gas emissions. They promoted renewable energies, the reduction of energy dependence, energy saving, the establishment of instruments for energy improvement and the construction of energy efficient homes.

Similarly, in 2007 the "Andalusian Climate Action Plan 2007–2012-Mitigation Program" was approved, and in 2010, the "Andalusian Program for Adaptation to Climate Change" was also approved. These established priority actions to adapt to climate change in energy, the promotion of renewable energy and the promotion of savings and energy efficiency. In addition, in September 2018, The Andalusian Strategy of Circular Bioeconomy was approved, which aimed to contribute to the growth and sustainable development of Andalusia. In order to do so, it sought to promote actions aimed at promoting the production of resources and renewable biological processes, such as olive grove biomass. In this way, this Strategy constituted an economic model, based on the production and use of renewable biomass resources, and their sustainable and efficient transformation into by-products, bioenergy and services for society [76].

Finally, given the relevance of olive cultivation in Andalusia, the agricultural sector has also favored the biomass of olive groves. Proof of this is The Strategic Plan of the Andalusian Agroindustry 2020, which includes nine strategic lines of action in the field of climate change. In this way, it is intended to promote operations aimed at increasing productivity and obtaining better results by consuming less resources, such as water, energy, raw materials, etc., which would be replaced by others with less contaminating impacts (waste, discharges, emissions) [77].

### 3.3.2. Legislation Regulating Olive Biomass in Andalusia

The main regulations that affect olive grove biomass in Andalusia can be classified according to the sector of activity that they regulate (see Table 7). In the legislative field, it should be noted that, in Andalusia, there are no express standards that regulate olive grove biomass. This is regulated, regarding energy matters, by Law 2/2007, which aimed to establish the primacy of the use of renewable energy over other energy sources [78]. This Law includes a set of promotion and exploitation measures for each of the renewable energies. Regarding measures to promote and exploit biomass, Article 17 of this Law establishes the commitment of the Government of Andalusia to regulate the use of energy biomass, develop promotional measures and the valorization process of biomass resources, and to carry out programs to promote energy crops.

**Table 7.** Main regulations of the energy and agricultural sector of Andalusia.

Activity Sector	Year	Current Regulations
Energy Sector	2007	Law 2/2007, To promote renewable energies, energy savings and efficiency.
	2011	Decree 169/2011, Regulation of the Promotion of Renewable Energies, Energy Saving and Efficiency approved in Andalusia.
	2018	Law 8/2018 Measures against climate change and for the transition to a new energy model in Andalusia.
Agricultural and Forest Sector	1985	Law 2/1985, On Civil Protection.
	1999	Law 5/1999, <i>Prevention and fighting forest fires.</i>
	2001	Law 5/2011, On the olive groves of Andalusia.
	2015	Decree 103/2015, The Olive Grove Master Plan is approved.

Source: Own elaboration from BOJA (Official Gazette of the Junta de Andalusia).

Subsequently, Decree 169/2011 developed Law 2/2007. From that moment, the Andalusian Energy Certificate was regulated in a document certifying compliance with energy requirements for buildings and industries. Likewise, a series of obligations were established, such as: the adoption of short-term profitable efficiency and energy saving measures; reliance on renewable energies for the demand of thermal energy; and the establishment of an Energy Management System for large consumers [79].

Given the relevance of the Andalusian olive groves, the autonomous government approved a specific Law for them. Although it went beyond the energy field, it was very favorable for its development. Thus, in 2011, Law 5/2011, relating to the olive groves of Andalusia, came into force. The purpose of this Law was to establish a regulatory framework for the maintenance and improvement of olive growing in Andalusia, the sustainable development of their territories and the promotion of quality and promotion of their products. For this purpose, it was proposed to strengthen the biomass sector, which was also regulated in the said Law [80]. Likewise, following the specifications contained in this Law, in 2015, the Decree 103/2015 (Olive grove Master Plan) was approved. This plan established the specific strategies for olive grove biomass [81]:

- Promote actions aimed at achieving improvements in energy savings and efficiency in olive grove industries.
- Reduce the volume of emissions and effluents in the olive industry.
- Incorporate new technologies for the purification of waste from industries derived from olive groves.
- Value the by-products obtained from olive grove industries and encourage measures for their reuse and/or commercialization.
- Increase the use of renewable energies in the olive grove industries, as well as the energy self-sufficiency of the industries themselves.

As a result, the Olive Grove Master Plan was an opportunity to boost biomass energy in the olive groves, contributing to the 2020 Strategy and the 2014–2020 Rural Development Program.

Law 5/1999, of June 29, on prevention and fighting forest fires and Law 2/1985, of January 21, on Civil Protection, caused olive waste pruning to be destined for production of biomass energy. Law 8/2018 also established a series of measures aimed at reducing greenhouse gas emissions into the atmosphere. For this, the transition towards an energy

model, based on renewable energies, was proposed. This Law sought to promote citizen participation and encourage education, research, development and innovation [82].

Furthermore, at the local level, the different towns and cities of Andalusia joined the Covenant of Mayors. This has promoted the use of renewable energies and, especially, use of olive grove biomass in Andalusia, where 548 participating municipalities (representing more than 40% of the Spanish municipalities taking part) have committed to reducing their CO<sub>2</sub> emissions at the municipal level. The intention was to comply with the objectives set by Europe [83]. The signatories of the Covenant of Mayors Pact committed themselves to present an Action Plan for Climate and Sustainable Energy (PACES). This plan detailed the key actions that were intended to be undertaken. Furthermore, within the group of renewable energies, the importance of biomass in the region was highlighted given its huge potential [84]. In short, the olive grove is seen as an important energy alternative to undertake the various projects that are established in renewable energy.

### 3.3.3. Main Promotional Measures for Olive Biomass in Andalusia

The instruments used by the government of Andalusia to promote the use of renewable energies, and, in particular, olive grove biomass, are subsidies for investments in equipment and facilities that use this energy. Since 2003, the Andalusian Energy Agency has been responsible for managing grants. In the case of biomass, it should be noted that in 2006 the Andalusian Society for the Valorization of Biomass was created. Its aims were to develop technologies that would promote the use of energy, as an element of wealth creation in the agricultural and forestry sector. This mixed public–private partnership was the first organization of its kind to be launched in Europe [85].

The most outstanding measures in Andalusia for the promotion of renewable energies, and in particular of olive grove biomass, are shown in Table 8. In it, the most recent measures are listed, although there had previously been other forms of incentives for the promotion of renewable energy and energy efficiency in different economic sectors and households.

**Table 8.** Most recent economic incentives.

Measures	Approval	Denomination	Description
Promotional measures 2009–2016 (not valid)	Order of 4 February, 2009	Incentive Program for the Sustainable Energy Development in Andalusia 2009 “Andalusia A +”	Commitment to the promotion of energy saving and use of renewable energies in all areas of Andalusian society.
	Decree-Law 1/2014 of 18 March	Program to Promote Sustainable Construction in Andalusia	Integrating several forms of action with incentives aimed at promoting energy saving, improvement of energy efficiency and the use of renewable energy in buildings located in Andalusia. All this was carried out via rehabilitation works, reforms, adaptation to use and efficient installations. Attempted to subsidize operations for obtaining and treating biomass.
Promotional measures 2017–2020 (To date)	Order of 23 December, 2016	Program of Incentives for the Sustainable Energy Development of Andalusia 2020. “Andalusia is more”	The objective of this Program is to continue fostering energy efficiency and the application of renewable resources in the field of building and processes. The intention is to advance energy assessment and management, in sustainable mobility and in implementation of smart networks in the energy field, in line with the Energy Strategy of Andalusia 2020. This continues to subsidize investments aimed at favoring the obtaining and treatment of biomass.

Source: Own elaboration from Andalusian Energy Agency [86–88].

During the period of validity of the first promotional measures, 2009–2016, 22,949 biomass actions were implemented. These received incentives worth EUR 61 million and, of these, 20,039 corresponded to the Order of Incentives for the Sustainable Energy Development of Andalusia. This aid amounted to EUR 46 million and involved an investment of EUR 118 million. Most of the projects (19,979) were for thermal biomass, followed by logistics and biomass treatment. In addition, since the Sustainable Construction Program in Andalusia came into force in April 2014, and until 31 May, 2016, 2910 thermal biomass actions were supported (stoves, wood fireplaces and boilers) with an incentive of more than EUR 15 million. This led to an associated investment of EUR 23 million [89].

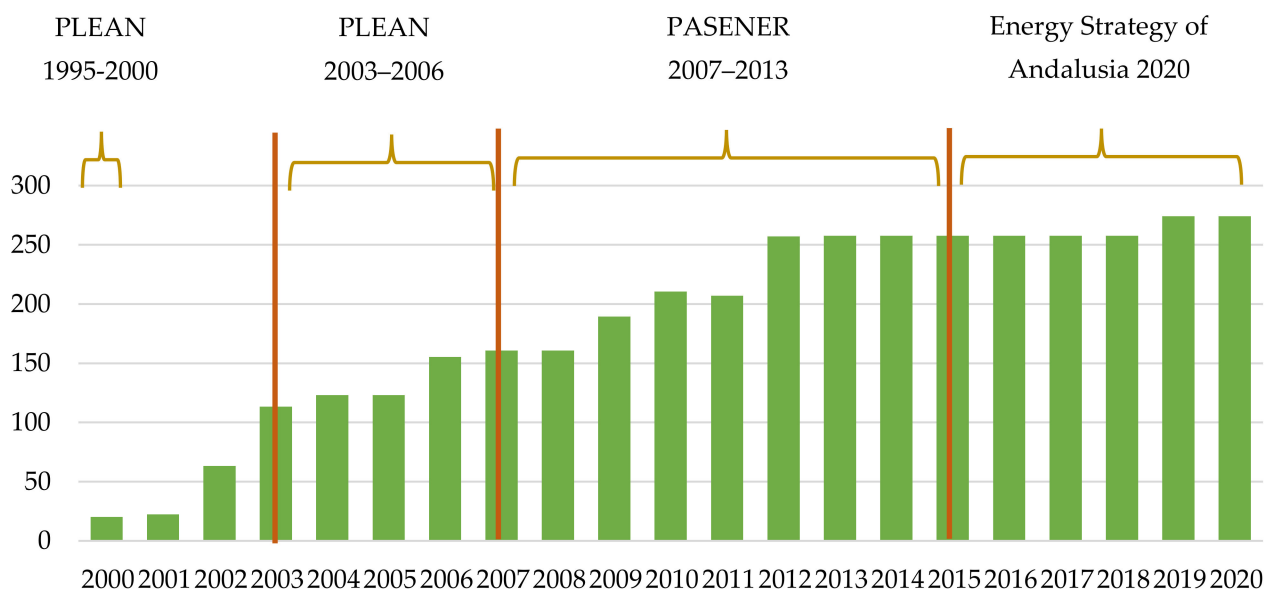
As a result of these actions, there has been a remarkable growth in thermal biomass installations in residential and service sectors. Thus, according to the data provided by the Andalusian Energy Agency, in 2015, biomass consumption in the residential sector was, for the first time, higher than in the industrial sector, with 39.62% compared to 25.84%, represented by the latter [90]. Olive grove by-products played a very important role in this growth.

Subsequently, in order to continue promoting the use of renewable energies in the region, a second program of measures was launched (2017–2020), with the approval of the Order of 23 December, 2016. Thus, through its programs, which were focused on three main points (construction, SMEs and Smart Grids), the intention was to continue promoting the use of renewables, including olive grove biomass. In this way, the different lines of action focused on biomass logistic improvement systems, and energy use in economic sectors and in households.

#### 3.3.4. The Olive Grove in the Evolution of Biomass in Andalusia

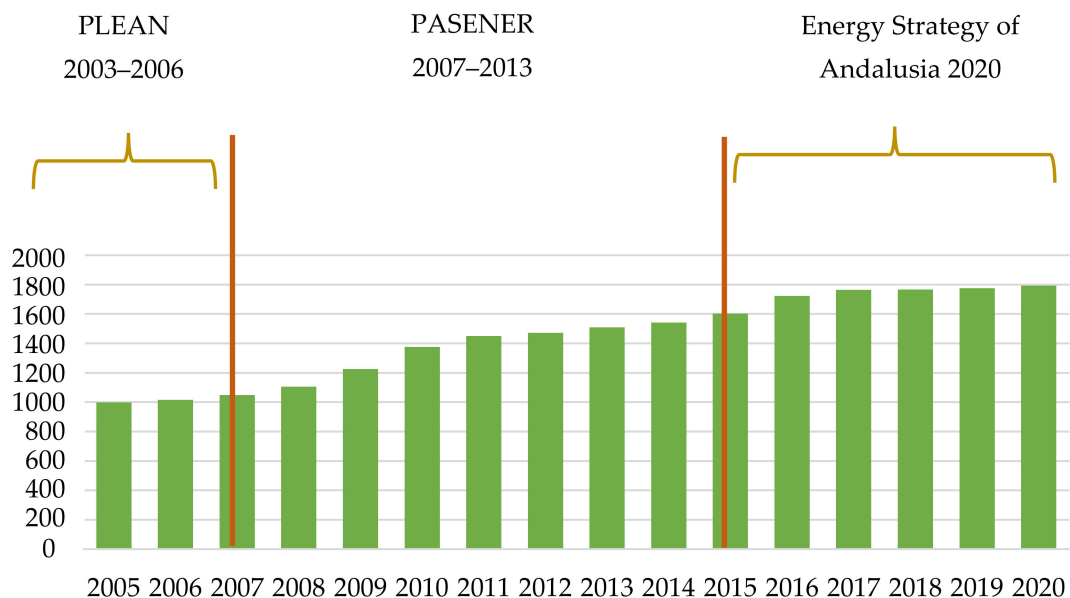
The consumption of renewable energies in Andalusia is equivalent to 19.48% of primary energy consumption in 2020 (5.2 percentage points above Spain). This contributed to a 43% reduction in carbon dioxide emissions in recent years [75]. However, there is a long way to go to promote the development of renewable energy in the region with a total installed power of 8103.4 MW, compared to 9459.2 MW of fossils. Most of the renewable electric power installed in Andalusia comes from wind energy (3472.0 MW), followed by biomass (274.0 MW), solar thermal (997.4 MW), solar photovoltaic (2672.1 MW) and hydroelectric (650.0 MW). The biomass sector in Andalusia had 2066.2 MW of installed thermal power, which reached 1792.2 MW, as well as electricity, which stood at 274.0 MW [18,75]. This represented 38% of the total installed power for electrical uses, and 21% for thermal uses in Spain.

Figure 5 shows the evolution of installed biomass power for electrical uses in Andalusia, during the period 2000–2020. It can be seen that, since 2000, biomass for electrical uses had not stopped increasing. Since 2005, this had increased by 54.84%. From this moment, there was a greater growth of this energy source. In this sense, it is worth mentioning that the region managed to meet the targets set by PASENER 2007–2013 for biomass for electrical uses, which was set at 256 MW of total installed capacity [73]. Thus, in 2013, biomass for electrical uses stood at 257.5 MW of total installed power, as seen in Figure 5. However, there was a stagnation in the development of this sector from 2012, which was due to national regulatory changes to correct the tariff deficit. In 2019, it was in fifth place with 4.20% of the total renewables installed, generating 1569.2 GWh per year.



**Figure 5.** Evolution of the electric power of biomass installed in Andalusia during the period 2000–2020 (units: in MW). Source: Own elaboration from Andalusian Energy Agency.

Figure 6 shows the evolution of the installed capacity of biomass for thermal uses during the period 2005–2020. A pronounced increase can be observed starting in 2011, coinciding with the validity of the incentive programs launched during the 2009–2015 period. Thus, since 2010, the installed capacity increased 77.54%. This favored the fulfilment of the objectives set by PASENER 2007–2013 for biomass for thermal uses, which was set at 506.67 MW of total installed power [73]. Thus, in 2013, biomass for thermal uses stood at 1509.2 MW, as can be seen in Figure 6. In 2020 the total power for biomass for thermal uses stood at 1792.2 MW.



**Figure 6.** Evolution of the thermal power of biomass installed in Andalusia during the period 2005–2020 (units: in MW). Source: Own elaboration from Andalusian Energy Agency.

Increases in the use of biomass had been possible due to the abundant residues generated by olive cultivation and its associated industries in the region. Of the 17 electricity generation facilities in Andalusia, 13 of them used by-products from the olive grove



(135.33 MW of installed capacity). In addition, olive by-products were also widely used for thermal uses [18].

In short, despite the fact that biomass held a privileged place within the renewable energy ranking, there was still considerable waste of resources in this sector. The biomass potential oscillated around 20 million tons per year, with agricultural waste (4.6 million tons) representing the largest volume, followed by industrial waste (5.07 million tons). In both cases, olive grove biomass had a greater participation, with 6.43 million tons, which represented 31.89% of the total biomass potential in the region. Likewise, the potential of olive grove biomass surpassed that of other residues with 1526 ktoe (38.58%). This justified most power generation plants using the main by-products of olive groves as a means of producing renewable energy, as well as the importance of this crop in the territory [18].

#### 4. Discussion

The results of this paper show that the implementation of energy plans, laws and promotional measures, to promote the use of olive grove biomass for thermal and electrical uses, have not been sufficient. In Europe, fossil fuels continue to be the dominant energy source, with a consumption of 72.6%. Despite the healthy position that biomass occupies in the renewable energy mix (44.67% of production), it still continues to present a high rate of wasted residues, as is the case of the Mediterranean olive grove. This causes a significant loss of opportunities, when it comes to meeting the objectives set by the different governments, to combat climate change.

In the same way, the regulations, at the national level, analyzed in this paper, reflect the small influence it has had on the development of olive grove biomass as an energy source, for thermal and electrical uses. In this case, the level of biomass development presents a less favorable situation than at the European level. This energy source only generates 5% of the total generated by renewable energies, despite the high potential of olive grove biomass. Currently, in Spain, the most developed renewable energies are wind (with an installed power of 22,990 MW) and hydro (with an installed power of 18,963 MW). Biomass, for its part, only represents 1.34% of installed power of renewable energies, for electrical uses (with 677 MW), and 16.42% for thermal uses (with 8297 MW). This is largely due to the low remuneration received, in line with other renewable energies that are in a more privileged situation, such as solar photovoltaic, solar thermoelectric and wind energy. Likewise, the olive grove sector faces other obstacles, such as the cost of labor and transport, in the use of residues.

Despite the large area occupied by olive groves in Andalusia (60% at the national level and 30% at the European level), the development of this energy source follows the same dynamics as at the national level, with only 274.0 MW of installed power for electrical uses, and 1792.2 MW of installed power for thermal uses. However, it should be noted that, over the years, this use of this energy source has been increasing for thermal and electrical energy, experiencing its greatest development since 2005. This trend implied the fulfillment of the objectives set by the PASENER 2007–2013 for thermal and electrical applications. However, despite this, the wastage of this organic matter is still high. Since 2012, with the regulations applied at the national level, when the system of feed-in tariffs for renewable energies began to be withdrawn, the development of biomass and olive grove biomass has been stagnant.

In this sense, more favorable regulations and greater incentive for olive grove biomass would allow promoting the use of this energy source in the places where this crop is grown. Thus, countries and regions with a large number of olive groves could take advantage of the opportunities that this crop offers them in terms of energy, as reflected in numerous investigations. In this way, focusing on the paper of Marquina et al. (2021) [91], it is possible to highlight the high wastage of olive grove biomass in the region. Specifically, this represents 69.23% of waste, causing lost opportunities that translate into less development of renewable energies and, especially, of olive grove biomass. In addition, Marquina et al. (2021) [91] establish that a greater use of olive grove biomass would bring about the start-up

of 55 and 1762 electric and thermal plants, respectively. This would cause a further increase in investment and, consequently, an opportunity for the creation of new jobs, which would represent a positive aspect for the regional economy affected by the economic crisis caused by COVID-19. Likewise, the potential for olive grove biomass has also been the object of studies in other research works, such as that of García-Maraver et al. (2011) [17] for Andalusia, and that of Algieri et al. (2019) [92], Spinelli et al. (2011) [93], Alatzas et al. (2019) [94] and Dounavis (2019) [95] for Italy and Greece.

In this sense, a better use of the olive grove biomass would result in a greater reduction in greenhouse gases, thus promoting a more sustainable economy, based on the bioeconomy and circular economy. This would tend to better fulfill the objectives set in the different energy plans, whilst promulgating a Green Recovery in the face of the economic crisis as a result of COVID-19. Thus, given that current economic situation, a greater use of waste from olive groves and the olive agro-industrial sector would bring with it greater economic development, especially in rural areas where this crop is grown. However, it is convenient to mention that olive grove biomass, in addition to presenting opportunities (being renewable; reducing dependence and consumption of fossil fuels; contributing to the reduction of residues; or having a neutral balance in CO<sub>2</sub> emissions), also presents a series of negative repercussions, such as: emitting CO<sub>2</sub> into the atmosphere; high labor and transportation costs; its supply depends on seasonality; and high costs in the construction and operation of plants [96].

Furthermore, it is also worth highlighting the COVID-19 lockdown on energy demand and consumption in Europe. Thus, according to Jiang et al. (2021), compared to the mean value from 2015 to 2019, the total mean electricity generation from 16 European countries in April 2020 dropped by 9% (25 GW), where fossil energy generation decreased by 28% (24 GW), nuclear energy decreased by 14% (11 GW), whilst renewables increased by 15% (15 GW) [97]. In this sense, it should be noted that despite the COVID-19 crisis, the objectives of complying with an economy that respect the environment remain a priority.

In short, based on the results obtained, it is worth highlighting the limited benefit that the regulations in force until 2012 have shown and the high obstacle presented by the regulations approved as of that year despite the high potential presented by Andalusia. For this reason, it would be convenient to change this regulatory aspect towards a more favorable aspect with clean energies and, especially, with olive grove biomass. Thus, the ultimate goal would be to promote a green recovery to incentivize renewable energies while tending to stimulate the economy in general. The aim of this work is to show how the main regulations have influenced the development of olive grove biomass. Thus, the benefits that this research presents is to give knowledge of how the main regulation of renewable energies has influenced and influences their development and to highlight the losses of opportunities that this reports.

## 5. Conclusions

At present, the current energy regulations at the national level represent a strong barrier for the advancement and development of the consumption of biomass, in particular from the olive groves and associated industries. The waste of this organic matter, at the regional level, represents 69.23%. If all the waste were used, it would translate into more generation of electrical and thermal energy.

Over the years, the approval and implementation of different laws, plans and incentives, both nationally and regionally, have not been sufficient for the development of olive grove biomass. Thus, in Andalusia, although the olive grove biomass had an increase in electrical and thermal uses from 2005, until it reached the PASENER 2007–2013 objectives, this situation was hampered by the approval of different regulations, approved in 2012. In this sense, Royal Decree-Law 1/2012 and Royal Decree-Law 2/2013 represented a setback for the development of olive grove biomass. From that moment on, the feed-in tariff system, which was an advantage for these energy sources, was abolished.

Similarly, this sector has other obstacles (such as transport and labor, in the case of olive pruning) which have not been corrected. Incentives are still scarce, and growers do not find it profitable to collect prunings for later use. This is due to the low rewards, which do not even cover collection costs. In addition to all this, there is the lack of information on the possibilities of using this organic matter.

Regarding the promotion of biomass in the generation of electricity, it has been observed how the regulations have not been able to correct the difference between this energy source, and the other renewable energies. The need to acquire fuel (olive grove biomass) requires sufficient remuneration to make the heavy investment profitable, and makes it less competitive than wind or photovoltaic. As a result, biomass for electrical uses has only reached 677 MW of installed power in Spain. This is a small development considering the expectations established in each of the energy plans for this energy source.

To correct this situation, it would be necessary to carry out specific electricity auctions of biomass power generation plants, nationally, providing adequate remuneration to ensure the profitability of the projects. Regarding Andalusia, to promote olive grove biomass, specific measures for this sector need to be established among growers, in order to promote environmental practices that make it possible to obtain biomass. Among these measures would be training and advising growers, subsidizing investment in machinery, and promoting agricultural service companies specialized in obtaining biomass from olive groves.

However, in terms of biomass for thermal uses, it would appear that regulations, such as the inclusion of renewables in buildings, or existing national and regional subsidy programs, would lead to greater development of this technology. This makes it one of the most widely used technologies in the residential sector, although the implementation of regional measures would further increase its use.

In future national and regional energy plans, it would be considered appropriate to introduce the adequacy of the use of different types of biomass for thermal or electric uses, depending on the value chain of each of these uses, and to promote measures that contribute to compliance with the established objectives.

In short, although Europe has tried to favor the biomass sector, more especially since 2005, Spain has not had the necessary means to overcome the barriers that this sector presents. Thus, Spain, and especially Andalusia, are wasting an opportunity from the energy and economic point of view. In this sense, this paper opens the debate and joins the groups that are committed to a green recovery in the face of the economic crisis caused by COVID-19.

**Author Contributions:** Data curation: J.M. and M.J.C.; Formal analysis: J.M.; Methodology: J.M., M.J.C. and M.d.P.P.-R.; Writing—Original draft preparation: J.M.; Resources M.J.C. and M.d.P.P.-R.; Supervision: M.J.C. and M.d.P.P.-R.; Conceptualization: M.d.P.P.-R.; Writing—Reviewing and Editing: M.d.P.P.-R.; Funding acquisition: M.d.P.P.-R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research was funded by the Chair on Energy and Environmental Economics sponsored by “Red Eléctrica de España” at the University of Seville (Ref; 68/83-1394-0103) and by Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) and Consejería de Economía, Conocimiento, Empresas y Universidad of Junta de Andalucía, on FEDER 2014–2020 operative programme: reference-(US-1260925) US/JUNTA/FEDER, UE.

**Institutional Review Board Statement:** Not applicable.

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** The data presented in this study are available upon request.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Ceylan, R.F.; Ozkan, B.; Mulazimogullari, E. Historical evidence for economic effects of COVID-19. *Eur. J. Health Econ.* **2020**, *21*, 817–823. [CrossRef] [PubMed]
2. International Monetary Fund (IMF). World Economic Outlook Update. Available online: [www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/01/26/2021-world-economic-outlook-update](http://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/01/26/2021-world-economic-outlook-update) (accessed on 28 January 2021).
3. Bénassy-Quéré, A.; Decreux, Y.; Fontagné, L.; Khoudour-Casteras, D. Economic Crisis and Global Supply Chains. *Cent. D'Études Perspect. D'Inf. Int.* **2009**. [CrossRef]
4. Ruíz, C.N. La Recuperación Verde. Urgente y oportuna. *Temas Debate* **2020**, *307*, 34–37.
5. Revista Ambientum. La Importancia de las Energías Renovables tras la COVID-19. Available online: [www.ambientum.com/ambientum/energia/importancia-de-las-energias-renovables-tras-la-covid-19.asp](http://www.ambientum.com/ambientum/energia/importancia-de-las-energias-renovables-tras-la-covid-19.asp) (accessed on 30 September 2021).
6. Revista Interempresas. El Olivar en el Mundo: Más de 1.500 Millones de Olivos que Abastecen de Aceite a 174 Países. Available online: [www.interempresas.net/Produccion-Aceite/Articulos/184882-olivar-en-mundo-mas-de-1500-millones-de-olivos-que-abastecen-de-aceite-a-174-paises.html](http://www.interempresas.net/Produccion-Aceite/Articulos/184882-olivar-en-mundo-mas-de-1500-millones-de-olivos-que-abastecen-de-aceite-a-174-paises.html) (accessed on 29 September 2021).
7. Christoforou, E.; Kylili, A.; Fokaides, P.A. Technical and economical evaluation of olive mills solid waste pellets. *Renew. Energy* **2016**, *96*, 33–41. [CrossRef]
8. Office for Official Publications of the European Communities. Treaty of Amsterdam Amending the Treaty on European Union, the Treaties Establishing the European Communities and Certain Related Acts. Available online: [www.europarl.europa.eu/topics/treaty/pdf/amst-en.pdf](http://www.europarl.europa.eu/topics/treaty/pdf/amst-en.pdf) (accessed on 29 September 2021).
9. European Commission. *Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan*; Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg, 6 July 1998. Available online: [https://europa.eu/documents/comm/white\\_papers/pdf/com97\\_599\\_en.pdf](https://europa.eu/documents/comm/white_papers/pdf/com97_599_en.pdf) (accessed on 29 September 2021).
10. Office for Official Publications of the European Communities. Agenda 2000: For a Stronger and Wider Union. Available online: <http://aei.pitt.edu/3137/1/3137.pdf> (accessed on 29 September 2021).
11. Eurostat. Data Browser: Simplified Energy Balances. Available online: [www.ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_BAL\\_S\\_custom\\_1347272/default/table?lang=en](http://www.ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_BAL_S_custom_1347272/default/table?lang=en) (accessed on 30 September 2021).
12. Eurostat. Data Browser: Complete Energy Balances. Available online: [www.ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_BAL\\_C\\_custom\\_1347456/default/table?lang=en](http://www.ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_BAL_C_custom_1347456/default/table?lang=en) (accessed on 30 September 2021).
13. Energiza. Biomasa en la Unión Europea. Available online: [www.energiza.org/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=939:biomasa-en-la-uni%C3%B3n-europea](http://www.energiza.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=939:biomasa-en-la-uni%C3%B3n-europea) (accessed on 30 September 2021).
14. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE). Resultados Nacionales y Autonómicos. Available online: [www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/totalespanayccaa2020\\_tcm30-553610.pdf](http://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/totalespanayccaa2020_tcm30-553610.pdf) (accessed on 29 September 2021).
15. Unión por la Biomasa, por el Empleo, la Sostenibilidad y el Desarrollo Rural. Balance Socioeconómico de las Biomásas en España 2017–2021. Available online: [www.appa.es/wp-content/uploads/2018/08/Balance-Biomásas-Espa%C3%B1a-UNI%C3%93N-BIOMASA\\_vf.pdf](http://www.appa.es/wp-content/uploads/2018/08/Balance-Biomásas-Espa%C3%B1a-UNI%C3%93N-BIOMASA_vf.pdf) (accessed on 30 September 2021).
16. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). Evaluación del Potencial de Energía de la Biomasa—Estudio Técnico PER 2011–2020. Available online: [www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e14\\_biomasa\\_A\\_8d51bf1c.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e14_biomasa_A_8d51bf1c.pdf) (accessed on 30 September 2021).
17. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). Informe Estadístico de Energías Renovables. Available online: [www.informeestadistico.idae.es/t4.htm](http://www.informeestadistico.idae.es/t4.htm) (accessed on 30 September 2021).
18. Agencia Andaluza de la Energía. La Bioenergía en Andalucía. Available online: [www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/3\\_2\\_0068\\_20\\_LA\\_BIOENERGIA\\_EN\\_ANDALUCIA.PDF](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/3_2_0068_20_LA_BIOENERGIA_EN_ANDALUCIA.PDF) (accessed on 30 September 2021).
19. Pablo-Romero, M.; Sánchez-Braza, A.; Pérez, M. Incentives to promote solar thermal energy in Spain. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2013**, *22*, 198–208. [CrossRef]
20. Bouznit, M.; Pablo-Romero, M.D.P.; Sánchez-Braza, A. Measures to Promote Renewable Energy for Electricity Generation in Algeria. *Sustainability* **2020**, *12*, 1468. [CrossRef]
21. Berbel, J.; Posadillo, A. Review and Analysis of Alternatives for the Valorisation of Agro-Industrial Olive Oil By-Products. *Sustainability* **2018**, *10*, 237. [CrossRef]
22. Guerrero, M.C. La cultura del olivo: Aspectos distintivos en el cultivo del olivar entre la región de Umbria (Italia) y la provincia de Sevilla. *Espacio y Tiempo. Rev. Cienc. Hum.* **2012**, *26*, 75–101.
23. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Aceite de Oliva y Aceituna de Mesa. Available online: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/> (accessed on 30 September 2021).
24. European Commission. Communication from the Commission, Biomass Action Plan. In [COM (2005) 628 final], Brussels, Belgium, 7 December 2005. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0628:FIN:EN:PDF> (accessed on 30 September 2021).
25. European Commission. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament on an EU Forest Action Plan. In [COM (2006) 302 final], Brussels, Belgium, 15 June 2006. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0302:FIN:EN:PDF> (accessed on 30 September 2021).

26. European Commission. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament on the Biomass Action Plan Progress Report. In [COM (2009) 0192], Brussels, Belgium, 24 April 2009. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0192:FIN:EN:PDF> (accessed on 30 September 2021).
27. European Commission. Report from the Commission to the Council and the European Parliament, on Sustainability Requirements for the Use of Solid and Gaseous Biomass Sources in Electricity, Heating and Cooling. In [COM (2010) 0011 final], Brussels, Belgium, 25 February 2010. Available online: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6e598e2a-2655-4ae2-8c20-ef617d5bf3fd/language-en> (accessed on 30 September 2021).
28. European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank on Clean Energy for All Europeans. In [COM (2016) 860 final], Brussels, Belgium, 30 November 2016. Available online: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fa6ea15b-b7b0-11e6-9e3c-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-search> (accessed on 30 September 2021).
29. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía. Plan Director del Olivar Andaluz. Available online: [www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturaganaderiapescaydesarrollosostenible/consejeria/sobre-consejeria/planes/detalle/59239.html](http://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturaganaderiapescaydesarrollosostenible/consejeria/sobre-consejeria/planes/detalle/59239.html) (accessed on 29 September 2021).
30. European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on The European Green Deal. In [COM (2019) 640 final], Brussels, Belgium, 11 December 2019. Available online: [https://pdc.minambiente.it/sites/default/files/norme/com\\_2019\\_640\\_final.pdf](https://pdc.minambiente.it/sites/default/files/norme/com_2019_640_final.pdf) (accessed on 30 September 2021).
31. European Commission. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on Guidelines for Trans-European Energy Infrastructure and Repealing Regulation (EU) No 347/2013. In [COM (2020) 824 final], Brussels, Belgium, 15 December 2020. Available online: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/cc5ea219-3ec7-11eb-b27b-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-search> (accessed on 30 September 2021).
32. Directive, EU. Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the Promotion of Electricity Produced from Renewable Energy Sources in the Internal Electricity Market. *Off. J. Eur. Communities L* **2001**, *283*, 33–40. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001L0077&from=en> (accessed on 30 September 2021).
33. Directive, EU. Directive 2003/54/EC of the European Parliament and of the Council of 26 June 2003 Concerning Common Rules for the Internal Market in Electricity and Repealing Directive 96/92/EC—Statements Made with Regard to Decommissioning and Waste Management Activities. *Off. J. Eur. Communities L* **2003**, *176*, 37–55. Available online: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:caeb5f68-61fd-4ea8-b3b5-00e692b1013c.0004.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:caeb5f68-61fd-4ea8-b3b5-00e692b1013c.0004.02/DOC_1&format=PDF) (accessed on 30 September 2021).
34. Directive, EU. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. *Off. J. Eur. Communities L* **2009**, *140*, 16–62. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN> (accessed on 30 September 2021).
35. European Commission. Press Release Database. Europe Leads the Global Clean Energy Transition: Commission Welcomes Ambitious Agreement on Further Renewable Energy Development in the EU. Available online: [www.europa.eu/rapid/press-release\\_STATEMENT-18-4155\\_en.htm](http://www.europa.eu/rapid/press-release_STATEMENT-18-4155_en.htm) (accessed on 30 September 2021).
36. Directive, EU. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on Energy Efficiency, Amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and Repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. *Off. J. Eur. Communities L* **2012**, *315*, 1–56. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:en:PDF> (accessed on 30 September 2021).
37. Agencia Europea de Medio Ambiente. La Energía en Europa: Situación Actual. Available online: [www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2017-configuracion-del-futuro/articulos/la-energia-en-europa-situacion-actual](http://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2017-configuracion-del-futuro/articulos/la-energia-en-europa-situacion-actual) (accessed on 30 September 2021).
38. Berbel, J.; Gutiérrez-Martín, C.; La Cal, J.A. Valorización de los subproductos de la cadena del aceite de oliva. *Mediterr. Econ.* **2018**, *31*, 273–289.
39. García-Maraver, A.; Zamorano, M.; Ramos-Ridao, A.; Díaz, L.F. Analysis of olive grove residual biomass potential for electric and thermal energy generation in Andalusia (Spain). *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2012**, *16*, 745–751. [CrossRef]
40. European Commission. Trends in the EU Agricultural Land within 2015–2030. Available online: [www.ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/jrc113717.pdf](http://www.ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/jrc113717.pdf) (accessed on 30 September 2021).
41. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Aforo de Producción de Olivar en Andalucía—Campaña 2017/2018. Available online: [www.upa.es/upa/\\_depot/\\_documentos/c7bc45332b4137e1508760633.pdf](http://www.upa.es/upa/_depot/_documentos/c7bc45332b4137e1508760633.pdf) (accessed on 30 September 2021).
42. Boletín Oficial De Las Cortes Generales. *Plan Energético Nacional 1991–2000*. Congress of Deputies. 13 December **1991**, *169*, 5–245. Available online: [https://www.congreso.es/public\\_oficiales/L4/CONG/BOCG/E/E\\_169.PDF](https://www.congreso.es/public_oficiales/L4/CONG/BOCG/E/E_169.PDF) (accessed on 30 September 2021).
43. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000–2010. Available online: [www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_4044\\_PFER2000-10\\_1999\\_1cd4b316.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_4044_PFER2000-10_1999_1cd4b316.pdf) (accessed on 30 September 2021).
44. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). Plan de Energías Renovables 2005–2010. Available online: [www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_PER\\_2005-2010\\_8\\_de\\_gosto-2005\\_Completo.\(modificacionpag\\_63\)\\_Copia\\_2\\_301254a0.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_PER_2005-2010_8_de_gosto-2005_Completo.(modificacionpag_63)_Copia_2_301254a0.pdf) (accessed on 30 September 2021).

45. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). Plan de Energías Renovables 2011–2020. Available online: [www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_PER\\_2011-2020\\_def\\_93c624ab.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_PER_2011-2020_def_93c624ab.pdf) (accessed on 30 September 2021).
46. Castello, M.C.J.; Bermejo, J.A.R.; Labari, C.B.; Ortiz, M.P.M. Análisis de la Normativa Española Sobre La Biomasa Como Energía Primaria: Consecuencias de la Misma. *DYNA Energ. Sosten.* **2012**, *2*, 2–10.
47. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España—PANER 2011–2020. Available online: [www.mincotur.gob.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/20100630\\_PANER\\_Espanaversi%20final.pdf](http://www.mincotur.gob.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/20100630_PANER_Espanaversi%20final.pdf) (accessed on 30 September 2021).
48. Ministerio de Economía y Competitividad. Estrategia Española de Bioeconomía—Horizonte 2030. Available online: [www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/innovacion-medio-rural/estrategiaenbioeconomia23\\_12\\_15\\_tcm30-560119.pdf](http://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/innovacion-medio-rural/estrategiaenbioeconomia23_12_15_tcm30-560119.pdf) (accessed on 30 September 2021).
49. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. La Comisión de Expertos Sobre Transición Energética Entrega a Nadal su Informe Final—Nota de Prensa. Available online: [www.mincotur.gob.es/es-es/gabineteprensa/notasprensa/2018/documents/180402%20np%20informe%20comisi%C3%B3n%20expertos.pdf](http://www.mincotur.gob.es/es-es/gabineteprensa/notasprensa/2018/documents/180402%20np%20informe%20comisi%C3%B3n%20expertos.pdf) (accessed on 30 September 2021).
50. Spain. Law 40/1994, of December 30, on the Management of the National Electric System. *Official State Gazette*, 31 December 1994; 313, 39362–39386.
51. Spain. Law 54/1997, of November 27, on the Electric Sector. *Official State Gazette*, 28 November 1997; 285, 35097–35126.
52. Spain. Law 24/2013, of December 26, on the Electric Sector. *Official State Gazette*, 27 December 2013; 310, 105198–105294.
53. Spain. Royal Decree 2366/1994, of December 9, on production of electrical energy by hydraulic, cogeneration and other facilities, supplied by renewable energy sources. *Official State Gazette*, 31 December 1994; 313, 39595–39603.
54. Spain. Royal Decree 2818/1998, of December 23, on electric energy production facilities supplied by resources or sources of renewable energy, waste and cogeneration. *Official State Gazette*, 30 December 1998; 312, 44077–44089.
55. Spain. Royal Decree 436/2004, of March 12, on the methodology for updating and systematization of the legal and economic regime for the production activity of electric power under the special regime is established. *Official State Gazette*, 27 March 2004; 75, 13217–13238.
56. Spain. Royal Decree 661/2007, of May 25, regulating the production activity of electric power in special regime. *Official Gazette*, 26 May 2007; 126.
57. Spain. Royal Decree-Law 14/2010, of December 23, on the establishment of urgent measures to correct the electricity sector tariff deficit. *Official State Gazette*, 24 December 2010; 312, 106386–106394.
58. Spain. Royal Decree-Law 1/2012, of January 27, by which pre-allocation procedures for compensation are removed and economic incentives for new installations for the production of electricity from cogeneration, renewable energy sources and waste are eliminated. *Official State Gazette*, 28 January 2012; 24, 8068–8072.
59. Spain. Royal Decree-Law 2/2013, of February 1, on urgent measures in the electrical system and the financial sector. *Official State Gazette*, 2 February 2013; 29.
60. Spain. Royal Decree-Law 9/2013, of July 12, by which urgent measures are adopted to guarantee financial stability of the electrical system. *Official State Gazette*, 13 July 2013; 167.
61. Spain. Royal-Decree 413/2014, of June 6, on the regulation of production of electrical energy from renewable energy sources, cogeneration and waste. *Official State Gazette*, 10 June 2014; 140, 43876–43978.
62. Spain. Royal Decree 900/2015, of October 9, on the regulation of the administrative, technical and economic conditions of the modalities of electricity supply with self-consumption and production with self-consumption. *Official State Gazette*, 10 October 2015; 243, 94874–94917.
63. Spain. Royal Decree 947/2015, of October 16, of Resolution of the General Directorate of Energy Policy and Mines, by which a call is established for the granting of the specific remuneration regime to new installations for production of electricity from biomass at the peninsula’s electrical system and wind technology installations. *Official State Gazette*, 21 January 2016; 18, 5615–5618.
64. Spain. Royal Decree 359/2017, of March 31, of Resolution of the Secretary of State for Energy, by which a call is established for the granting of the specific remuneration regime to new installations for the production of electrical energy from renewable energy sources in the peninsular electrical system. *Official State Gazette*, 12 April 2017; 87, 29596–29622.
65. Sevilla Jiménez, M.; Golf Laville, E.; Driha, O. Las energías renovables en España. *Estud. Econ. Apl.* **2013**, *31*, 35–58. [[CrossRef](#)]
66. Spain. Royal Decree 314/2006, of March 17, by which the Technical Building Code is approved. *Official State Gazette*, 28 March 2006; 74.
67. Spain. Royal Decree-Law 7/2006, of June 23, by which urgent measures are adopted in the energy sector. *Official State Gazette*, 24 June 2006; 150, 23979–23983.
68. Esencia de Olivo: Cultura del Aceite de Oliva Virgen Extra. Zonas Productoras en España. Available online: [www.esenciadeolivo.es/aceite-de-oliva/aceite-de-oliva-en-espana/zonas-productoras-en-espana/](http://www.esenciadeolivo.es/aceite-de-oliva/aceite-de-oliva-en-espana/zonas-productoras-en-espana/) (accessed on 30 September 2021).
69. Menéndez, J.A.; Fernández-Tresguerres, L.G.; Villanueva, S.F.; Durán, M.; Montes Morán, M.A.; Arenillas de la Puente, A. Report on the availability of Biomass Sources in Spain: Vineyards and olive groves. *Digit. CSIC* **2018**, *2–9*. [[CrossRef](#)]
70. Manzanares-Secades, P.; Ruiz-Ramos, E.; Ballesteros-Perdices, M.; Negro, M.J.; Gallego, F.J.; López-Linares, J.C.; Castro-Galiano, E. Residual biomass potential in olive tree cultivation and olive oil industry in Spain: Valorization proposal in a biorefinery context. *Span. J. Agric. Res.* **2017**, *15*, 6.

71. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía. Medio Ambiente en Andalucía. Informe 1994. pp. 119–124. Available online: [www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/ima/1994/ima94\\_ret.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/ima/1994/ima94_ret.pdf) (accessed on 1 October 2021).
72. Consejería de Empleo y Desarrollo Tecnológico de la Junta de Andalucía. Plan Energético de Andalucía 2003–2006. Available online: [www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/1129906106388\\_plean2003-20061.pdf](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/1129906106388_plean2003-20061.pdf) (accessed on 1 October 2021).
73. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía. Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética 2007–2013. Available online: [www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/2\\_pasener\\_2007-2013\\_documento\\_completo.pdf](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/2_pasener_2007-2013_documento_completo.pdf) (accessed on 1 October 2021).
74. Consejería de Empleo, Empresa y Comercio de la Junta de Andalucía. Estrategia Energética de Andalucía 2020. Available online: [www.agenciaandaluzadelaenergia.es/EEA/files/assets/basic-html/index.html#1](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/EEA/files/assets/basic-html/index.html#1) (accessed on 1 October 2021).
75. Agencia Andaluza de la Energía. Info-ENERGÍA. Available online: [www.agenciaandaluzadelaenergia.es/info-web/principalController#](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/info-web/principalController#) (accessed on 1 October 2021).
76. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía. Estrategia Andaluza de Bioeconomía Circular. Available online: [www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Estrategia\\_Andaluza\\_Bioeconomia\\_Circular\\_EABC\\_18.09.2018.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Estrategia_Andaluza_Bioeconomia_Circular_EABC_18.09.2018.pdf) (accessed on 30 September 2019).
77. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía. Plan Estratégico para la Agroindustria de Andalucía Horizonte 2020. Available online: [www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Propuesta\\_Plan\\_Agroindustria\\_Andaluza\\_Horizonte\\_2020\\_2017\\_11\\_30.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Propuesta_Plan_Agroindustria_Andaluza_Horizonte_2020_2017_11_30.pdf) (accessed on 14 September 2019).
78. Andalusia. Law 2/2007, of March 27, to promote renewable energies, energy savings and efficiency. *Official Gazette of the Junta de Andalusia*, 10 April 2007; 70.
79. Andalusia. Decree 169/2011, of May 31, regulation of the Promotion of Renewable Energies, Energy Saving and Efficiency approved in Andalusia. *Official Gazette of the Junta de Andalusia*, 9 June 2011; 112.
80. Andalusia. Law 5/2011, of October 6, on the olive groves of Andalusia. *Official Gazette of the Junta de Andalusia*, 19 October 2011; 205.
81. Andalusia. Decree 103/2015, of March 10, the Olive Grove Master Plan is approved. *Official Gazette of the Junta de Andalusia*, 19 March 2015; 54.
82. Andalusia. Law 8/2018, of October 8, measures against climate change and for the transition to a new energy model in Andalusia. *Official Gazette of the Junta de Andalusia*, 15 October 2018; 199.
83. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía. Actuaciones de la Junta de Andalucía en Cambio Climático/COP21. Available online: [www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.30d4b35a97db5c61716f2b105510e1ca/?vgnextoid=355466afc1141510VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=4c770f000a421510VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextfmt=portalwebSinMenu](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.30d4b35a97db5c61716f2b105510e1ca/?vgnextoid=355466afc1141510VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=4c770f000a421510VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextfmt=portalwebSinMenu) (accessed on 3 September 2019).
84. Ayuntamiento de Sevilla. Plan de Acción por el Clima y la Energía Sostenible (PACES). Available online: [www.sevilla.org/servicios/economia/agencia-energia-sostenibilidad/documentos/paces-2016-aprobado.pdf](http://www.sevilla.org/servicios/economia/agencia-energia-sostenibilidad/documentos/paces-2016-aprobado.pdf) (accessed on 13 March 2020).
85. Europa Press. Junta y Gobierno Constituyen la Sociedad Andaluza para la Valorización de la Biomasa “Pionera en Europa”. Available online: [www.europapress.es/andalucia/innova-00232/noticia-innova-junta-gobierno-constituyen-sociedad-andaluza-valorizacion-biomasa-pionera-europa-20061101160415.html](http://www.europapress.es/andalucia/innova-00232/noticia-innova-junta-gobierno-constituyen-sociedad-andaluza-valorizacion-biomasa-pionera-europa-20061101160415.html) (accessed on 18 September 2019).
86. Andalusia. Order of 4 February 2009, on Incentive Program for the Sustainable Energy Development in Andalusia 2009 “Andalusia A +”. *Official Gazette of Junta de Andalusia*, 13 February 2009; 30.
87. Andalusia. Royal Decree-Law 1/2014, of March 18, on Program to Promote Sustainable Construction in Andalusia. *Official Gazette of Junta de Andalusia*, 26 March 2014; 58.
88. Andalusia. Order of 23 December 2016, on Program of Incentives for the Sustainable Energy Development of Andalusia 2020. “Andalusia is more”. *Official Gazette of Junta de Andalusia*, 30 December 2016; 249.
89. Fundación Para la Eficiencia Energética. Crece en Andalucía el Consumo de Biomasa en el Sector Residencial. Available online: [www.eseficiencia.es/2016/09/07/crece-en-andalucia-el-consumo-de-biomasa-en-el-sector-residencial](http://www.eseficiencia.es/2016/09/07/crece-en-andalucia-el-consumo-de-biomasa-en-el-sector-residencial) (accessed on 3 September 2019).
90. Agencia Andaluza de la Energía. Estrategia Energética de Andalucía 2020. Plan de Acción 2016–2017. Available online: [www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/documentos/plan\\_de\\_accion\\_2016-2017.pdf](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/documentos/plan_de_accion_2016-2017.pdf) (accessed on 3 September 2019).
91. Marquina, J.; Colinet, M.J.; Pablo-Romero, M.D.P. The economic value of olive sector biomass for thermal and electrical uses in Andalusia (Spain). *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2021**, *148*, 111278. [CrossRef]
92. Algieri, A.; Andiloro, S.; Tamburino, V.; Zema, D.A. The potential of agricultural residues for energy production in Calabria (Southern Italy). *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2019**, *104*, 1–14. [CrossRef]
93. Spinelli, R.; Magagnotti, N.; Nati, C.; Cantini, C.; Sani, G.; Picchi, G.; Biocca, M. Integrating olive grove maintenance and energy biomass recovery with a single-pass pruning and harvesting machine. *Biomass Bioenergy* **2011**, *35*, 808–813. [CrossRef]
94. Alatzas, S.; Moustakas, K.; Malamis, D.; Vakalis, S. Biomass Potential from Agricultural Waste for Energetic Utilization in Greece. *Energies* **2019**, *12*, 1095. [CrossRef]
95. Dounavis, A.S. Techno-economic analysis of the olive oil mills waste valorization for energy production: A case study of Corfu. *Environ. Res. Eng. Manag.* **2019**, *75*, 18–29. [CrossRef]

- 
96. Chen, J.; Zhang, B.; Luo, L.; Zhang, F.; Yi, Y.; Shan, Y.; Liu, B.; Zhou, Y.; Wang, X.; Lü, X. A review on recycling techniques for bioethanol production from lignocellulosic biomass. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2021**, *149*, 111370. [[CrossRef](#)]
  97. Jiang, P.; Van Fan, Y.; Klemesš, J.J. Impacts of COVID-19 on energy demand and consumption: Challenges, lessons and emerging opportunities. *Appl. Energy* **2021**, *285*, 116441. [[CrossRef](#)]





# The economic value of olive sector biomass for thermal and electrical uses in Andalusia (Spain)

Jesús Marquina, María José Colinet, María del P. Pablo-Romero\*

Department of Economic Analysis and Political Economy, Faculty of Economics and Business Sciences, University of Seville, Ramon y Cajal 1, 41018, Seville, Spain

## ARTICLE INFO

### Keywords:

Renewable energy  
Biomass  
Bioeconomy  
Olive sector  
Energy potential  
Value chain  
Spain  
Andalusia

## ABSTRACT

Olive sector residues could contribute to increased use of renewable energies, especially in those areas where the olive crop is produced. This paper determines the maximum amount of electrical and thermal energy which could be obtained in Andalusia from olive sector residues, and the economic value that could be obtained from these energy uses. For this, the current data on installed power and electrical and thermal generation are compared with the calculated potential data which would be obtained at full capacity. The results show there is a 69.23% wastage of olive sector residues for energy purposes. Thus, using the resources at full capacity, 3.9 million tons of biomass per year could be obtained for energy purposes. Currently, only 2 million tons of biomass are used for energy purposes. This wastage translates into a below potential generation of electrical and thermal energy. The full use of these residues would allow 83.9% and 64.9% higher generation of electrical and thermal energy, respectively. The results obtained also show that the economic value of olive sector biomass is higher than the market price value, with the average values for each use being 248.20 €/t for domestic thermal use, 165.04 €/t for electrical use and 139.50 €/t for industrial thermal use. Thus, it is considered feasible that the olive sector biomass could be used to a greater degree than at present. In this sense, it is recommended that more electricity generation plants and thermal-generating systems be put into operation.

## 1. Introduction

Traditionally, the evolution of the global economy has been dominated by a linear model of production and consumption. This model is based on the manufacture of products from raw materials that are subsequently sold, used, and then discarded as waste residues [1]. The bioeconomy aims to change this scenario. For this, a new economic model is established, based on improving the use of residues in a sustainable manner [2]. In the European Union (EU), this objective is included in the Horizon 2020 Programme, where a series of measures are established to promote the bioeconomy, especially in rural areas [3, 4].

The bioeconomy offers various environmental benefits, among which are emphasized the reduction of greenhouse gas emissions (GHG), a decrease in dependence on fossil resources, smarter management of natural resources and greater food security [2]. In this way, the bioeconomy is considered a key pillar of strategic innovation within the EU [5]. An economy founded on biomass, instead of fossil fuels, represents a significant change in socioeconomic, agricultural, energy and technical systems [2]. In Europe, biomass is made up of residues from various

economic activities, such as: agriculture, forestry, urban waste management (solids and liquids) and food waste [5]. Biomass from agricultural activities is particularly relevant as a key raw material for European bioenergy. This is due to the plentiful residues and waste that those activities generate [5]. Among the main residues from agricultural activities, those from the olive sector stand out.

Consequently, the importance of the use of by-products from the olive sector, as an alternative to fossil energy, has aroused great interest among the scientific community. Proof of this is provided by the reviews on the potential use of by-products from the sector [6–8]. Most of these studies focus on Mediterranean countries, where the presence of this crop is plentiful. Therefore, an adequate use of olive sector by-products would allow effective implementation of the concept of bioeconomy, established by the EU [9]. However, olive sector by-products have other bioeconomy alternatives to those for energy purposes, such as the production of animal feed [10]. These reviews demonstrate the high value of olive sector residues.

Therefore, the main focus of this paper is on olive biomass, as an energy source, which has great value to launch the bioeconomy model. It is thus worth highlighting the relevance of this agro-food sector for the areas where the crop is grown, especially in the EU, where the olive

\* Corresponding author.

E-mail addresses: [jmarquinadeloassa@gmail.com](mailto:jmarquinadeloassa@gmail.com) (J. Marquina), [mjcolinet@gmail.com](mailto:mjcolinet@gmail.com) (M.J. Colinet), [mpablolorom@us.es](mailto:mpablolorom@us.es) (M.P. Pablo-Romero).

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111278>

Received 24 June 2020; Received in revised form 25 May 2021; Accepted 26 May 2021

Available online 31 May 2021

1364-0321/© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.