

DT-SEHA n. 1702

Junio de 2017

www.seha.info

**LAS BIOENERGÍAS EN ESPAÑA.
UNA SERIE DE PRODUCCIÓN, CONSUMO Y STOCKS
ENTRE 1860 Y 2010**

Juan Infante-Amate* e Iñaki Iriarte-Goñi**

S E H A

* Universidad Pablo de Olavide

Contacto: jinfama@upo.es

* Universidad de Zaragoza

Contacto: iiriarte@unizar.es

© Junio de 2017, Juan Infante-Amate e Iñaki Iriarte-Goñi

ISSN: 2386-7825

Resumen

Este documento es la base metodológica y estadística de una nueva serie de consumo de bioenergías en España entre 1860 y 2010. En el caso de las bioenergías leñosas, que han representado históricamente la mayor parte del consumo, estimamos también la producción primaria, la apropiación, el stock y el tipo de uso final. Se distingue el origen de la producción y el consumo de la biomasa leñosa entre forestal, olivar, viña y otros frutales y se realizan desagregaciones regionales a nivel de partido judicial entre 1860 y 1960. La serie final de consumo de bioenergía se presenta tanto en energía primaria (distinguiendo el tipo de fuente energética) y de energía final (distinguiendo el portador energético). Los principales resultados indican que: i) el consumo fue mayor que el estimado en otros trabajos hasta la fecha; ii) pueden observarse cuatro fases en el consumo de bioenergías: caída (1860-1913), vuelta a la leña (1913-1955), rápida caída, sobre todo, por el abandono de la leña forestal (1955-1980) y vuelta a las bioenergías desde 1980; iii) entre 1860 y 1960 se detectan fuertes disparidades regionales entre zonas con consumos de apenas $1 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y otras que casi alcanzaron los $5 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$; iv) en el suministro de bioenergías, la geografía también explica el tipo de producto consumido: en las zonas mediterráneas del país fue ganando peso el consumo de los residuos de cultivos leñosos, como el olivar, la viña y otros frutales, que se expandieron en muchas ocasiones sobre superficies forestales; y v) los stocks de biomasa leñosa se han multiplicado de forma sin precedentes desde mediados del siglo XX debido al abandono del monte, la introducción de especies de crecimiento rápido y la relocalización a zonas más productivas.

Palabras claves: Transición Energética, Bioenergías, Leña, Historia Forestal, Historia Ambiental, Stocks de Carbono

Abstract

This paper presents the methodological and statistical basis of a new data series of Spain's bioenergy consumption between 1860 and 2010. We have estimated the primary production, appropriation, and the type of final use of all woody biomass, which represents the most consumed bioenergy. The series distinguishes the production source, including forests, olives, vineyards, and the rest of woody fruit orchards, as well as regional disaggregation at *partido judicial* level (425 in Spain) between 1860 and 1960. The bioenergy consumption series is represented both in primary (by energy source) and final (by energy carrier) energy. Our findings point out that i) consumption was higher than traditionally assumed in the previous literature; ii) there are four major phases in the period, including a slow decline from 1860 to 1914, a return to firewood with a small increase until 1955, a rapid decline from then to 1980, and finally, a return to bioenergies (with modern uses) from 1980 to the present; iii) there are strong regional disparities in firewood consumption between 1860 and 1960, ranging from 1 to $5 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$; iv) in the supply of bioenergies, geography also explains the type of product consumed: in Mediterranean provinces, woody crop-based consumption gained prominence, as they expanded over traditional forest areas; and v) stock of woody biomass has multiplied unprecedently since the mid-20th Century due to the abandonment of forestlands, the introduction of fast-growing species, and the optimal geographical allocation.

Key-words: Energy Transition, Bioenergies, Firewood, Forestry History, Environmental History, Carbon Stocks

JEL CODES: N50, O13, Q42, Q57

Índice

Índice.....	1
Abreviaturas utilizadas.....	2
Prefacio y agradecimientos.....	3
1. Introducción. Planteamiento del problema y objetivos del trabajo	5
2. ¿Qué flujos incluye esta serie? Límites del estudio	7
2.1. Flujos de biomasa leñosa	8
2.2. Stocks leñosos	9
2.3. Flujos de consumo de bioenergías	10
3. Metodología y fuentes.....	13
3.1. Flujos de producción y apropiación de biomasa	14
3.1.1. Forestal.....	14
3.1.2. Cultivos leñosos	15
3.2. Consumo de leña para usos energéticos	16
3.2.1. Consumo de leña entre 1860 y 1960.....	16
3.2.2. Consumo de leña desde 1960	27
3.3. Stocks de biomasa leñosa.....	30
3.4. Resto de bioenergías	32
3.4.1. Otras biomosas como fuente de energía primaria.....	32
3.4.2. Usos finales de las bioenergías.....	35
4. Resumen de resultados.....	35
4.1. Producción y apropiación de leña	35
4.2. Consumo de leña.....	41
4.3. Consumo de bioenergías.....	49
4.4. Stocks leñosos	54
5. Conclusiones.....	63
Anexo 1. Factores de conversión usados	66
Anexo estadístico.....	67
Bibliografía	82

Abreviaturas utilizadas

BE	Consumo de bioenergías
BECR	Consumo de bioenergías de residuos de cultivos no leñosos
BENW	Consumo bioenergías no leñosas
BEW	Consumo de bioenergías leñosas
EIA	Energy Information Administration
GEI	Gases de efecto invernadero
GJ	Gigajulios
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
IEA	International Energy Agency
IFN	Inventario Forestal Nacional
Mg	Megagramos
Mt	Millones de toneladas
PJ	Petajulios
S	Stock de biomasa leñosa
ΔS	Variación del stock de biomasa leñosa
Tg	Teragramos
TJ	Terajulios
UIW	Consumo de bioenergías de residuos urbanos e industriales
Vcc	Volumen con corteza
WBA	Apropiación de biomasa leñosa
WBP	Producción de biomasa leñosa
WBR	Reciclaje de biomasa leñosa
WBU	Uso socio-económico de biomasa leñosa

Prefacio y agradecimientos

Este texto es la síntesis metodológica y de resultados de un proyecto de investigación que tenía como objetivo estimar el consumo de bioenergías en España entre 1860 y 2010. En el invierno de 2010, en un seminario sobre historia ambiental celebrado en la Fundación Fernando el Católico, en Zaragoza, los autores de estas páginas concluyeron que era necesario revisar las series históricas de consumo de leña, introduciendo aquella derivada de las superficies leñosas cultivadas, no incluidas en las series publicadas hasta la fecha. Una vez que empezamos la estimación, nos dimos cuenta de que el trabajo quedaría a medias si no abordábamos también una reconstrucción fiable de las series de consumo de leña de origen forestal. Aunque en este caso sí contábamos con estimaciones previas, sus cálculos estaban basados en supuestos bastante genéricos. Dicho de otra forma, no tenía sentido hacer una estimación de detalle que cubriera solo la mitad del relato mientras que la otra parte seguía sosteniéndose sobre fundamentos precarios.

La reestimación de las series forestales hizo que nos adentrásemos en una tarea de gran complejidad (son bien conocidas las limitaciones de las estadísticas de montes en España), que nos obligó a desarrollar un modelo que se fue complicando y que incluyó otras estimaciones inéditas como la de los usos de suelo forestales por tipo de aprovechamiento o de su productividad leñosa a nivel provincial desde 1900, publicada en Infante-Amate et al. (2014). Sin embargo, esa serie seguía sin ser una serie de consumo y, además, no proporcionaba información anual, solo cortes decenales. En el III Seminario de la Sociedad Española de Historia Agraria, celebrado en Madrid, en 2014, presentamos un primer borrador que planteaba algunas hipótesis iniciales para estimar, con los datos disponibles de producción leñosa e incluyendo ciertos supuestos por el lado de la demanda, una serie anual de consumo tomando como punto de partida 1860 (Iriarte-Goñi e Infante-Amate, 2014). A medida que avanzamos con la estimación, y sobre todo al abordar los años más recientes de la serie, observamos que otras bioenergías no leñosas (residuos de cultivos herbáceos, residuos urbanos...) podían llegar a suponer una parte muy importante del consumo total de bioenergías. Este nuevo hecho nos empujó a otro nuevo reto: incluir en la serie todas las bioenergías consumidas, habida cuenta de que el relato derivado sería muy diferente al obtenido si considerábamos solo la leña, sobre todo en las últimas décadas del siglo XX. Las estimaciones de producción, apropiación y consumo de leña, a su vez, nos empujaron a calcular la evolución del stock leñoso. Esta estimación era un punto de validación para el resto de estimaciones, pero también nos permitía aportar evidencias de un indicador inédito para el caso de España en perspectiva histórica con amplio potencial para mediar en importantes debates sobre temas ambientales.

En otras palabras, lo que se proyectó como una colaboración puntual para estimar el consumo de leña de cultivos terminó convirtiéndose en un proyecto de largo plazo que ha derivado en una modelización de los flujos de biomasa leñosa en todo el país en los últimos 150 años, distinguiendo tipos de biomasa y desagregando algunos indicadores hasta el nivel de partido judicial. En todo este largo proceso, hemos contado con la ayuda de muchos colegas sin cuya ayuda no podríamos haber concluido la serie que presentamos más abajo. La modelización de los flujos de biomasa (Figura 1) debe mucho a los debates que desde 2012 han tenido lugar en torno al proyecto *Sustainable Farm Systems* (SSHCR, Canadá), dirigido por Geoff Cunfer. La parte de la producción

leñosa se deriva de una colaboración que cobró forma en el contexto de un proyecto mucho más amplio dentro del Laboratorio de Historia de los Agroecosistemas (Universidad Pablo de Olavide) que trata de reconstruir los indicadores del metabolismo agrario español desde 1900 hasta 2010. En ambos casos agradecemos especialmente los comentarios y la ayuda de David Soto, Manuel González de Molina, Gloria Guzmán y Roberto García. En especial los de Eduardo Aguilera que, junto con Simone Gingrich, ha ayudado a perfilar las estimaciones de los stocks de carbono. Los resultados, aún inéditos, se han presentado en varios encuentros científicos que hemos organizado y compartido con varios colegas cuyas aportaciones han sido determinantes para completar esta investigación. Estamos especialmente agradecidos a Isabel Bartolomé, Manuel González Mariscal, Roberto Granados, Javier Hernando, Gonzalo Madrazo, Omar Masera, Wilson Picado, Enric Tello, Paul Warde y Tom Williamson, que han contribuido de diferentes maneras a que este trabajo vea la luz. Versiones preliminares del mismo se han presentado en el Rural History Conference (Berna, 2013), II World Congress of Environmental History (Guimaraes, 2014) y en el Workshop “La leña en la transición industrial” (Carmona, 2015), además de en los encuentros citados más arriba. También ha contado con la financiación del Social Science and Humanities Council of Canada (Proyecto “Sustainable Farm Systems”), del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (Proyecto “Sustainable Farm Systems?”) y del Ministerio de Ciencia e Innovación (Proyecto “La integración de la economía internacional”).

1. Introducción. Planteamiento del problema y objetivos del trabajo

La leña ha representado en la mayor parte de territorios del mundo y durante la mayor parte de la historia de la humanidad el producto energético más consumido (Smil, 1994). La transición energética hacia los combustibles fósiles hizo que su presencia fuese cada vez menor en los países en los que ésta tuvo lugar, al menos en términos relativos (v.gr. Grubler, 2012; Kander et al., 2014). Por ello, la mayor parte de la investigación sobre historia de la energía, que ha ocupado un lugar dominante en la última década, así como las principales series estadísticas energéticas, dejaron durante mucho tiempo a la leña en particular, y a las bioenergías en general, fuera de sus análisis y de sus recopilaciones estadísticas.

En los últimos años ha habido un renovado interés por su papel en la transición a las economías industriales, principalmente derivado del creciente auge de nuevos usos de la biomasa, alentados tras las crisis energéticas de la década de 1970 (v.gr. Smil, 1983). En cualquier caso, no ha sido hasta hace poco cuando se ha realizado la primera estimación en detalle sobre el uso de bioenergías a escala global en el largo plazo (Fernandes et al., 2007). Para el caso español aún no contamos con una serie de consumo satisfactoria, algo explicable por la pobre calidad de las fuentes disponibles hasta las últimas décadas del siglo XX¹. Algunos trabajos han aportado estimaciones para el caso de la leña dentro de investigaciones más amplias, basando las series de consumo en asunciones genéricas como un consumo por habitante estable o en una relación con la producción de los montes de utilidad pública para los que sí hay información disponible (Rubio, 2005; Iriarte-Goñi, 2013). Otros trabajos han ofrecido datos sobre la producción primaria o la extracción de leña, incluyendo desagregaciones provinciales y tipo de biomasa leñosa utilizada (Infante-Amate et al., 2014). Sin embargo, el consumo de leña no está necesariamente determinado por la extracción de la misma y, mucho menos, por la producción. Como detallaremos abajo, una parte de la producción primaria ni siquiera es apropiada por el hombre y, de ella, solo otra parte se consume para energía (sobre flujos de biomasa, ver Krausmann et al., 2008).

Si el conocimiento sobre el consumo de leña es escaso en la historiografía española, el de bioenergías en su conjunto, esto es, el de biomasa utilizada con fines energéticos, es mucho más precario, ya que no contamos con ninguna estimación de largo plazo.²

El principal objetivo de este trabajo es cubrir las lagunas antes citadas y aportar una serie de consumo de bioenergías en el último siglo y medio, desde 1860 hasta 2010. En el apartado siguiente detallamos qué flujos se incluyen en nuestra reconstrucción que, además de ser una serie agregada de consumo de bioenergías, aporta detalles geográficos a nivel de partido judicial para varios años entre 1860 y 1960. También distinguimos los tipos de biomasa consumida (leñosa forestal, leñosa de cultivos, otros residuos...), así como el tipo de energía (primaria y final) según su forma de consumo. Habida cuenta de que la biomasa leñosa es la parte más importante de nuestra estimación, hemos dedicado a ella los principales esfuerzos, combinando un modelo que incluye variables de oferta (disponibilidad de leña) y de demanda (clima, potencial

¹ Para mayor detalle sobre los problemas de la estadística forestal española ver: GEHR, 1994, 2002; 2003; Barciela et al., 2005; Infante-Amate et al., 2014.

² Dedicamos la sección siguiente a detallar el tipo de flujos incluidos en este trabajo, así como una definición de los límites de cada uno.

de sustitución por energías modernas³...). De esta forma, esta investigación ha requerido una estimación de los flujos totales de biomasa leñosa (producción, apropiación, stocks y uso) que se detallan también en el siguiente apartado.

¿Cuáles son los objetivos de este trabajo? O, dicho de otra forma, ¿por qué es necesaria una serie revisada y detallada del consumo de bioenergías? La reconstrucción de la serie que presentamos tiene potencial para participar en varios debates historiográficos o socio-ecológicos de actualidad:

i) La transición energética. La llegada de los combustibles fósiles hizo palidecer el espacio que la leña ocupaba como fuente de energía. Sin embargo, hasta bien entrado el siglo XX, el peso de las energías modernas fue todavía poco significativo, en comparación a lo que ocurría en otros países europeos y a lo que ocurriría a partir de 1960 en España (Carpintero, 2005; Rubio, 2005; Infante-Amate et al., 2015). Nuestra serie, que incluye, además de la leña forestal, aquella proveniente de cultivos y otras bioenergías, presenta un consumo mayor al de series anteriores, lo que puede alterar en esos años el ritmo de la transición a las energías modernas. También puede alterar otros indicadores derivados, muy recurrentes en trabajos sobre historia de la energía o economía de la energía, como los de intensidad energética (relacionando PIB y consumo de energía).

ii) La caja negra de la transición energética. Al aportar detalle geográfico y tipo de biomasa utilizada, queremos abrir la caja negra de la transición energética. Nuestra hipótesis, ya sugerida en otros trabajos (Infante-Amate et al., 2014), es que, medida en unidades energéticas, la transición pudo tener lugar a finales del XIX o principios del XX. Sin embargo, esto se debió a la gran cantidad de carbón que consumieron algunos sectores específicos (la siderurgia, por ejemplo) y algunos territorios (País Vasco o Asturias, por ejemplo). De esta forma, buena parte del país siguió dependiendo de la leña hasta mucho después. Igualmente, muchos grupos sociales dependieron hasta más tarde de las energías tradicionales o las combinaron con las modernas. El detalle de nuestra serie permite comprender mejor que el proceso de transición no fue homogéneo o lineal.

iii) La transición bioenergética. Habitualmente, cuando se habla de leña, se habla de energías tradicionales que fueron sustituidas por las energías modernas (generalmente fósiles). Sin embargo, en las últimas décadas del siglo XX, la leña, así como otro tipo de biomasa, se utiliza con tecnologías modernas y para usos diversos como la generación de biocarburantes, biogás o electricidad... (Goldemberg y Coelho, 2004). La biomasa puede ser, también, una energía moderna. Y tales usos modernos conviven con usos tradicionales como, por ejemplo, la combustión de leña en una chimenea. No se ha teorizado aún sobre esta transición en el largo plazo y creemos que este trabajo es una buena oportunidad para dibujar esa transición, la bioenergética, dentro de una transición energética más amplia.

iv) Culturas materiales de la energía. En los últimos años está cobrando creciente interés el estudio de las culturas materiales dentro de la historiografía. Aunque como

³ A lo largo del trabajo hablaremos indistintamente de “energías modernas” o “nuevas energías” para referirnos a nuevos *energy carriers*, como los combustibles fósiles, así como a usos recientes de cualquier tipo de energía, por ejemplo, el reciente uso de bioenergías con nuevas tecnologías (Goldemberg y Coelho, 2004).

sostiene Frank Trentman (2009), estos estudios tienen más de cultural que de material, lo cierto es que existe un nuevo *giro material* en la historia que ha vuelto a poner el foco en los procesos materiales de apropiación, distribución y uso de objetos o, en términos más amplios, de materiales. Dentro de la historia económica y ambiental se ha puesto de manifiesto, tomando la idea *braudeliana* de civilización material o relejendo a Scott en clave biofísica, que las formas cotidianas de subsistencia, ajenas al mercado, tuvieron un papel explicativo muy fuerte hasta bien entrado el siglo XX entre muchos grupos sociales. La leña es un buen ejemplo de ello (Infante-Amate, 2014; Infante-Amate y Williamson, en revisión; Williamson y Warde, 2014). Su reconstrucción nos informará sobre cuáles fueron las vías de sustento energético tradicional en un tiempo de transición energética industrial.

v) Presión sobre los ecosistemas. La preocupación sobre asuntos energéticos es también una preocupación ambiental. En un contexto futuro de creciente escasez de combustibles fósiles, la vuelta a la biomasa como fuente energética está en el centro de la agenda política y académica. Sin embargo, su disponibilidad está limitada por la superficie terrestre y su capacidad productiva (v.gr. Haberl et al., 2011). Cuando la apropiación excede o se acerca a la producción primaria, generamos problemas ambientales, como la deforestación o las pérdidas de biodiversidad, al limitar la biomasa disponible para otras especies o microorganismos (v.gr. Haberl et al., 2007). Nuestro trabajo reconstruye, en el caso de la leña, la producción primaria, la apropiación y el consumo energético, lo que nos permite conocer mejor los niveles de presión ejercidos sobre los ecosistemas que, por otro lado, son los que condicionarán en el futuro nuestra capacidad para utilizar bioenergías. La historia es un vasto laboratorio que nos permite comprender con mayor profundidad problemáticas ambientales actuales.

vi) Cambio climático. En relación con el punto anterior, la reconstrucción del consumo de bioenergías nos informa indirectamente de los flujos de gases de efecto invernadero (GEI) antropogénicos, lo que supone una base fundamental para conocerlos mejor. Muchas series aportan información sobre los gases GEI en el país para ver su evolución o para ponerlo en relación con otros indicadores como el PIB. El uso energético de la biomasa conlleva también emisiones que han de ser estimadas correctamente para que las series agregadas de GEI sean fiables. De hecho, éste fue el objetivo principal del trabajo de Fernandes et al. (2007), que proporciona la estimación más detallada sobre consumo de bioenergías a escala global en el largo plazo hasta la fecha.

2. ¿Qué flujos incluye esta serie? Límites del estudio

Los análisis de energía, más aún en el largo plazo, constituyen una formidable ceremonia de la confusión derivada de la diversidad de flujos considerados en cada estimación, así como de los procedimientos metodológicos utilizados para estimarlos. A veces, las series de energía incluyen la energía destinada a consumo humano y animal (v.gr. Kander et al., 2014); otras veces, esta se excluye (Smil, 1994; Grubler, 2012). En ocasiones, se ofrece información de la energía final (Kander et al., 2014), mientras que otras veces aparece en forma de energía primaria (Krausmann et al., 2009). Y en esta

disparidad, los factores de conversión utilizados no siempre son los mismos, bien por cuestiones técnicas (por ejemplo, al considerar diferente densidad en un portador energético dado), o bien por otro tipo de problemas (por ejemplo, al convertir a energía primaria la electricidad generada por ciertas fuentes energéticas). En este apartado resumimos los límites de nuestro estudio y los flujos considerados.

2.1. Flujos de biomasa leñosa

La leña representa el principal ítem en el consumo de bioenergías en España. Dado que la información disponible sobre la misma es muy limitada, cuando no inexistente, para períodos anteriores a 1960, la mayor parte de nuestros esfuerzos se han centrado en esta estimación: el consumo de leña hasta 1960. Como detallaremos en el apartado siguiente (metodología y fuentes), buena parte de la misma se ha realizado combinando un modelo que integra variables de oferta y de demanda. Antes de estimar la cantidad de leña consumida para fines energéticos, hemos estimado la oferta. En concreto, hemos cuantificado:

i) Producción de Biomasa Leñosa (WBP)⁴. Se define la Producción Primaria Neta (NPP) como la cantidad de materia -habitualmente mediada en carbono o en unidades energéticas- producida (o asimilada) por las plantas en un período de tiempo dado, generalmente un año (más detalles en Haberl et al., 2007). En este trabajo definimos la WBP como aquella parte de la NPP producida en las partes leñosas de las plantas. Nótese que no estimamos la NPP total de las plantas leñosas, ya que no incluimos la biomasa no leñosa (hojas, frutos...).

ii) Apropiación de Biomasa Leñosa (WBA). Una parte de la WBP es apropiada anualmente por el hombre mientras que el resto se acumula en las estructuras leñosas (ΔS). Existen muchas controversias a la hora de considerar los límites de la apropiación en estudios que cuantifican la NPP (Haberl et al., 2007, difiere de Vitouseck, 1986), así como en estudios de flujos de energía (v.gr. Guzmán y González de Molina, 2015; Tello et al., 2016). En este trabajo entendemos por apropiación toda biomasa extraída por el hombre y que, por tanto, no se acumula en el stock leñoso. Así pues, se podría decir que, para cada año t :

$$WBP_t = WBA_t + \Delta S_t \quad [1]$$

Nótese que la WBA puede ser mayor que el WBP, en cuyo caso la ΔS sería negativa. Este es el ejemplo clásico de un proceso de deforestación en el que un año se apropia una cantidad de biomasa leñosa muy superior a la producida anualmente.

iii) Biomasa Leñosa Usada (WBU). De la biomasa apropiada solo una parte entra en el sistema socio-económico. Es lo que consideramos en este trabajo como WBU, siguiendo un criterio análogo al de Krausmann et al. (2008). Esta cantidad es equivalente a la Extracción Doméstica de Materiales (de biomasa en este caso), tal y

⁴ Utilizamos los acrónimos en inglés para homogeneizarlos con los de otras publicaciones en este idioma.

como se describe en las metodologías *Material Flow Accounting* (MFA) (Eurostat, 2013). También se aproxima al concepto económico de producción, esto es, aquella parte que tiene valor de mercado. Subrayamos que solo se aproxima, ya que la comparación (de los conceptos de producción económica de leña con WBU) no es perfecta, habida cuenta de que mucha leña que se consume no tiene valor de mercado, esto es, no se contabilizaría como producción económica. El punto más sensible en este caso lo compone esa parte de la biomasa leñosa que recircula en los ecosistemas (WBR). La literatura sobre el asunto ofrece varias propuestas al respecto, dependiendo de la intencionalidad y funcionalidad del reciclaje (Guzmán y González de Molina, 2015; Tello et al., 2016). Esta no es la parte central de nuestro estudio y utilizar un método u otro no condicionará los indicadores proporcionados (ver serie estadística). Para simplificar nuestra base de datos, consideramos como reciclada toda aquella biomasa leñosa que vuelve a los ecosistemas, sea esta biomasa manejada o no; el resto (aquella que tiene uso socio-económico), se considera WBU. Podríamos decir que:

$$WBA_t = WBR_t + WBU_t \quad [2]$$

iii) Usos energéticos de la WBA o consumo de bioenergía leñosa (BEW)⁵. Finalmente, de la WBU, solo una fracción se utiliza con fines energéticos. Sería esperable que esta fracción fuese muy alta en 1860 y mucho más baja hoy en día. De hecho, según la FAO (2011), en países industrializados solo el 10% de la extracción leñosa se utiliza con fines energéticos, cuando en los no industrializados, como en África o ciertas partes de Asia o América del Sur, llega a alcanzar el 90%. El resto se utilizará principalmente como materia prima (WBRM):

$$WBU_t = BEW_t + WBRM_t \quad [3]$$

Los flujos leñosos citados se han estimado de manera independiente según tipo de aprovechamiento, distinguiendo al menos entre los forestales (para los que utilizamos el superíndice *F*) y los cultivados (superíndice *C*). Entre estos últimos a su vez distinguimos entre olivares, viñas y resto de frutales leñosos (superíndices *O*, *V* y *FU*, respectivamente). Así, por ejemplo:

$$WBP_t = WBP_t^F + WBP_t^O + WBP_t^V + WBP_t^{FU} \quad [4]$$

2.2. Stocks leñosos

El estudio de los stocks de biomasa representa una línea de gran influencia dentro de los estudios ambientales, principalmente por su función como sumidero de carbono y,

⁵ En otros trabajos utilizamos el acrónimo FC, como *Firewood Consumption*, que equivale al aquí utilizado como BEW.

en consecuencia, por su papel mitigador frente al cambio climático (v.gr. Pan et al., 2011). Nuestra estimación de WBP y de WBA facilita una estimación de los stocks leñosos en el país, pero no solo eso. Servirá, además, de validación del modelo utilizado para estimar la producción y la apropiación. Los Inventarios Forestales Nacionales (IFN) desde la década de 1960 ofrecen información detallada de los stocks de biomasa. Otros trabajos han realizado estimaciones análogas recientemente (v.gr. Montero et al., 2007). Relacionando nuestros niveles de WBP y de WBA, el resultado derivado de S debería ser coincidente con el estimado en otros trabajos.

Los stocks se estiman simplemente incorporando la variación de los mismos (ΔS), según se cita en la ecuación 1. El resultado sería este:

$$S_t = S_{t-1} + \Delta S_t \quad [5]$$

De esta forma, tenemos dos series adicionales, la del stock (S) y la de su variación anual (ΔS). Al igual que en el resto de indicadores, distinguiremos entre los stocks forestales y los cultivados.

2.3. Flujos de consumo de bioenergías

Según lo expuesto hasta aquí, nuestra serie incluye el consumo de bioenergías leñosas (BEW). Sin embargo, el consumo de bioenergías totales (BE) incluye otra biomasa no leñosa. A grandes rasgos distinguiremos entre el resto de residuos agrícolas (BENW) y los residuos sólidos urbanos e industriales (UIW). Así pues, la bioenergía total consumida en un año dado (t), puede explicarse de la siguiente forma:

$$BE_t = BEW_t + BENW_t + UIW_t \quad [6]$$

En este trabajo, además del origen de la energía utilizada, también distinguiremos entre:

i) Energía primaria. Entendida como el contenido energético de toda la biomasa finalmente utilizada como energía, sin incluir sus pérdidas en las fases de procesamiento, transporte, etc. De esta forma, cuando distingamos entre tipos de biomasa utilizada estaremos hablando principalmente de energía primaria.

ii) Energía final. En este caso nos referimos a la energía que, tras ser transformada y transportada, llega a los usuarios finales. De esta forma se detraen las pérdidas por conversión de la misma desde su estado primario. Un ejemplo recurrente es la electricidad. Su energía primaria será la energía contenida en la biomasa utilizada para su generación, sin embargo, su energía final será aquella que en forma de electricidad llega a los consumidores. La primera, obviamente, será mayor que la segunda. De

hecho, según los supuestos de IDAE (2017b), por cada unidad energética consumida como electricidad, se requieren 3.02 unidades energéticas de biomasa.⁶

Habitualmente, las estadísticas de energía (v.gr. IDAE, 2017a; IEA, 2017), así como algunas investigaciones (v.gr. Fouquet, 2008; Grubler, 2012), suelen ofrecer información sobre el consumo final según tipo de sector económico (hogares, transporte, industria...) o por tipo de servicio energético (iluminación, calor, transporte...). En nuestro caso, no podemos aportar un nivel de detalle tan preciso,⁷ pero sí podemos distinguir el tipo de consumo final según portadores energéticos, distinguiendo entre combustibles primarios sólidos (leña, residuos de cosecha...), residuos urbanos e industriales, biogás y biocarburantes.

En relación a las unidades de medida, nuestra base de datos se ha estimado en flujos de energía (joules), materiales (materia seca y fresca) y carbono. Sin embargo, cuando hablemos de leña, lo haremos en términos de materia fresca; cuando hablemos de consumo de bioenergías, lo haremos en joules; y cuando hablemos de stocks leñosos, lo haremos en carbono, incluyendo en este caso la biomasa radicular. Obramos así para equiparar las unidades de medida en cada caso a las utilizadas en la literatura de referencia. Esto es, cuando se habla de consumo de leña en perspectiva histórica, se suele hablar de toneladas o kilogramos, pero cuando se habla de stocks de biomasa, la literatura suele hablar de carbono.

Una síntesis de todo lo expuesto hasta aquí puede encontrarse en la tabla 1, donde se resumen los principales flujos estimados, distinguiendo el nivel de desagregación de cada uno, así como el marco temporal y geográfico para el que contamos con información disponible. Por ejemplo, en el caso de la producción de leña contamos con información a nivel de partido judicial para tres años (1860, 1930 y 1960), también en la agregación de ocho biorregiones según se detalla en la figura 2 (entre 1860 y 1960), y a nivel provincial y nacional para todo el período estudiado. En el caso del consumo total de bioenergías sólo contamos con una serie nacional entre 1860 y 2010. La figura 1 muestra de manera gráfica todos los indicadores detallados arriba y la relación entre los mismos.

⁶ Más detalles sobre tales distinciones pueden encontrarse en las secciones de glosarios de webs como IDAE, IEA o Eurostat, entre otras muchas.

⁷ Estimar el consumo de electricidad por sectores distinguiendo aquélla derivada de la biomasa sería posible, aunque mediante asunciones gruesas. Sin embargo, estimar la parte de biomasa sólida utilizada en usos domésticos o industriales implicaría asunciones más generales que desdibujarían la precisión del resto de resultados. Queda pendiente una investigación detallada del consumo de bioenergía final por sectores.

Figura 1

Límites del estudio. Flujos y stocks de bioenergías considerados en el trabajo, con especial atención a los flujos leñosos.

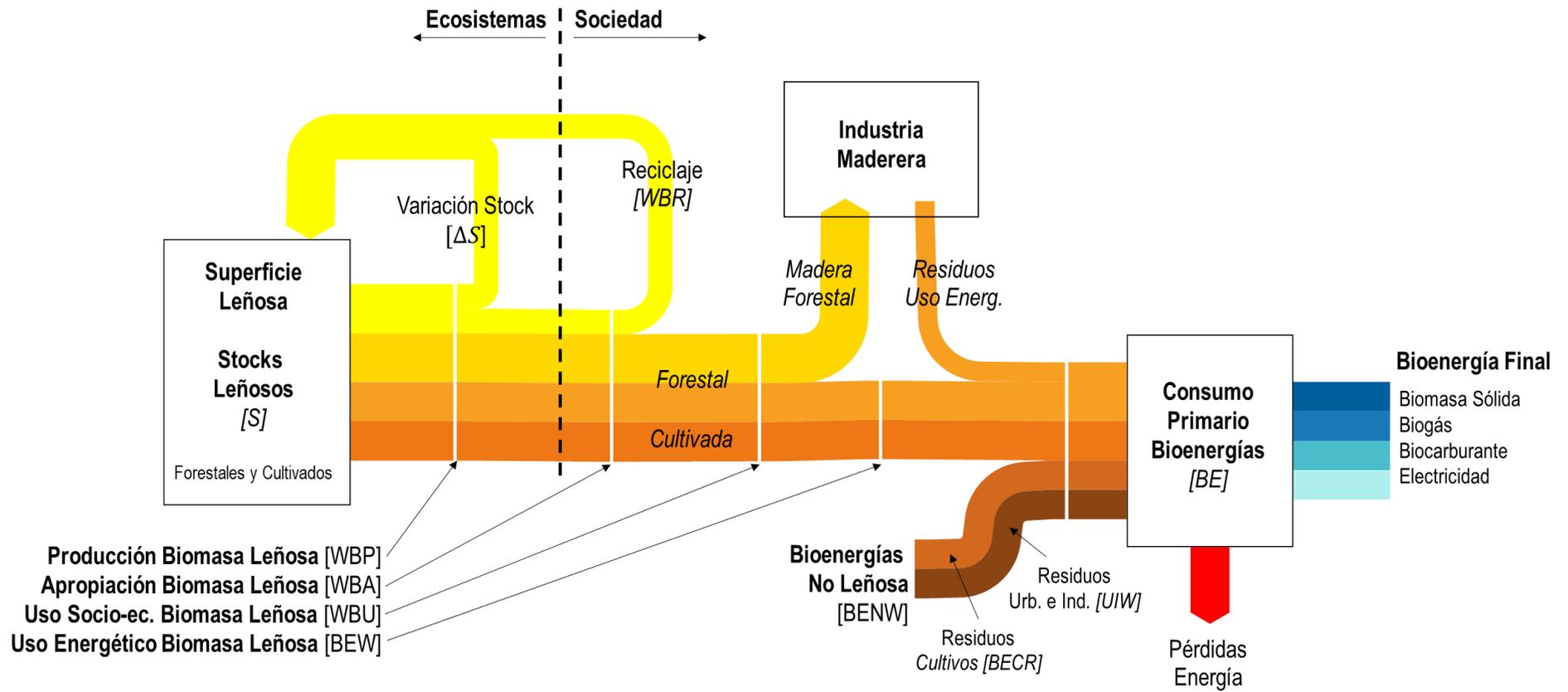


Tabla 1 Resumen de la información reconstruida en este trabajo. Para el caso de las biorregiones, véase la figura 2.

		Partido Jud. [nº: 425]	Biorregión [8]	Provincial [50]	Nacional
	Desagreg.	1860- 1960	1860- 1960	1860- 2010	1860- 2010
Producción y apropiación de leña (WBP, WBA)	[1]	✓	✓	✓	✓
Consumo de leña (WBU, BEW)	[2]		✓		✓
Consumo resto de bioenergías (BENW, BE)	[3]				✓
Stock (S)	[1]			✓	✓

[1] Distingue usos forestales y tres tipo de cultivos (olivar, viña y resto de frutales)

[2] Ídem ant., además distingue los usos de la leña consumida entre: energéticos, no energéticos y reciclados en el ecosistema.

[3] Distingue el tipo de fuente energética (leña forestal y cultivada, residuos de industria maderera, otros residuos no leñosos de cultivos y residuos urbanos e industriales); también distingue el tipo de uso final por producto energético (biomasa sólida, biogás, biocarburante y electricidad); se distingue entre energía primaria y final.

3. Metodología y fuentes

Este apartado se divide en cuatro secciones que, a su vez, se corresponden con los pasos seguidos para llegar a la serie final de consumo de bioenergías. Se pueden resumir así:

1. Estimamos la producción leñosa (WBP) entre 1860 y 2010 siguiendo la propuesta de Infante-Amate et al. (2014), basada en asignar un dato de productividad a los usos del suelo, distinguiendo seis tipos de aprovechamientos (tres forestales y tres cultivados). Tanto la apropiación como el consumo deberían estar próximos a la serie de WBP en contextos metabólicos preindustriales. Con este método tendríamos, por tanto, una aproximación a la WBA y la WBU.

2. Sobre la base de la cantidad extraída en 1860, y asumiendo que el consumo de leña ese año estaría especialmente próximo a la apropiación leñosa obtenida, estimamos el consumo para un conjunto de 8 biorregiones que construimos con la agregación de partidos judiciales de características ambientales similares. A partir de ahí, con varios supuestos que modelan las variaciones de la demanda en cada biorregión, estimamos el consumo de leña con usos energéticos (BEW). Si añadimos a esta serie el consumo de madera con usos no energéticos estimado por Iriarte-Goñi y Ayuda (2006), obtenemos la WBU, cuyo valor debería ser análogo en contextos metabólicos preindustriales al estimado en el punto 1.

3. Con los datos del IFN es posible estimar los stocks leñosos desde c. 1960. En períodos anteriores, en base a la información disponible de los usos del suelo leñosos podemos estimar los stocks a nivel provincial desde 1860. Con base en la ecuación 1,

podemos validar las estimaciones de WBP y de WBA según se detallan en los dos puntos anteriores.

4. Añadimos el consumo de otras bioenergías. Para años posteriores a 1970 contamos con información más directa y fiable al respecto, derivada de estadísticas oficiales. Para períodos anteriores contamos con buena información para casos específicos como el consumo de orujo, subproducto industrial del procesamiento de la aceituna (Infante-Amate et al., 2013). En el caso de otro tipo de biomasa proponemos estimaciones tentativas para completar la serie.

En las páginas que siguen aportamos un mayor detalle metodológico y de fuentes sobre los cuatro puntos descritos.

3.1. Flujos de producción y apropiación de biomasa

3.1.1. Forestal

La primera estimación está inspirada en la propuesta de Infante-Amate et al. (2014), con pequeñas variaciones. La citada propuesta estimó la WBA de la siguiente forma:

Desde 1960 se utilizaron las fuentes de la estadística forestal. Antes de 1960 se hicieron estimaciones basadas en la reconstrucción de los usos del suelo y la aplicación de coeficientes de extracción. En el caso de la dehesa se estimó la extracción mediante la revisión de literatura, tomando un dato promedio que se aplicó por igual a todas las provincias. Esta decisión se justificaba por la gran concentración de las dehesas en zonas geográficas muy específicas. En el caso del monte bajo también se realizó una revisión de literatura, aunque en este caso estableciendo diferencias regionales. En el caso del monte alto se tomaron las estimaciones de Iriarte-Goñi y Ayuda (2006). En los últimos dos casos, además, se ponderaron los datos provincialmente utilizando los usos del suelo de cada aprovechamiento, así como factores de productividad para cada provincia. Estos factores se basaron en datos de productividad leñosa derivados de los IFN. Siguiendo el método de otros trabajos (Montero et al., 2005), se estimó la diferencia del stock entre dos puntos temporales y, añadiendo la biomasa extraída y la pérdida por incendios, calculamos la producción. En Infante-Amate et al. (2014) se asumía que hasta 1960 la WBP y la WBA debían ser análogas y que ambas, por tanto, se debían acercar al consumo final de leña con usos energéticos. Sin embargo, como el trabajo apuntaba, este criterio no era completamente satisfactorio para plantear la serie como una serie de consumo, habida cuenta de que no contabilizaba, por ejemplo, la variabilidad anual. Además, la serie resultaba poco precisa a la hora de distinguir entre WBP y WBA.⁸ En esta nueva serie, aunque mantenemos el mismo criterio metodológico, introducimos algunas modificaciones con respecto a la anterior:

⁸ Se apuntaba expresamente que: “los datos presentados no pueden entenderse, insistimos, como una serie de consumo efectivo en el país. Aunque es cierto que el consumo de leña proviene principalmente de la producción nacional, pues es sabido el escaso peso del comercio internacional, lo cierto es que un par de factores nos impiden presentar esta serie como una serie definitiva de consumo. En primer lugar, como hemos repetido, hay factores coyunturales (episodios históricos, variaciones de precios o factores climáticos) que hacen que los niveles de extracción puedan ser mayores o menores en ciertos períodos. Así pues, no toda la producción

i) En Infante-Amate et al. (2014) la estimación de lo que entonces se llamó NPP leñosa se hizo siguiendo el criterio descrito más arriba: estimación de valores de productividad leñosa en base a la de diferencia de stock entre inventarios forestales y relacionando tales valores a los usos del suelo de cada provincia. Sin embargo, esta productividad se estimó sobre la base de un dato único de “salto” entre inventarios (el IFN 2 y el IFN 3), y su productividad se aplicó a toda la serie por igual. Esto es, se asumía una misma productividad primaria por superficie leñosa similar. A fin de cuentas, el dato de NPP leñosa se presentaba entonces como un punto de validación para un trabajo que tenía otros objetivos. En este caso, además de contar con objetivos más ambiciosos contamos con más información disponible ya que el IFN ha ampliado tanto la información ofrecida online como los casos de estudio (ahora contamos con el IFN 3 al completo y con partes del IFN 4). De esta forma es posible hacer una estimación más precisa de la producción leñosa, estimando datos diferenciados de productividad para diferentes años y diferentes provincias. Todas las estimaciones se refieren a la biomasa superficial salvo en el caso del stock de C que incluye también la biomasa radicular.⁹

ii) A la estimación de WBP hemos añadido un factor de expansión de biomasa no considerado en el trabajo original y que se refiere a la WBP relativa a ramas pequeñas no incluidas en el volumen maderable. El IFN, así como las estadísticas de producción de madera y leña, ofrecen los datos en volumen con corteza (Vcc). Para estimar la biomasa leñosa total se aplica un factor de expansión relativo al resto de la biomasa leñosa adicional. En nuestro caso, gracias a la estimación de Montero et al. (2005) estimamos el resto de WBP superficial sin incluir las hojas, esto es, solo incluyendo la parte leñosa.¹⁰

iii) Ampliamos el marco temporal retrocediendo hasta 1860 y alargando la serie hasta 2010. Entre 1860 y 1900 hacemos una estimación necesariamente tentativa de los usos del suelo. La superficie de monte alto se estima con los datos de producción de madera que ofrecen Iriarte-Goñi y Ayuda (2006); la superficie leñosa (de monte abierto y monte bajo) en relación a la extracción de leña estimada. La agregación de la superficie forestal se valida siguiendo la reconstrucción de usos del suelo para ese año recogida por Gallego (1986).

3.1.2. Cultivos leñosos

En el caso de los cultivos leñosos hemos seguido también la propuesta de Infante-Amate et al. (2014). En ella se estimaba la WBA, no la WBP, ya que no se proporcionó

primaria se extraía y no toda la extracción se debió consumir necesariamente. Por tanto, los datos aquí citados como consumo de leña se refieren más bien a un rango general en el que debió moverse tal serie y que deberá ser mejorada con cálculos anuales y atendiendo a factores que incidieron en el consumo. Aun así, nuestras estimaciones proporcionan un rango aproximado de los niveles de consumo de leña que, como veremos, serán de utilidad para mediar en varios debates sobre la geografía de su consumo, las cantidades consumidas en perspectiva histórica o los ritmos de la transición energética” (Infante-Amate et al., 2014: 38).

⁹ El stock de C se refiere, recordamos, a la biomasa leñosa remanente en las superficies estudiadas en términos de carbono. Sus resultados se referirán tanto a la biomasa aérea como a la radicular.

¹⁰ El trabajo de Montero et al. (2007) distingue entre la biomasa del fuste, la de las ramas (tres tipos según tamaño) y la radical en un extensivo trabajo de campo que incluyó 32 especies forestales.

ningún dato de acumulación de biomasa en las estructuras leñosas. En el caso del olivar se utilizaba un modelo desarrollado por Velázquez-Martí et al. (2011a) que incluía variables como la edad del árbol, el manejo, la densidad de plantación, etc. En el caso de la viña y el resto de frutales leñosos se ha estimado mediante revisión de literatura. En el primer caso, el de la viña, los modelos disponibles requerían información no disponible en perspectiva histórica. En el segundo caso, la gran cantidad de árboles frutales impedía practicar una modelización de detalle para tantas especies. Además de ampliar también el límite cronológico, los cambios introducidos en los cultivos leñosos son los siguientes:

i) Se añade una parte de biomasa acumulada anualmente para estimar la WBP. En el trabajo anterior nos centrábamos en la WBA, incluyendo los arranques por sustitución y renovación. Ahora mantenemos ese flujo, pero añadimos el acumulado (ΔS) para obtener la producción total.

ii) Existen diferencias en las nuevas series de viña y olivar por haber modificado algunos factores de conversión de materia seca. En el caso de la viña también se ha reestimado a la baja la densidad de biomasa por hectárea tras haberse encontrado información adicional al respecto (v.gr. Ruiz, 2013). Se ha corregido en perspectiva histórica según el número de pies por hectárea y el peso de cada pie. Esto también nos permite distinguir con mejor fundamento los flujos de WBP y de WBA antes citados.

iii) En el caso de los frutales hemos introducido cambios más importantes, derivados de una estimación más precisa del número de árboles y de la superficie ocupada por los mismos. Habida cuenta del gran número de tipos de árboles frutales leñosos y su dificultad para estimar los usos del suelo, en Infante-Amate et al. (2014) se hizo una reconstrucción de los árboles totales en cada año, se aplicó una densidad por hectárea igual en todo el período para corregir las diferencias de productividad y, a cada árbol, se le aplicó una productividad de leña específica según datos actuales basados en una revisión de literatura. Ahora, y gracias a otra investigación en curso, contamos con mejor información al respecto que hemos utilizado en este trabajo. En particular, hemos reestimado el número de árboles totales, distinguiendo tanto los que están en fincas con arboledas ordenadas como los que se encuentran dispersos. Afortunadamente, las estadísticas sobre el asunto, desde principios del siglo pasado, ofrecen muy buena información al respecto. Con ello hemos podido estimar las hectáreas de árboles frutales en superficies ordenadas, pero también la superficie virtual ocupada por los árboles frutales que se encuentran dispersos (aplicando una densidad de pies por hectárea similar a la de las fincas con árboles ordenados). Con ello, hemos ajustado los datos de productividad leñosa históricamente para obtener una nueva serie de producción y apropiación. No varía sustancialmente sobre la anterior (c. $\pm 15\%$) pero nos parece más fiable.

3.2. Consumo de leña para usos energéticos

3.2.1. Consumo de leña entre 1860 y 1960

Como apuntábamos arriba, en contextos en los que las energías modernas no tenían una presencia relevante en la economía, y con niveles de población significativos, el

consumo de leña debió estar próximo a los niveles estimados de WBP y de WBA. Un consumo del BEW muy superior al de WBP implicaría deforestación o degradación de los recursos forestales (disminuyendo la densidad de biomasa por hectárea) aceleradas, al igual que un consumo inferior implicaría abandono y aumento continuado del stock. Por tanto, las series de WBP y de WBA sirven como series de control de una potencial serie de consumo, aunque no son estrictamente una serie de consumo ya que en momentos determinados se debieron dar fuertes divergencias entre la WBP y la WBA. Por ejemplo, en la actualidad, sabemos que hay un proceso de abandono del monte ($WBP > WBA$), mientras que, en el siglo XIX, es conocido un avance deforestador unido a un clareamiento de las zonas forestales ($WBP < WBA$). Aunque ambas variables en el largo plazo deben mostrar una pauta análoga, el consumo debió estar mediado por otros factores coyunturales como el clima o la posibilidad de sustituir la leña por otras fuentes de energía. Ambas variables están altamente determinadas por la geografía, de manera que cualquier estimación en este sentido ha de hacerse a una escala subregional que no solo nos permita validar la serie agregada, sino también conocer detalles geográficos de los patrones de consumo de bioenergías. Para ello, trabajaremos a escala de partido judicial.

Nuestra hipótesis de partida es que en el primer año de nuestra serie (1860), el consumo de carbón mineral era residual en el conjunto del país y, por tanto, la WBA estimada en el punto anterior debió estar próxima a la WBU. Así, detrayendo la extracción de madera y un porcentaje de WBR, estimamos un dato de consumo para cada partido judicial en 1860 (también para 1930 y 1960, que servirán como puntos de control de nuestra estimación). Para ello ha sido necesario estimar la superficie leñosa en cada año a tal nivel geográfico. En el caso de la forestal el cálculo se ha basado en los datos de superficie de monte a escala provincial aportados por el GEHR (1994), que se han combinado con los datos de montes públicos a escala de partido judicial procedentes de la “Clasificación general de montes públicos” de 1859. El supuesto utilizado ha sido que los montes de particulares de cada provincia se distribuían por partidos judiciales en las mismas proporciones que lo hacían los montes públicos. Este criterio se ha utilizado para los tres años estudiados. En el caso del resto de cultivos se ha estimado con la información que, a nivel de partido judicial, ofrece la Junta Consultiva Agronómica para el caso del olivar (JCA, 1891b), la viña (JCA, 1891a) y el resto de frutales (JCA, 1923). El porcentaje de uso de suelo de cada cultivo en cada partido judicial en esos años se aplica a la superficie provincial o nacional disponible en cada caso para c. 1860 en base a los datos de Gallego (1986) y Zambrana (1987). Los datos de uso del suelo por partido judicial sirven para distribuir los datos de producción leñosa que se habían estimado en cada provincia según lo apuntado en el apartado anterior. Así, obtenemos la producción a escala de partido judicial.

Los datos resultantes de disponibilidad por habitante presentan una gran variabilidad entre partidos judiciales: algunos cuentan con disponibilidades superiores a los 20 kg $\text{hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$, mientras que otros están muy por debajo del límite de 1 kg $\text{hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Aunque el comercio de leña era poco habitual, entendemos que debió existir un flujo entre partidos judiciales que es lo mismo que decir que existió un flujo intermunicipal. En otras palabras, debemos ampliar el marco geográfico ya que asociar la producción al consumo, a esta escala, daría resultados inverosímiles. Además, las pautas de consumo estuvieron determinadas por variables climáticas y orográficas que afectaban por igual a territorios más amplios que la unidad de partido judicial, de manera que ofrecer datos

de consumo para unidades mayores a la escala de partido judicial es una opción plausible. Para captar esas diferencias, hemos realizado una clasificación de los partidos judiciales atendiendo a algunos criterios geográficos y climáticos básicos que debieron afectar históricamente al consumo de leña -evitamos así la división administrativa, que tampoco sería adecuada en un estudio como el nuestro-. Las divisiones se han realizado, en primer lugar, atendiendo al carácter costero o interior de los diferentes territorios. Para ello se ha considerado como ubicación costera la de aquellos partidos judiciales cuya principal localidad se halla a menos de veinte kilómetros de un puerto de mar, y por cuestiones climáticas se ha diferenciado entre las costas mediterránea, cantábrica y atlántica-sur. En lo que se refiere a los partidos de interior, se han clasificado por grupos en función de la latitud (norte y sur, estableciendo como línea divisoria el centro de la península) y de la altitud, distinguiendo grupos por debajo de 500 metros, entre 500 y 1000 metros y por encima de 1000 metros (Figura 2).

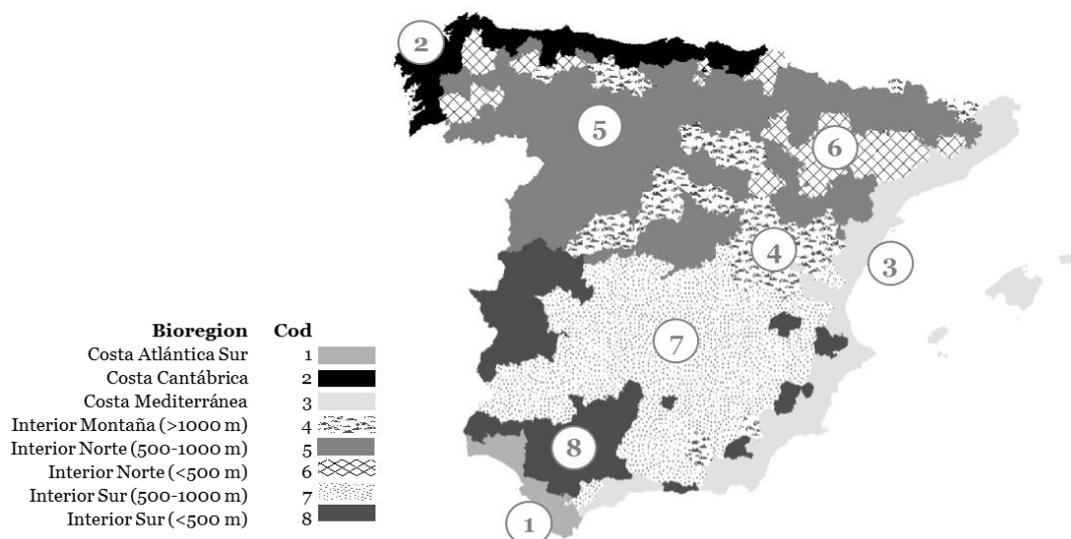
Finalmente, con estas bases, podemos hacer una primera aproximación del consumo de leña para el primer año, 1860, en cada biorregión. Sobre la producción total estimamos a nivel general que la apropiada con usos socio-económicos se situaba en torno al 74%¹¹; el resto lo representa aquella fracción de biomasa leñosa que se acumulaba o que recirculaba en los ecosistemas. Una vez descontada la parte destinada a usos socio-económicos no energéticos, a partir del trabajo de Iriarte-Goñi y Ayuda (2006), obtenemos el dato de consumo de leña disponible para usos energéticos

Partiendo de esta estimación de consumo para 1860, establecemos algunos supuestos razonables que nos permiten acercarnos a las transformaciones en la demanda de leña, tomando en consideración las alternativas energéticas que se fueron introduciendo y las posibilidades reales de que esas nuevas energías sustituyeran a la energía tradicional. Las propuestas introducidas nos sirven para contestar a tres preguntas básicas. Por un lado, ¿dónde se fue produciendo realmente la sustitución de la leña por nuevas energías? Por otro, ¿cuál fue el ritmo de sustitución en esas zonas que fueron teniendo acceso a energías modernas? Finalmente, ¿cómo se comportó el consumo en las áreas que siguieron manteniendo la leña como recurso energético básico? Los resultados de la serie de consumo resultante se validan con los datos de producción de 1930 y 1960.

¹¹ Esta estimación se deriva de detraer los factores de expansión de la biomasa a la producción total, esto es, quitamos aquella parte de la biomasa leñosa producida que se refiere a ramas pequeñas y medianas que suponemos que son las que recirculaban en los ecosistemas. Obviamente este argumento es laxo ya que buena parte de esa biomasa también se quemaba, pero sabemos que una parte de ella debió recircular. Hemos decidido suponer que fue esa parte del factor de expansión. Esta decisión tiene otro argumento de peso: cuando empezamos a tener información seriada de extracción de leña que damos por buena y que asociamos al consumo de leña, esta viene dada en Vcc. Lo que estamos haciendo es considerar como consumo de leña el equivalente a las extracciones Vcc previas al momento en el que contamos con información fiable de consumo y que se basa, repetimos, en estimaciones Vcc. Los factores de expansión se toman de Montero et al. (2007).

Figura 2

Ocho biorregiones distinguidas en el trabajo para estimar el consumo de leña entre 1860 y 1960.



a.1. Primer supuesto. La sustitución de la leña solo pudo darse en aquellos lugares en los que las nuevas energías fueron siendo accesibles de forma regular.

Los principales trabajos sobre transición energética han aportado una visión agregada (generalmente a escala nacional) que, de manera indirecta e inconsciente, sugieren el dibujo de transiciones nacionales homogéneas y casi teleológicas, como si todas las partes de cada país transitaran a la par hacia las energías modernas. La realidad, sin embargo, fue muy diferente, ya que amplias áreas con niveles no despreciables de población quedaron fuera de las redes de distribución efectiva de nuevas energías hasta prácticamente la segunda mitad del siglo XX. Como han señalado algunos autores (Wrigley, 2010; Mytting, 2016), una de las ventajas de la leña es su carácter prácticamente ubicuo en el mundo rural, lo que hace posible su utilización en pequeñas cantidades a escala local en prácticamente cualquier zona. Como contrapunto, esa dispersión dificulta su utilización en un punto determinado cuando se requieren grandes cantidades de energía, ya que los costes de transporte desde los puntos de producción diseminados hasta el punto de consumo pueden ser muy elevados e incluso antieconómicos. Las energías fósiles como el carbón o el petróleo, por su parte, presentan justo la característica contraria. Se trata de energías que se pueden denominar “puntiformes” (Wrigley, 2010) ya que se pueden concentrar en grandes cantidades en puntos concretos. Ese fue, de hecho, uno de los rasgos que ligó al carbón mineral a la expansión de ciertos procesos de industrialización desde el inicio de los mismos. Sin embargo, la distribución de estas energías modernas en cantidades pequeñas de manera generalizada puede ser muy costosa o incluso imposible si no existen las infraestructuras adecuadas. Algo similar ocurre con la electricidad, que requiere para su distribución de una red específica que obviamente tendrá que ser más compleja cuanto más diseminados estén los puntos de consumo respecto de los de producción. Desde esta perspectiva, realizar una estimación de las áreas que permanecieron al margen de las nuevas energías y de la población que habitaba en ellas puede dar pistas interesantes para conocer la evolución del consumo de leña.

Para ello hemos supuesto que el acceso a las nuevas energías entre mediados del siglo XIX y mediados del siglo XX dependió básicamente de las infraestructuras existentes en un área determinada y del tamaño de los núcleos de población que debían de ser lo suficientemente grandes como para posibilitar el suministro. Así, se ha considerado que fueron teniendo acceso regular a la energía fósil (principalmente al carbón mineral) aquellos partidos judiciales que contaban bien con acceso a la costa, bien con una estación de ferrocarril, y que contaban además con un núcleo de población superior a 5.000 habitantes¹². Estos criterios se han aplicado de forma dinámica en seis cortes cronológicos, a saber: 1860, 1880, 1910, 1930, 1940 y 1950. También se ha añadido el corte de 1960, aunque cambiando ligeramente el criterio: teniendo en cuenta que en los años cincuenta el transporte por carretera estaba alcanzando ya cierto desarrollo, se ha considerado que en 1960 todas las localidades de más de 5.000 habitantes tenían acceso a nuevas energías, independientemente de que tuvieran o no puerto o estación de ferrocarril. Con estas bases, se han interpolado los datos de población para los años intermedios, obteniendo una serie anual de la población que fue teniendo acceso a las nuevas energías, y otra de la población que fue quedando al margen de las mismas, todo ello para cada una de las biorregiones diferenciadas en el apartado anterior. Este supuesto deja al margen la extensión de la red eléctrica, pero esa opción está justificada si tenemos en cuenta que, antes de la década de los sesenta, la expansión de la electricidad por el mundo rural, además de ser muy incompleta, sólo cubrió servicios de iluminación (Bartolomé, 2007) y, en consecuencia, no pudo competir con los servicios energéticos que se obtenían con la leña (cocina o funcionamiento de hornos y estufas).

Tabla 2

Población con acceso a nuevas energías. Fuente: ver texto.

	[Cód]	Miles de habitantes				Porcentaje con acceso			
		1860	1910	1950	1960	1860	1910	1950	1960
Costa Atlántica Sur	[1]	188	352	590	933	40.7	68.5	72.9	94.8
Costa Cantábrica	[2]	284	1196	2208	4000	14.5	45.2	58.9	87.4
Costa Mediterránea	[3]	717	2415	4515	6696	21.4	53.3	69.1	84.0
Interior Montaña (>1000m)	[4]	0	89	168	344	0.0	10.2	16.4	32.2
Interior Norte (500-1000 m)	[5]	26	590	962	1449	2.2	44.2	56.1	69.3
Interior Norte (<500 m)	[6]	375	1273	2767	4593	9.8	28.6	46.1	62.1
Interior Sur (500-1000 m)	[7]	110	1478	2545	3513	4.6	46.3	58.3	70.0
Interior Sur (<500 m)	[8]	307	1117	2165	2863	20.6	57.6	72.6	78.1
Total		2006	8511	15919	24391	13.0	43.7	58.6	74.4

La tabla 2 ofrece un resumen de esas series para algunos años seleccionados. Como puede observarse, los datos corroboran que, a mediados del siglo XIX, la accesibilidad a nuevas energías era claramente minoritaria en todos los territorios, aunque las zonas de costa contaban con un acceso superior a la media¹³. Pero lo que más llama la atención es que prácticamente un siglo después, a la altura de 1950, el acceso en el conjunto del país aún no alcanzaba al 60% de la población. Sólo en la década de 1960, el intenso proceso de cambio económico fue acompañado de un incremento

¹² En el caso del ferrocarril, hemos utilizado las mismas fuentes que las utilizadas en Morillas (2014).

¹³ Los datos de la zona interior sur se explican por el caso de Sevilla, que pese a estar en el interior contaba con acceso acuático a través del Guadalquivir.

considerable del acceso a nuevas energías. Aun así, en esa última fecha, un 28% de la población (más de ocho millones de habitantes) seguían sin acceso regular a las energías modernas y, obviamente, la situación en las zonas de interior, situadas a mayor altitud, continuaba siendo mucho más desfavorable en este sentido. La escasa densidad de la red ferroviaria o de otras infraestructuras de transporte antes de la década de 1960, unida al mantenimiento de altos porcentajes de población en el campo hasta esas mismas fechas (Collantes y Pinilla, 2011), explicarían ese lento ritmo de expansión. En cualquier caso, para lo que aquí interesa, estos datos permiten intuir que, hasta bien superada la mitad del siglo XX, porcentajes relativamente elevados de la población española siguieron dependiendo de la leña para el consumo de energía tanto en los hogares como en las pequeñas industrias rurales.

a.2. Segundo supuesto. El ritmo de descenso del consumo de leña en las zonas con acceso a nuevas energías dependió de los precios relativos de las energías alternativas y de las economías de localización y de aglomeración industrial.

Una vez detectadas las áreas y la población que pudo tener acceso a las nuevas energías, el siguiente paso de nuestra estimación consiste en descubrir el ritmo con el que la leña pudo ir siendo sustituida por las nuevas energías. En este contexto, los incentivos para comenzar a utilizar energía fósil pudieron ser variados, pero, teniendo en cuenta que las zonas con acceso a nuevas energías fueron zonas urbanas en las que la práctica totalidad de sus habitantes estaban obligados a adquirir la energía en el mercado, los precios relativos de las diferentes energías pueden darnos alguna pista interesante. La información con la que contamos sobre precios de la energía es bastante escasa, no refleja las importantes diferencias regionales que se pudieron producir a lo largo y ancho del país y presenta en muchos casos un carácter opaco, que hace difícil saber qué se incluye realmente en los mismos. Pese a ello, hemos realizado una reconstrucción de precios de las energías que, hasta principios del siglo XX, se ha basado en el trabajo de Reher y Ballesteros (1993) para Madrid y, para fechas posteriores, en los datos ofrecidos por los anuarios estadísticos de 1922 (MTCI, 1923), 1933 (DGGCE, 1934), 1948 y 1958 (INE, 1948, 1958). A pesar de los problemas que conlleva utilizar fuentes de carácter tan heterogéneo, cabe decir que los resultados coinciden a grandes rasgos con los ofrecidos por otros trabajos que han tratado con los precios de la energía, bien para el caso del carbón mineral y la electricidad (Betrán, 2005), bien para el conjunto de los servicios energéticos (Fouquet, 2008). En nuestro caso, teniendo en cuenta que lo que nos interesa es comparar el precio de diferentes energías en el mismo año, hemos utilizado precios nominales anuales. Así mismo, la comparación se realiza no sobre las unidades de peso que se podían comprar al precio de cada año, sino sobre los GJ que una unidad de cada energía puede generar, es decir, calibrando la diferente intensidad de cada fuente de energía.

Tabla 3

Índice del Precio por GJ según fuentes energéticas utilizadas. Fuente: Reher y Ballesteros (1993) y Anuarios Estadísticos de 1922 (MTCI, 1923), 1933 (DGGCE, 1934), 1948 y 1958 (INE, 1948, 1958).

	Leña y Carbón Vegetal	Carbón Mineral	Coque	Petróleo	Electricidad
1868	100	29	27		
1913	100	26	58	611	2217
1922	100	56	67	350	1296
1933	100	52	43	211	1372
1948	100	14	12	112	113
1958	100	15	8	45	63

En la tabla 3 se muestran los resultados básicos de nuestra estimación, con índice en 100 para cada año de la muestra relativo al precio de obtener un GJ utilizando energías tradicionales, es decir, leña y carbón vegetal. A lo largo de toda la segunda mitad del siglo XIX, obtener energía a partir de carbón mineral o de coque fue sensiblemente más barato que obtenerla de la leña o del carbón vegetal, y eso debió de constituir un importante incentivo para iniciar el tránsito hacia lo fósil en todas aquellas zonas que fueron teniendo acceso regular a ese tipo de energía. De hecho, la diferencia de precio entre la leña, el carbón mineral y el coque se mantuvo a favor de los segundos (e incluso se amplió en el caso del carbón mineral) hasta antes de la Primera Guerra Mundial. Desde entonces y hasta 1933, se produjo un ligero cambio en la tendencia que hizo disminuir la ventaja de las energías fósiles debido al fuerte ascenso de su precio (superior al ascenso del precio de la madera), pero aun así, la ventaja no desapareció. Por último, en las décadas de 1940 y 1950, el carbón mineral y el coque volvieron a ensanchar su ventaja respecto a la leña, alcanzando márgenes de diferencia incluso superiores a los del siglo XIX.

En lo que se refiere a la electricidad y al petróleo, el cuadro muestra la enorme desventaja relativa de ambas energías hasta prácticamente los años cuarenta. Pese a ello, cabe hacer algunas matizaciones al respecto. En lo que se refiere a la electricidad, los precios que se han utilizado son los de las tarifas domésticas destinadas a la iluminación. Ello hace pensar que en el ámbito doméstico la electricidad no compitió con la leña y el carbón para la obtención de servicios relacionados con la cocina y la calefacción, debido al precio del kilovatio para esos usos. Además de que las tecnologías sustitutivas en este sentido tuvieron poco desarrollo hasta bien entrado el siglo XX. Otra cosa es lo que ocurriera en muchas industrias que podían obtener tarifas especiales o que, en algunos casos, podían generar su propia electricidad para ser utilizada en sus procesos de producción (Garrués, 2006; Martínez Ruiz, 2016). En lo que se refiere al petróleo, hay que pensar que algunos usos específicos, como los relacionados con los vehículos a motor, estaban abocados al uso de ese combustible, de tal forma que su uso debió de ir creciendo pese a su alto precio relativo. Por lo demás, a partir de los años cuarenta, los datos indican que los precios del petróleo y de la electricidad bajaron considerablemente y pudieron contribuir a una aceleración de la transición energética.

En estas circunstancias resulta lógico pensar que, en aquellos lugares donde hubo acceso regular a nuevas energías, la transición energética fuera produciéndose

especialmente a escala industrial. A pesar de que el carbón en España era de mala calidad, presentaba una ubicación problemática y alcanzaba unos precios bastante superiores a los internacionales (Sudrià, 1997), su mayor densidad energética le daba ventajas importantes respecto a la leña. Por ello, los sectores industriales que fueron adoptando la tecnología del vapor (algodón catalán, ferrocarriles, etc.) fueron pasando al uso de carbón mineral, bien nacional, bien importado. En cualquier caso, hay que señalar que la tecnología ligada al vapor podía usar de manera indistinta cualquier combustible sólido que se pudiera quemar, fuera carbón vegetal, leña, carbón mineral o coque y que ese carácter adaptable, en la medida en que flexibilizaba la elección de energías, pudo facilitar el camino de la transición energética en la industria conforme el carbón mineral fue siendo más accesible. El uso de carbón mineral se generalizó también en la siderurgia y la metalurgia, que se convirtieron en unas de las principales industrias consumidoras de ese tipo de energía (Coll y Sudrià, 1987). Posteriormente, la incorporación de la energía hidráulica moderna, de la electricidad y del petróleo actuó en la misma dirección en aquellos sectores industriales que pudieron adaptar las tecnologías necesarias para su uso. En el caso concreto de la electricidad, la flexibilidad de los motores eléctricos, unida a las tarifas especiales para usos industriales, mucho más baratas que las generales destinadas a iluminación (Betran, 2005), contribuyó a expandir su uso en muchos sectores. En general, las nuevas energías aceleraron la transición en la industria ya desde los años veinte, pero reforzaron el proceso en los años cuarenta y cincuenta, cuando su precio relativo fue descendiendo respecto al de otras energías y conforme la mejora en las tecnologías facilitó su uso. En conjunto, el predominio de las nuevas energías en la industria parece indudable ya desde finales del siglo XIX, pero conviene no olvidar dos hechos importantes. El primero es que, precisamente para tener un acceso más fácil a las nuevas energías, las industrias que pudieron elegir su ubicación tendieron a situarse en lugares donde los suministros estuvieran garantizados (Sudrià, 1987), generando una concentración que dejó al margen amplios territorios, que siguieron dependiendo de la leña. El segundo es que, incluso en los ámbitos con acceso regular a las energías modernas, algunos sectores industriales específicos, como las panaderías o las industrias cerámicas, pudieron seguir ligados a la leña, de tal forma que a mediados del siglo XX el uso de este combustible no había desaparecido por completo del ámbito industrial (INE, 1962, 1973).

En lo que se refiere al consumo doméstico, todo parece indicar que también desde mediados del siglo XIX se fue iniciando la transición en aquellas ciudades en las que hubo acceso a las nuevas energías. Como en otras partes de Europa, también en España fueron apareciendo nuevas formas de calefacción, incluyendo cocinas económicas, estufas y “caloríferos” de diverso tipo, que podían quemar indistintamente leña o carbón mineral. La ventaja de precio que hemos observado, unida al cambio tecnológico, hizo que la energía fósil fuera adoptándose paulatinamente en muchos hogares. Pudo producirse, además, un efecto de difusión de nuevas energías desde los usos industriales a los domésticos, como parece claro que ocurrió en el caso del coque, que era en realidad un subproducto derivado de la destilación del carbón para la obtención del gas y que por ello se hizo habitual en muchos hogares de las ciudades que contaban con ese tipo de iluminación. Desde esta perspectiva, cabe pensar que, cuanto más expansión tuviera el uso de energía fósil en la industria, más probable era que el consumo doméstico de las áreas industriales fuera en la misma dirección. Hay que tener en cuenta, además, que la energía fósil podía ofrecer también ciertas ventajas de

combustión y de seguridad frente a incendios que la podían hacer preferible a la leña¹⁴. La electricidad, por su parte, tuvo un uso en los hogares que quedó restringido principalmente a la iluminación, servicio energético para el que sin duda ofrecía ventajas claras respecto a cualquier otro tipo de energía. Su uso para otras funciones relacionadas con la cocina o la calefacción parece que fue en España relativamente tardío. La deficiente calidad de algunas redes de distribución, unida al precio del kilovatio para uso doméstico y a la inversión que requería la compra de electrodomésticos, hizo que los usos diferentes al alumbrado fueran muy escasos en los hogares (Bartolomé, 2007). Algo similar cabe decir del petróleo, ya que no parece que tuviera usos domésticos de consideración hasta muy avanzados los años cincuenta, con la aparición del gas butano embotellado. En este caso, se trataba también de un subproducto, procedente de la destilación del petróleo, que, unido a la tecnología específica de embotellado (bombona) y de combustión (estufas y calderas), se expandió con rapidez en el consumo doméstico. En cualquier caso, al igual que ocurría con los usos industriales, conviene recordar que, incluso en los lugares con acceso a nuevas energías, la leña no desapareció del todo del consumo doméstico, por mucho que acabara teniendo un uso minoritario. Todo parece indicar que, en aquellos lugares en los que las energías modernas fueron asequibles, los consumidores urbanos fueron eligiendo un *mix* energético adaptado a su capacidad de gasto y a las disponibilidades concretas de energía de cada momento, que podía incluir fuentes de diferente tipo y que no excluía el uso complementario de leña y carbón vegetal.

En definitiva, los indicios sobre la disminución del consumo de leña en los lugares que contaban con suministro de energías modernas son abundantes, pero no contamos con información específica sobre el ritmo de ese descenso. Por ello para tratar de cuantificarlo hemos utilizado un indicador indirecto, considerando que el descenso de consumo de leña en esos lugares pudo seguir un ritmo similar en velocidad al del incremento del consumo de carbón mineral. La elección de esa energía se debe a que, como hemos visto, fue la que desde mediados del XIX compitió más directamente con la leña y el carbón vegetal tanto en usos industriales como domésticos. Así, hemos tomado la tasa de crecimiento del consumo aparente de carbón mineral de Carreras (2005) y hemos asumido que el consumo de leña cayó a un ritmo análogo. Hemos aplicado esta tasa de manera que nos permitan captar al menos dos ritmos diferentes de transición en las zonas con acceso a nuevas energías: por un lado, el ritmo de aquellas zonas que, según el trabajo de Coll y Sudrià (1987), fueron concentrando los mayores porcentajes de consumo nacional de carbón mineral y que, en consecuencia, debieron de ir reduciendo su consumo de leña a un ritmo rápido¹⁵; por otro, el resto de zonas que, pese a tener disponibilidad de nuevas energías, concentraron un consumo más bajo de carbón y, por tanto, aunque fueron reduciendo su consumo de leña, lo hicieron a un ritmo más lento. A falta de un indicador directo, creemos que este criterio es válido para captar el ritmo de descenso del uso de leña en diferentes áreas y que, además, permite hacerlo diferenciando, al menos indirectamente, dos velocidades

¹⁴ Desde mediados del siglo XIX, la publicidad aparecida en la prensa da muestras tanto del carácter adaptable de la tecnología, como de las ventajas del coque respecto a la leña. Puede verse, a modo de ejemplo, *Diario oficial de avisos de Madrid*, 2/11/1855, página 3, *El Clamor Público*, 4/7/1856, página 4 o *La España*, 2/4/1863, nº 5, 111, página 3.

¹⁵ Por orden de importancia este sería el caso de los partidos de las provincias de Barcelona, Vizcaya, Asturias, Madrid, Guipúzcoa, Valencia, Sevilla y Zaragoza.

diferentes, que estuvieron en función básicamente de los niveles de urbanización estrechamente ligados a la mayor o menor aglomeración industrial.

En otras palabras, el consumo del año anterior se multiplica por los siguientes factores:

- p , que denota el aumento poblacional (población del año j , dividida entre la población del año $j-1$).
- m , el porcentaje de población con acceso a energías modernas.
- r , el porcentaje de energía tradicional que deja de consumirse al ser sustituida por el consumo de energías modernas. En este caso se distinguen dos velocidades (s) de sustitución.
- w , que representa una variación anual de las temperaturas, siendo un factor de corrección por motivos climáticos asumiendo que los años más fríos el consumo es mayor y viceversa.

Así pues, podemos estimar el consumo de leña de la población con acceso a nuevas energías (BEW_{it}^A) así:

$$BEW_{it}^A = BEW_{it-1} * p_{it} * m_{it} * r_{ts} * w_{it} \quad t = 1860, 1861 \dots 1960 \quad [7]$$

a.3. Tercer supuesto. En las zonas que permanecieron sin acceso a nuevas energías, el consumo per cápita de leña tendió a mantenerse estable, siempre determinado por la disponibilidad

Para concluir nuestra estimación, es necesario referirse a las áreas que permanecieron al margen de los canales y redes de distribución de las nuevas energías hasta fechas muy tardías y que, por tanto, siguieron dependiendo básicamente de la leña hasta la década de 1960. Como se observa en Tabla 2, se trata de zonas rurales, principalmente de interior, que incluían a la mayor parte de la población a mediados del siglo XIX y que fueron perdiendo peso relativo a lo largo del tiempo conforme se fueron creando infraestructuras de transporte. Pese a ello, estas zonas siguieron incluyendo una cantidad no despreciable de población que se situó de manera bastante estable entre los 10 y 11 millones de personas hasta 1950, para desplomarse hasta los 8 millones en la década siguiente. Pero ¿qué nivel de consumo per cápita de leña se puede suponer para esas áreas? Un primer elemento a tener en cuenta es que, al tratarse de zonas rurales donde buena parte de la población se ocupaba en actividades agrarias, el acceso a la energía no pasaba necesariamente por el mercado, sino que podía realizarse la mayoría de las veces de forma directa aprovechando los subproductos generados dentro de las propias explotaciones agrarias y, sobre todo, a través de los aprovechamientos de leña realizados en los montes. Desde esta perspectiva, puede decirse que, en este caso, los precios no son el mejor indicador ya que otras variables podían jugar un papel más importante a la hora de determinar los niveles de consumo de combustible per cápita. Si tomamos la información disponible sobre lo ocurrido en las áreas rurales durante este largo período, podemos decir que algunos datos podrían apuntar hacia una disminución del consumo de leña, mientras que otros podrían hacer pensar justo en la evolución contraria.

Entre los primeros está el proceso de privatización de montes públicos que se llevó a cabo con especial intensidad en la segunda mitad del siglo XIX y que fue acompañado de un proceso paralelo de deforestación y puesta en cultivo de nuevas tierras que alcanzó debió intensificarse y tal vez alcanzar su pico máximo en las primeras décadas del siglo XX (GEHR, 1994). Es obvio que este proceso pudo reducir la disponibilidad de bosque por persona y que pudo afectar negativamente al aprovisionamiento de leña en algunas zonas. En un sentido similar, el control que la administración forestal empezó a ejercer sobre los montes a través de los planes de aprovechamiento y de ordenación, también pudo dificultar el acceso a leña gratuita para los vecinos de los pueblos. Sin embargo, estos dos elementos pudieron tener su contrapunto. Por un lado, el proceso de deforestación redujo sin duda la disponibilidad de bosque por persona entre mediados del XIX y la década de 1930. Pero si tenemos en cuenta sólo la población que según nuestros cálculos siguió dependiendo exclusivamente de la leña, lo que encontramos más bien es una estabilidad en el bosque disponible por persona en torno a las 2,5 hectáreas por habitante. Además, la roturación de nuevas tierras supuso arranques de árboles y arbustos que, debido al carácter no percedero de la madera y la leña, pudieron generar stocks de combustible disponibles para consumir durante varios años. Por otro lado, el control que se ha constatado en las extracciones de leña por parte de la administración forestal no parece que fuera acompañado de una disminución de la leña total extraída de los montes públicos que, al menos en las fechas para las que existen datos, se mantuvo bastante estable a lo largo del tiempo (GEHR, 1991). Es sabido, además, que en muchas ocasiones el control administrativo fue burlado a través de usos fraudulentos de los montes en los que las leñas eran extraídas al margen del nuevo marco legal impuesto y, por tanto, no eran contabilizadas en las estadísticas. Finalmente, aunque no con menos importancia, además de la leña obtenida en los bosques, los habitantes del mundo rural fueron teniendo a su disposición cantidades superiores de leña procedente de las podas de unos cultivos leñosos cuya extensión superficial fue creciendo desde mediados del XIX. Se produjeron además episodios de arranque masivo de plantas leñosas (por ejemplo, a finales del siglo XIX cuando las vides tradicionales atacadas por la filoxera fueron sustituidas por vides americanas resistentes a la enfermedad), que pudieron generar también importantes stocks de leña a consumir durante largos períodos de tiempo. El incremento de la explotación forestal para la obtención de productos industriales, en la medida en que generó más residuos forestales, actuaría en la misma dirección.

Así pues, si tenemos en cuenta que la población que siguió dependiendo en exclusiva de la leña se mantuvo bastante estable a lo largo del período (Tabla 2), y que la presión de la demanda de las áreas urbanas disminuyó a medida que se fue introduciendo el uso del carbón mineral o de otras nuevas energías, parece razonable pensar que, al menos como media para el conjunto del país, la disponibilidad de leña por habitante que usaba exclusivamente ese combustible, pudo incluso incrementarse.

Paralelamente, sin embargo, fueron actuando otros factores que podían estar generando ahorro en el consumo de combustible. Entre ellos, el principal sería la introducción de sistemas de cocina y calefacción más eficaces (como la denominada cocina económica) o también la utilización de sistemas de aislamiento en los edificios por mejoras en la construcción, que pudieran retener más el calor y que permitieran calentar más habitaciones dentro de una casa con el mismo combustible. Probablemente, la abundancia relativa de leña pudo verse compensada por los factores

que propiciaban el ahorro de combustible, de tal forma que, siguiendo unos supuestos similares a los que utiliza Kander (2002) para el caso de Suecia, se puede concluir que en las zonas que permanecieron al margen de los circuitos de las nuevas energías, el consumo per cápita pudo tender a la estabilidad a lo largo del tiempo. Esto, obviamente, no excluye que en lugares concretos y en coyunturas determinadas se pudiera producir escasez de combustible.

El consumo de energía en las zonas que siguieron sin acceso (BEW_{ij}^{NA}), se estimaría, así:

$$BEW_{it}^{NA} = BEW_{it-1} * p_{it} * (1 - m_{it}) * w_{it} \quad t = 1860, 1861 \dots 1960 \quad [8]$$

Como suma del consumo de las zonas con acceso y sin acceso, podemos estimar el consumo de BEW total que se puede desagregar de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} BEW_{it} &= BEW_{it}^A + BEW_{it}^{NA} \\ &= BEW_{it-1} * p_{it} * w_{it} (1 - m_{it} (1 - r_{ts})) \end{aligned} \quad [9]$$

El modelo se valida para los años de 1930 y 1960 utilizando la siguiente ecuación, siendo BEW_{ij}^* , la estimación del consumo de leña en base a variables de oferta:

$$BEW_{it}^* = BEW_{it} * w_{ij} * (1 - m_{ij} (1 - r_{ts})) \quad [10]$$

3.2.2. Consumo de leña desde 1960

En 1940 se publicó en España la primera serie estadística que ofrecía información de la extracción de leña forestal, una estimación asimilable a la de consumo. Hasta la fecha solo contábamos con información relativa a los montes de utilidad pública que, por otro lado, era fragmentaria, cuando no imprecisa. La publicación de 1940, como se recoge en Infante-Amate et al. (2014), ya avisaba de que, aun recogiendo la información de los montes privados por primera vez, seguía siendo insuficiente. Bien entrada la década de 1940 se ofrecían resultados corregidos que muchos trabajos han tomado como fiables. Sin embargo, tiempo después, la serie ha incluido cambios metodológicos relevantes que cuestionan la fiabilidad en el largo plazo de la misma:

i) En 1956 empezó a contabilizarse el tojo, inflando los resultados de manera excepcional: en la Estadística Forestal de 1960 se apunta que las cortas de leña ascendían en el país a 17.6 millones de estéreos. En un pie de página se apuntaba que el tojo, incluido en tales cortas, ascendía a 9 millones. Hasta entonces no se había contabilizado en las series de extracción.

ii) En sentido análogo, en 1958, la fuente empezó a contabilizar una partida indefinida de “leña obtenida fuera del monte”.

iii) En el año 1961 se incluyó una partida titulada “sin clasificar” que llegó a ascender hasta el 44% en 1979. Fue incluida, según parece, para ajustar el dato de extracción total derivado de estimaciones provinciales (GEHR, 2003). Esto es, la fuente ofrecía información a nivel provincial que, sumado, ofrecía valores que luego eran corregidos incluyendo esa partida “sin clasificar”.

iv) Desde 1973 se elimina de la serie de cortas de leña aquella parte la misma destinada a las camas de ganado. Este ítem está íntimamente relacionado con las cortas de tojo (Soto, 2015).

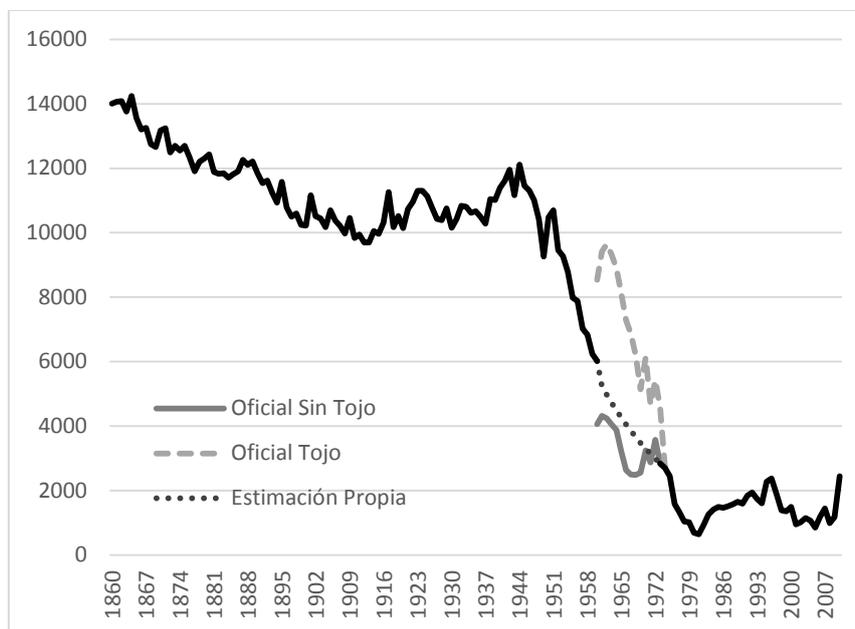
Estas variaciones tan bruscas en la recopilación de la información hacen dudar de la fiabilidad de las series oficiales. Como puede observarse en la figura 3, la contabilización realizada por la fuente original a partir de 1946 establece un nivel de extracciones de leña extremadamente bajo para la época, que no coincide con nuestros cálculos ni con otras estaciones realizadas en ese momento, que situaban el consumo de leña en un mínimo de 11 millones de toneladas en la década de los cuarenta (Robert, 1957). La introducción en la fuente de la leña de tojo a partir de 1956 hace subir considerablemente la serie oficial y la sitúa en unos niveles similares a nuestros cálculos a mediados de los cincuenta. Sin embargo, el problema de dar por buena esta serie con tojo es que sabemos que una parte importante del mismo no se utilizaba como combustible, sino que era usado para otros fines en las explotaciones agrarias (cama de ganado y fertilización, principalmente) (Soto, 2015). Teniendo en cuenta que resulta imposible conocer con exactitud las cantidades de leña destinadas a esos usos, la solución adoptada ha sido la de ajustar nuestra serie con final en 1960 al dato de 1973, que entendemos como fiable ya que es el último en el que documentamos cambios metodológicos relevantes. La conexión entre ambos puntos la realizamos con la tasa de variación anual que ofrece la fuente. Como puede observarse en la figura 3, nuestro ajuste se sitúa en un punto intermedio entre las series oficiales con tojo y sin tojo en los años setenta. Creemos que todo ello hace nuestro ajuste bastante fiable.

Siendo a la tasa de variación que ofrece la fuente entre 1961 y 1973, la estimación, por tanto, sería así:

$$BEW_j = BEW_{j-1} * a_j \quad t = 1961, 1962 \dots 1973 \quad [11]$$

Figura 3

Consumo de leña forestal enfatizando la estimación realizada entre 1960 y 1973 que se compara con el dato oficial de consumo sin tojo y con tojo (azul) [Miles de toneladas].



A partir de 1973, nuestra serie se basa completamente en las estadísticas oficiales, aunque eso no es óbice para que sigamos mirando los datos con cautela. Desde 2005, empezó a publicarse un nuevo anuario de estadística forestal que incluía una reestimación del consumo de leña desde 1990. El dato de 2005, mostraba una caída del 23% en relación al año anterior. Se afirmaba que era debido a la ausencia de datos de algunas provincias. El último de nuestra serie, el de 2010, duplica el dato de 2009. Se informa de que esto es debido a cambios en la metodología empleada en alguna región, dejando la duda de si habría que duplicar la serie en años anteriores. Además, es posible que un parte -indeterminada- de la leña extraída en años recientes tenga usos no energéticos. Algunos trabajos han sugerido que parte de la misma podría estar destinándose a “pasta o tableros” (González y Ríos, 1999). Habida cuenta de que será una cantidad pequeña e imposible de determinar, seguimos suponiendo que las extracciones de leña se destinan a usos energéticos. En cualquier caso, como mostraremos más abajo, contamos con otras estadísticas de consumo de bioenergías en forma de biomasa leñosa que sirven para validar nuestra serie por la parte de la demanda.

En el caso de la leña de cultivos, el procedimiento de estimación entre 1960 y la actualidad no varía en relación al seguido para antes de 1960 y que se detalló más arriba. Para el caso del olivar, se modelizaba siguiendo la propuesta de Velázquez-Martí (2011b); en el caso de la viña y los frutales, se estimaba en base a revisión de literatura. A esas cantidades asignamos un factor de uso para fines energéticos basado en otros trabajos (Infante-Amate et al., 2014).

3.3. Stocks de biomasa leñosa

La estimación del stock de biomasa leñosa desde 1960 se puede realizar en base al IFN. El IFN aporta información a nivel provincial desde c. 1960 hasta la actualidad, para 3-4 puntos temporales en cada provincia, de la densidad de biomasa leñosa por hectárea. En concreto entre 1965 y 2009.¹⁶ De esta forma podemos obtener de manera directa el stock para tales años y en cada provincia.

El reto está en estimar el stock para períodos anteriores a 1960. Éste está determinado por el nivel de la superficie arbolada y por su densidad (biomasa por hectárea). La densidad, a su vez, está fuertemente determinada por:

i) La geografía. Las regiones más áridas tienen menores niveles de NPP, lo que condiciona densidad potencial por hectárea. Los datos recientes del IFN muestran claramente estas divergencias. Poniendo dos casos extremos recientes: en A Coruña la densidad de C ha⁻¹ era de 89.8 t mientras que en Almería era de 20.9 t.

ii) El uso del suelo. Las coníferas presentan densidades mayores que las frondosas. El IFN diferencia entre coníferas y frondosas. En el IFN3, por ejemplo, se apunta que en la media española las coníferas tienen 0.17 m³ por pie mayor, mientras que en el caso de las frondosas es de 0.10 m³.

iii) El manejo. Cuando no contamos con mediciones (esto es, antes de 1960 cuando no contamos con el IFN) es más difícil medir este ítem. En una provincia y una especie arbórea dada, la densidad puede cambiar a lo largo de la historia por el manejo que se haga de la misma. Volviendo a los ejemplos de más arriba: en Almería la densidad estimada en 1970 era de 6.1 t C⁻¹ ha⁻¹ mientras que hoy en día es de 20.9. La diferencia no se explica solo por el cambio en el uso del suelo (más coníferas), sino que tiene que ver con el cambio en el manejo, principalmente por el abandono de muchas superficies que han visto crecer el stock al no ser manejadas. En el siglo XIX se presume un proceso contrario: clareamiento de las zonas leñosas que haría caer la densidad. Antes, es imposible conocer con medidas directas el efecto del manejo, aunque sí podemos inferirlo.

Entre 1860 y 1960, operamos de la siguiente forma. Estimamos el S en cada provincia *i*, cada uso del suelo *j* y cada año *t*, así:

$$S_{ijt} = LU_{ijt} * d_{ij1960} \quad t = 1860, 1870 \dots 1960 \quad [12]$$

Siendo *LU* el uso del suelo y *d* el factor de densidad de biomasa por hectárea.

Para estimar los años intermedios entre cada estimación (ya que solo contamos con información para años acabados en 0), actuamos así: aun tomando como referencia la serie de S estimada, al contrastarla con los valores de WBP y WBA para validar la ecuación 1, utilizamos las tendencias anuales de estas dos variables y en base a ellas,

¹⁶ Para el IFN1 los datos van de 1965 a 1974 según la provincia; para el IFN2, de 1986 a 1996; para el IFN3, de 1997 a 2008. Para el IFN apenas contamos con información para 6 provincias entre 2008 y 2009.

corregimos la serie de S para integrar el efecto del manejo. Esto es, se ha corregido para algunos períodos históricos en los que el dato de extracción marca tendencias históricas reconocibles (como durante la Primera Guerra Mundial o la Guerra Civil)¹⁷. En la tabla 2 resumimos las asunciones metodológicas y la fiabilidad de las mismas para cada período histórico.

Aun con todas estas asunciones, creemos que la estimación del S leñoso es la más robusta de las estimaciones que realizamos en este trabajo y facilita, por tanto, la validación del resto de cálculos (ver ecuación 1).

Tabla 2

Fiabilidad de la estimación del stock leñoso forestal

Período	Fiabilidad	Basado en...
1960-2010	Alta	Densidad de biomasa anual por tipo de especie (frondosas y coníferas) y según el uso del suelo de cada provincia
1910-1960	Media	Densidad de biomasa de 1960 por tipo de especie (frondosas y coníferas) y según el uso del suelo de cada provincia
1860-1910	Baja	Densidad de biomasa de 1960 por tipo de especie (frondosas y conífera) estimando el uso del suelo hasta 1860 y distribuyéndolo provincialmente como en 1910, primera estimación fiable de uso del suelo provincial

En el caso de los cultivos, la estimación ha sido más directa y se basa en lo propuesto en Infante-Amate et al. (2014). En este trabajo se estimó el peso medio de cada pie según su edad y, contando con información de la densidad del arbolado por hectárea, fue posible estimar la densidad de biomasa. La estimación se realizó en base a revisiones de literatura e incluso a revisiones de lugares de venta de árboles ornamentales que ofrecían información de la edad y el peso de cada ejemplar.

¹⁷ La serie del IFN solo se ha modificado para el caso de Cuenca, que ofrece unos resultados de densidad que creemos que son erróneos. En el IFN1 la densidad ascendía a 80.08 m³ de biomasa aérea, cayendo a 40.78 en el IFN2 y volviendo a subir en el IFN3. Hemos corregido el dato del IFN1 utilizando el factor de crecimiento medio de la región.

3.4. Resto de bioenergías

3.4.1. Otras biomásas como fuente de energía primaria

3.4.1.1. Residuos de la industria maderera

Suponen un ítem no despreciable en términos cuantitativos que nunca se incluye en series históricas y del que se tiene poca información primaria. La nueva estadística forestal ofrece una sección titulada “balance de la madera” en la que, a modo de diagrama de Sankey, se informa de los principales usos de los flujos de madera en España desde 2005. A través de ella es posible inferir el porcentaje tanto del consumo como de la extracción total de madera utilizados como bioenergía (MAPAMA, 2017b). En el caso del consumo, los rangos obtenidos se mueven entre un 20% y un 31%, en el de la extracción, entre un 27% y un 36%. En años anteriores encontramos que, en 1969, la estadística de transformación de la madera (MA, 1969) apuntaba que alrededor de un 60% de la madera en Vcc la representaban las elaboraciones (duelas, tablones, traviesas...), mientras que el resto eran otros residuos (virutas, serrines, leñas...). La parte de las leñas ascendía al 24.1%. Para 1982, el Anuario de Estadística Agraria (MAPAMA, 2017a)¹⁸, en su sección de “industrias de aserrado mecánico”, apuntaba que las leñas ascendían a un 25.7%. Estamos, pues, ante unas cifras consistentes con las ofrecidas por el balance de la madera para el período 2005-2010.

Puesto que contamos con datos de consumo y extracción de madera desde 1860, lo que buscamos obtener es la cantidad de tales flujos que se destinaban a fines energéticos. Utilizando los datos citados más arriba, tomamos el valor más bajo, situado en un 20% de las cortas de madera en Vcc, como valor constante para toda la serie.

3.4.1.2. Otros residuos agrícolas

Este apartado está compuesto por una amplia gama de residuos agrícolas que incluye la producción agraria no leñosa utilizada como BE, entre la que encontramos la paja de cereal, los residuos de almazara, las cáscaras de almendra, etc. Obviamente, no contamos con una serie histórica que los contabilice. Además, al contrario de lo que ocurre con la leña, sus usos principales no son los energéticos, de manera que una aproximación por parte de la oferta resultaría totalmente estéril, pues la biomasa con potencial para ser utilizada como energía es enorme¹⁹. Podemos resumir en tres puntos la estrategia seguida para su estimación:

i) Desde 1980 contamos con información de varias fuentes que ofrecen estimaciones de la biomasa total consumida en el país con usos energéticos. Detrayendo nuestra estimación de leña a esta serie, sería posible inferir el consumo de otras biomásas no

¹⁸ Referenciamos como MAPAMA (2017a) el conjunto de Anuarios de Estadística Agraria publicados en España desde 1904, que se recogen en la web del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente:

<http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/>

Última consulta: 11 de marzo de 2017.

¹⁹ Solo consideramos la biomasa con mejores condiciones para ser utilizada en los usos energéticos no alimentarios. En Soto et al. (2016) se ofrece una estimación de los flujos totales de biomasa en España.

leñosas. Los anuarios de la energía en España (METAD, 2017)²⁰ ofrecen información entre 1990 y 2010 del consumo de BE (incluyendo aquí también los UIW, que nosotros desagregamos fuera de la categoría estudiada en este epígrafe). IDAE (2017a) ofrece información sobre la energía final consumida como biomasa que, tras convertirla a energía primaria utilizando conversores específicos (más detalles, abajo) y añadiendo los consumos derivados de la electricidad generada con biomasa (más detalles, abajo), permite estimar una serie de consumo de BE, como energía primaria. Esto es, hacemos dos reconstrucciones con fuentes diferentes de la misma serie. Ambas reconstrucciones no difieren sustancialmente. En 1990 son prácticamente idénticas y su divergencia máxima se encuentra en 2010 con un 15%, creemos que debido a los factores de conversión (energía primaria-final) utilizados en cada caso. Tomamos la de IDAE (2017a) ya que presenta mayor desagregación, lo que nos será de utilidad para posteriores cálculos.

ii) Otras fuentes ofrecen información fragmentaria del consumo de BE en España, no siempre ofreciendo detalle de todos los productos o series completas. Los Planes de Energías Renovables (IDAE, 2005, 2011b), por ejemplo, informan de los usos de la biomasa como energía, distinguiendo tipos de productos (pajas, orujos, leña...), así como los usos finales de la biomasa (térmicos, electricidad...) para años sueltos. EIA (2017) y la IEA (2017) ofrecen información sobre el uso de biomasa con fines energéticos desde c. 1980. En el primer caso, incluso, se detalla el consumo de biomasa para generación eléctrica en todos los países del mundo, incluido España. Otros estudios ofrecen información sectorial, como por ejemplo los usos energéticos del orujo del olivar (Infante-Amate et al., 2013) o la generación eléctrica de algunos productos agrarios determinados (v.gr. IDAE, 2007).

Nuestra estimación de consumo de energías modernas se ha basado en el uso cruzado de todas las fuentes citadas. En muchas ocasiones no eran coincidentes, pero, al contar con varios puntos de control, ha sido posible captar un nivel de consumo robusto en base a las mismas. En cualquier caso, para el período posterior a 1990 siempre hemos utilizado el nivel de consumo total ofrecido en IDAE (2017a): es la fuente oficial y ofrece un nivel de desagregación mayor que el resto.

iii) Antes de 1980 no contamos con ninguna serie al respecto, entre otros motivos porque los usos energéticos de la biomasa no leñosa no eran tan importantes como empezaron a serlo desde entonces. En 1980, el consumo de BENW era de c. 3% del consumo de la leña forestal con usos energéticos según lo estimado en el punto anterior. Nuestra estimación presume que el consumo de bioenergía derivada de residuos agrarios se movió entre un 2% y un 3% de la leña total entre 1860 y 1980. Es una cifra tentativa, pero la única viable (basada en 1980) habida cuenta de la total ausencia de referencias más allá de algunas evidencias cualitativas. En Iriarte-Goñi e Infante-Amate (2014) ofrecíamos algunas evidencias fragmentarias de su posible uso en base a una revisión de documentos históricos que citaban consumos de pajas, estiércoles, u otros residuos industriales. Igualmente, tales fuentes evidenciaban que su consumo era residual en el caso de España, a saber:

²⁰ Referenciamos como METAD (2017) los anuarios de consumo energético publicados por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, disponibles online desde 2001 en el siguiente link:

<http://www.minetad.gob.es/ENERGIA/BALANCES/BALANCES/Paginas/Balances.aspx>

Última consulta: 11 de marzo de 2017.

En el JCA (1915) se aportan datos de los usos de los productos de los aprovechamientos de cereales y leguminosas para todas las provincias de España, detallando los usos de pajas, rastrojeras y barbechos. La gran parte se destina a alimentación humana y animal y, aunque se señalan algunos usos menores como industrias o embalajes, las referencias a combustible son inexistentes. Abela (1877a y 1877b) apunta el uso como combustible de la paja del cereal, las cañas de maíz o los “tallos secos”, pero siempre indicando un uso poco significativo. JCA (1914) ofrece información de los aprovechamientos de los residuos de las plantas hortícolas e industriales a nivel provincial. En el caso de las hortícolas la mayor parte de las provincias repiten el mismo uso: el alimento animal, apuntando que los tallos más nutritivos se destinaban al sustento animal, especialmente para el ganado doméstico (conejos, aves, cerdos). También se indica que podían dejar en el campo o en las estercoleras para ser reutilizados como abono. De hecho, sólo en la provincia de Barcelona se apunta, en relación a las hortalizas, que “algunas veces se aprovecha como combustible” (JCA, 1914: 174). La misma fuente ofrece información de los usos de los subproductos de los cultivos industriales. Su uso como combustible no es mayoritario, pero sí es mayor que en el caso del cereal y los hortícolas. Tres provincias aluden al consumo en forma de combustible de la agramiza, residuo del cáñamo²¹. También se cita el uso de los tallos del anís en Cuenca²² y la leña de las moreras en Murcia²³. Otras fuentes aportan información sobre el uso como biocombustible de las plantas industriales. Cortés y Morales (1884a, 1884b y 1884c) publicó una serie de libros en los que trataba la naturaleza de las plantas industriales, así como los aprovechamientos y usos de las mismas. En ellos se señalaban varios cultivos cuyos subproductos, en ocasiones, eran utilizados como combustible, aunque no se hacía referencia, tampoco aquí, a un uso significativamente relevante.

En suma, sabemos del uso energético de ciertos residuos no leñosos de algunos cultivos, pero las mismas fuentes que documentan su uso reflejan que fue muy limitado.

3.4.1.3. Residuos urbanos

Representan un ítem cada vez más importante y que hemos decidido separar de la biomasa leñosa y de la biomasa derivada de residuos forestales y agrícolas. En la actualidad casi alcanza más del 10% de la energía primaria total derivada de la biomasa, cuando hace apenas un par de décadas su uso era casi inexistente. La estimación se basa en dos fuentes principales: primero, el último Plan de Energías Renovables (2011b), que ofrece información sobre uso de UIW para varios años; segundo, los anuarios de energía (METAD, 2017), que ofrecen el porcentaje de RSU sobre el consumo total de energía en el país. Ambas aproximaciones, a veces no convergentes, son la base de nuestra estimación, que, como apuntábamos antes, recoge un uso relativamente reciente. También es importante señalar que históricamente pudieron tener un uso recurrente (residuos humanos solidificados, productos hechos de madera

²¹ En concreto, Tarragona, donde se apunta que “la agramiza del cáñamo se utiliza además como combustible” (JCA, 1914: 394). Burgos: “lino y cáñamo para quemarlo” (p. 328). En Baleares: “como residuo del cáñamo merece citarse la agramiza, que se utiliza como combustible” (p. 436).

²² Se apunta: “tallos secos o paja que quedan después del apaleado, sirven de combustibles” (JCA, 1914: 308).

²³ “Cada dos o tres años se poda, aprovechándose la leña como combustible” (JCA, 1914: 413).

que se desechaban...), pero por limitado y difícil de estimar hemos decidido obviarlo hasta que contamos con fuentes fiables.

3.4.2. Usos finales de las bioenergías

Desde 1990, IDAE (2017a) aporta información sobre consumo final de bioenergías distinguiendo biomasa, biogás y biocarburantes. Como decíamos más arriba, esta estimación es la que usamos como base del consumo de bioenergía total desde 1990.

En este caso, la electricidad representa el mayor problema habida cuenta de que la citada fuente no detalla qué parte de la misma se genera con biomasa. Tenemos varias opciones para abordar su estimación. EIA (2017) ofrece directamente datos de la electricidad generada con biomasa y residuos renovables en España desde 1980. Por otro lado, los dos Planes de Energías Renovables informan de la cantidad de biomasa destinada a generación eléctrica entre 1999 y 2010 (IDAE, 2005, 2011b). Creemos que esta última fuente, por su origen local, es más fiable y, por tanto, será la utilizada entre 1999 y 2010. Antes, utilizamos el factor de variación anual de la serie de la EIA (2017) hasta 1980. En ese año, 1980, el valor de la serie estimada y la de la propia EIA (2017) son coincidentes. Es posible que antes de 1980 la biomasa se utilizase para la generación de electricidad, pero no contamos con información para hacer ninguna estimación y, dado que el dato de 1980 es muy bajo, decidimos iniciar la serie en tal año.

En el caso de los biocarburantes, el consumo se data tras 1990, cuando IDAE (2017a) empieza a ofrecer datos seriados, por lo que no es necesario realizar ninguna estimación adicional para años anteriores. En el caso del biogás, ya está presente en 1990, por lo que es plausible que su consumo se iniciase antes de tal fecha. Asumimos que su consumo se inicia junto con el de la electricidad generada con biomasa, en 1980. Utilizamos la tasa de crecimiento de la electricidad para estimar la serie de biogás entre 1980 y 1990. También aquí iniciamos la serie en 1980 aunque su consumo pudo ser anterior.

4. Resumen de resultados

El objetivo de esta sección es ofrecer un resumen de los principales resultados de nuestro proyecto aportando una visión de las grandes tendencias que revelan. Son un anticipo y una síntesis a las series estadísticas ofrecidas al final del documento. Este apartado, por tanto, no es un apartado de análisis y de discusión de resultados, para lo que plantearíamos otros textos *ad hoc* y en los que se citará este trabajo como referencia metodológica y estadística.

4.1. Producción y apropiación de leña

La figura 4 resume la tendencia de largo plazo de producción leñosa (WBP) y de apropiación leñosa (WBA). Ambos indicadores han mantenido una evolución análoga

(entre 20-25 Mtons) hasta la década de 1960, cuando muestran un fuerte desacople, habiendo crecido la WBP rápidamente y habiéndose estabilizado la WBA. El aumento de la WBP se ha debido a la introducción de nuevas especies y su relocalización en provincias más productivas. La estabilización de la WBA se ha debido principalmente al abandono de los aprovechamientos leñosos del monte, aunque este ha estado combinado a aumentos de la WBA para usos no energéticos ya que la producción y apropiación de madera ha crecido, sobre todo desde los años setenta. Ello se debe a que el cambio en las especies forestales, tendente a la promoción de aquellas de crecimiento rápido para uso maderero, ha hecho que algunas superficies sean mucho más productivas y que, por lo tanto, los niveles de apropiación se hayan mantenido estables e incluso hayan crecido. Esto no invalida el hecho de que la mayor parte de las superficies leñosas forestales en el país se hayan abandonado y que el stock, como veremos más abajo, se esté multiplicando. La tendencia de estabilidad en la apropiación total también se explica por el aumento en el caso de la leña apropiada en zonas de cultivos que también compensa la brusca caída de la leña no apropiada en zonas forestales.

Entre 1860 y principios del siglo XX, observamos una pauta en sentido contrario: la apropiación superaba a la producción. Ello era debido a un fenómeno combinado: por un lado, deforestación, con caída de los usos del suelo leñosos; por otro lado, un proceso de degradación, esto es, pérdida de densidad leñosa por hectárea debido a los arranques de pies en muchas zonas forestales. Este proceso se interrumpió debido al creciente peso de las zonas leñosas cultivadas, a la lenta pero estable penetración de superficies madereras en algunas partes del país y a la entrada de las energías modernas, que hizo que algunas zonas forestales empezaran a abandonarse.

Entre 1914 y la década de 1950, encontramos un aumento en la WBA que contrasta con la caída que venía teniendo lugar desde 1860. Ello se debe a las crisis del carbón (con un fuerte aumento de precios) en el contexto de la Primera Guerra Mundial. La crisis continuó por la Guerra Civil y por los efectos de la autarquía, que derivaron en una vuelta a la leña; intuimos que en sectores económicos y grupos sociales determinados, aunque no podamos profundizar en este hecho de momento.

En el caso de los cultivos leñosos, la producción y la apropiación no han dejado de crecer. Ello se debe a que la superficie ha crecido ininterrumpidamente (salvo en casos excepcionales como el de la viña a finales del XIX y principios del XX por la filoxera) y también a que su productividad ha sido creciente. Los cultivos leñosos han tendido a incorporar irrigación, fertilizantes y otros manejos e insumos que han multiplicado su productividad. Aunque el objetivo principal de la industrialización de tales manejos es el aumento de la producción del fruto (aceitunas, uva, naranjas...), el resto de biomasa también tiende a crecer y, en consecuencia, la producción leñosa también lo ha hecho. Vemos que en este caso la diferencia entre WBP y WBA es leve, lo que explica un lento pero continuado crecimiento del stock leñoso por hectárea en las zonas de cultivo. Esto se debe a que los cultivos deben ser manejados anualmente (mediante podas) para su correcto desarrollo productivo y están sometidos cada cierto tiempo a un proceso de renovación. La pequeña diferencia entre ambas variables deriva en un crecimiento de la densidad.

Figura 4

Producción y apropiación de leña [Millones de toneladas]. Se distingue tipo de aprovechamiento. Las tres figuras de arriba son iguales a las de abajo, solo se diferencian por que las de arriba tienen el eje de ordenadas es fijo. Fuente: ver apartado 3.

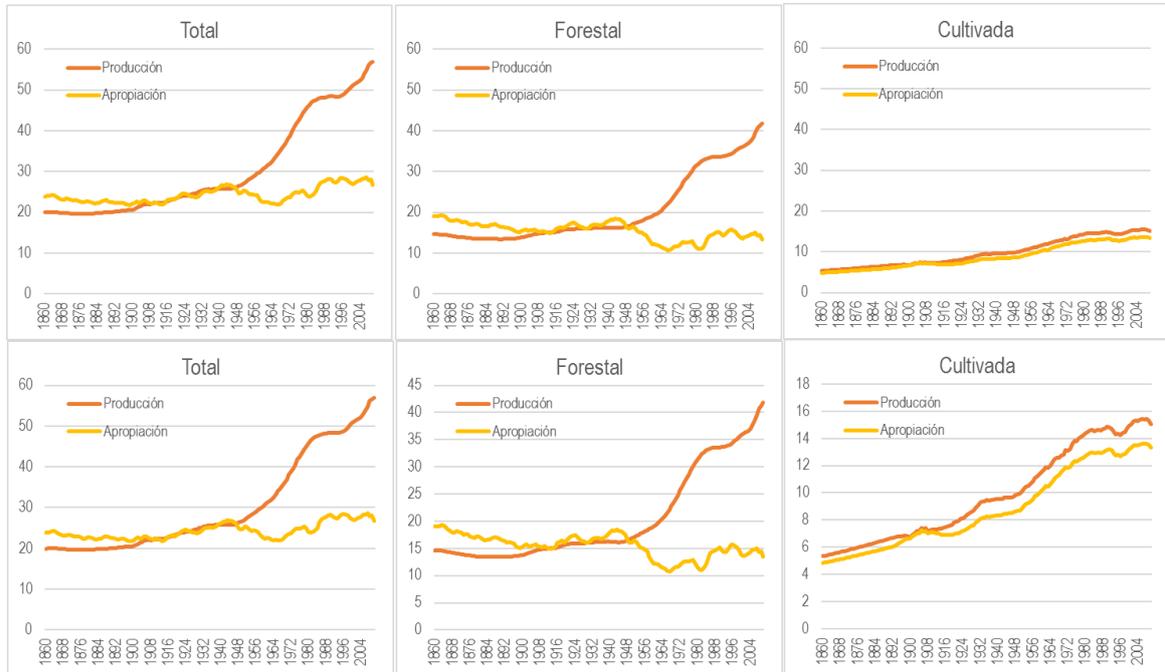
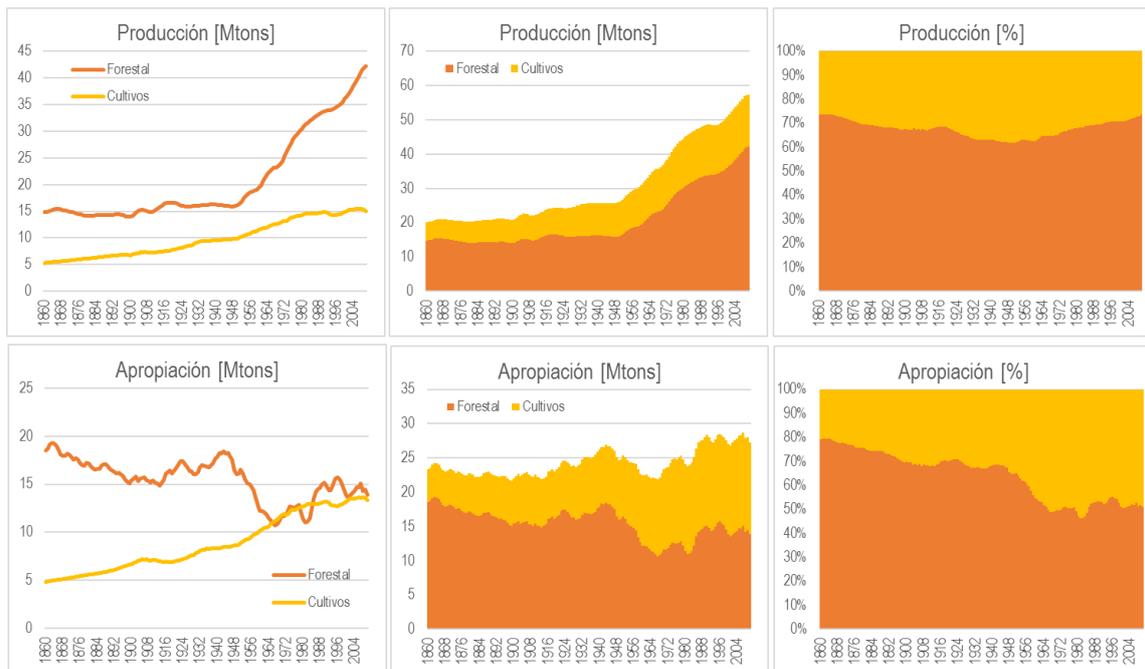


Figura 5

Producción y apropiación de leña [Millones de toneladas]. Se distingue tipo de aprovechamiento y la participación absoluta y relativa en cada caso. Fuente: ver apartado 3.



La figura 5 muestra información más detallada de la WBP y la WBA en zonas forestales y cultivadas. Al poner en relación ambos aprovechamientos, observamos que el papel de la biomasa leñosa cultivada ha tenido cierta importancia histórica en el país. A mediados del siglo XX, ya representaba casi el 30% de la producción leñosa total. Debido a los procesos de deforestación ocurridos desde el siglo XIX fue ocupando un lugar cada vez mayor hasta casi copar el 40% de la producción. También se explica este fenómeno por el aumento de su productividad tal y como acabamos de comentar. En los últimos años ha vuelto a perder peso relativo (no absoluto) debido a que al incremento de las superficies forestales y de su productividad, desde la década de 1950, ha sido más rápido que en las superficies cultivadas.

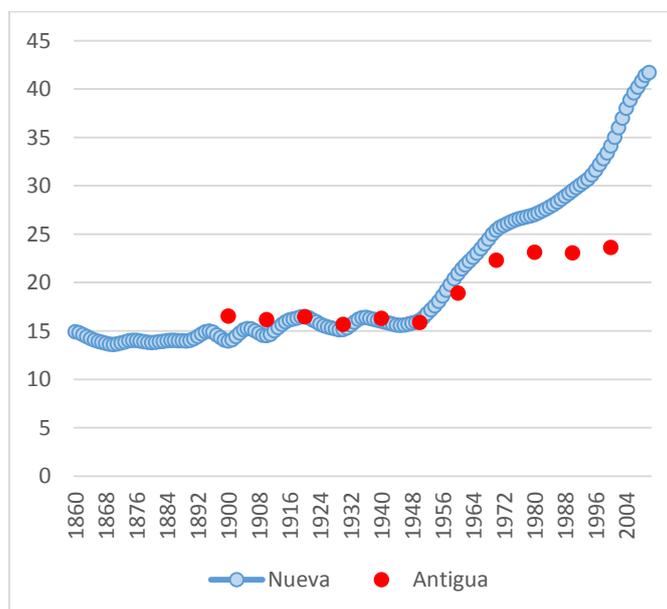
Sin embargo, en términos de apropiación, su presencia ha sido mayor. Esto se debe a que el bosque español siguió produciendo biomasa desde la década de 1950, pero buena parte del mismo no se manejaba, esto es, su biomasa no se apropiaba. Así, de la apropiación total leñosa en el país, en algunos años de las décadas de 1960 y 1970 se llegó a apropiar más leña de superficies cultivadas que de forestales. La leña perdió importancia por la entrada de energías sustitutivas, como veremos más abajo, y eso hizo que parte del monte se abandonase. Sin embargo, la leña de cultivos tenía que seguir apropiándose mediante podas para el correcto desarrollo de los árboles y los arbustos leñosos. En los últimos años, ha vuelto a ganar peso la apropiación forestal debido a las crecientes extracciones madereras.

Los datos expuestos hasta aquí difieren sensiblemente de los presentado en el trabajo de Infante-Amate et al. (2014), en el que se inspira el modelo que aplicamos. Las diferencias principales se encuentran en la WBP, aludida en el citado trabajo como NPP. El motivo de la discrepancia se detalló más arriba. La diferencia se explicita en la figura 6, la cual muestra un incremento de la producción total que continúa desde los años 70, al contrario de lo sugerido en Infante-Amate et al. (2014), donde mostraba un estancamiento desde entonces. Esto se debe a que aquel trabajo usó una productividad (casi) constante en todo el período, la cual fue aplicada a unos usos del suelo que apenas variaron desde 1960. Utilizar una productividad constante en unos años en los que los usos del suelo no cambiaron significativamente explica la estabilidad productiva de la serie anterior²⁴.

²⁴ Para el período anterior a 1960 se aplicó un factor de corrección a la baja. Desde 1960 el dato de productividad se mantuvo constante y el cambio de la tendencia se explica por el cambio en el uso del suelo y la relocalización de la producción en provincias más productivas. Nótese que la estimación de productividad se realizó a escala provincial.

Figura 6

Comparación de los nuevos resultados de producción primaria leñosa con los resultados ofrecidos en Infante-Amate et al. (2014). Fuente: ver apartado 3.



Sin embargo, utilizar nuevos datos de productividad, diferentes en cada período, explica que la productividad leñosa siguiera creciendo en tal período. La figura 7 muestra la evolución de la producción de leña por hectárea en aprovechamientos forestales y cultivados. El crecimiento en las zonas de cultivos es comprensible y se debe a la intensificación del manejo que también derivó en fuertes aumentos de la densidad de plantación (lo que abunda en tal argumento). Sin embargo, resulta más difícil explicar por qué en las superficies forestales aumentó de manera creciente la productividad leñosa. Esto se debe principalmente a tres motivos que se analizarán con detalle en futuros trabajos y que se pueden resumir así:

- i) Los usos del suelo forestales han tendido a concentrarse en las zonas más productivas del país (como la cornisa cantábrica). Esto es, ha habido un proceso de relocalización productiva que ha generado aumentos en la productividad media.
- ii) En términos generales, han aumentado las especies más productivas en todo el país (sobre todo aquellas destinadas a la producción maderera). El IFN da buena cuenta de ello.
- iii) Los datos de productividad se calculan relacionando la producción leñosa con la superficie leñosa total. Sin embargo, la superficie leñosa total no es igualmente productiva o densa, incluso dentro de una misma provincia. El abandono de muchas partes del monte en el país ha hecho que superficies antes catalogadas como forestales y que tenían un uso importante para la ganadería hoy se hayan abandonado y haya crecido su densidad y productividad leñosa. Esto aumenta la media.

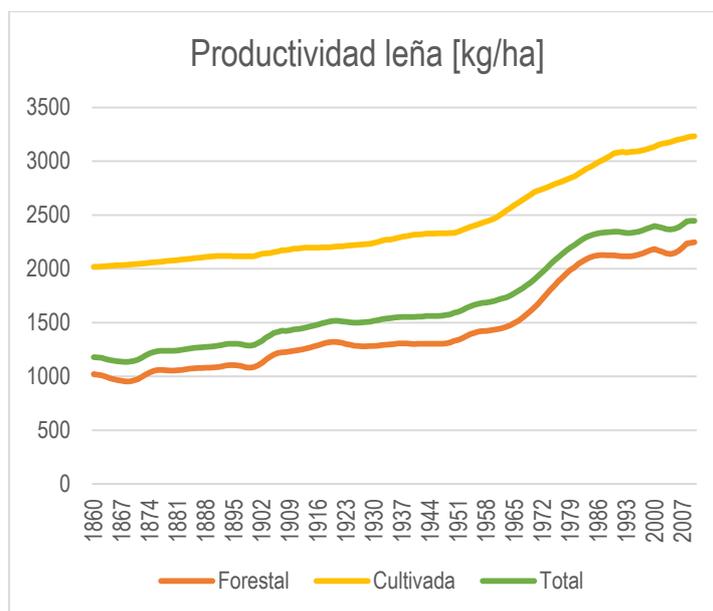
Otro aspecto que destaca en la figura 7, y que en principio puede resultar contradictorio, es que la productividad de las superficies cultivadas sea mayor que la de las superficies forestales. Esto se explica por dos hechos:

i) Todas las superficies cultivadas están manejadas y en muchos casos el manejo es intensivo (fertilización, irrigación...).

ii) La productividad forestal que ofrecemos se deriva de un promedio que incluye superficies de coníferas en la cornisa cantábrica con una productividad muy alta pero también superficies de monte abierto (casi matorral) en zonas áridas del sur. Estas superficies incluyen muchas veces manejos silvopastoriles que hacen que la producción leñosa sea poco importante, aunque esté presente.

Figura 7

Productividad de la biomasa leñosa en las zonas cultivadas, forestales y total de las superficies leñosas [kg/ha]. Fuente: ver apartado 3.

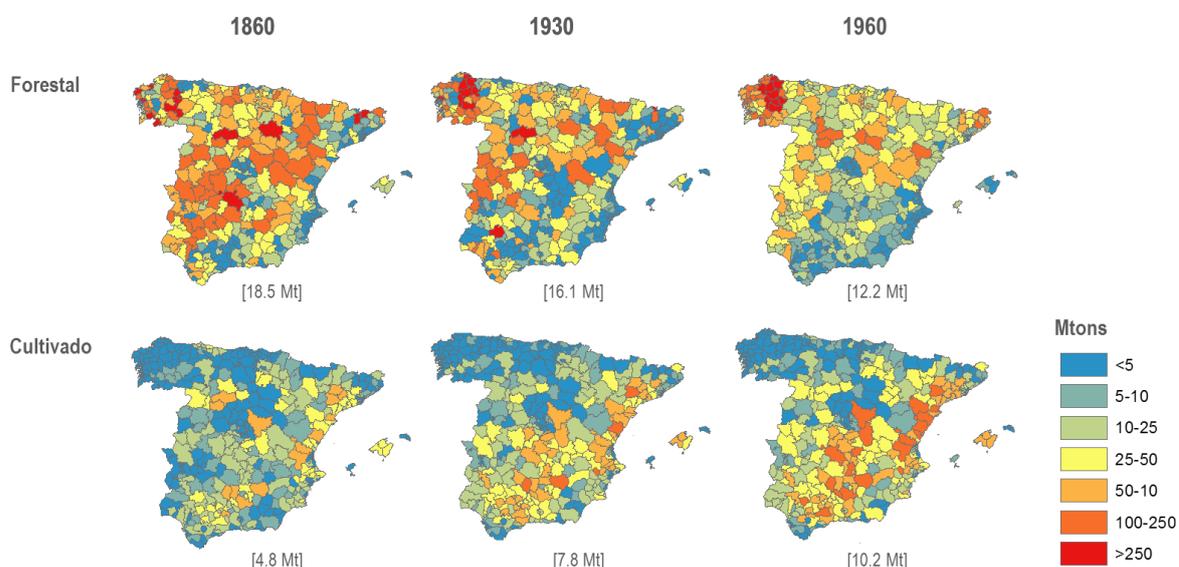


En relación a lo que acabamos de plantear, los agregados presentados hasta aquí esconden fuertes divergencias si son analizados a nivel regional. La figura 8 muestra, a nivel de partido judicial, la biomasa leñosa apropiada entre 1860 y 1960. Observamos tres patrones de interés: i) la caída en la WBA descrita en la figura 5 es generalizada en la mayor parte del país; ii) esta caída no afecta a algunos partidos judiciales de la zona cantábrica donde ya había empezado un proceso de especialización en especies de crecimiento rápido; iii) aun así, el abandono es mucho mayor en la zona meridional y en el levante, esto es, en las zonas con fuerte carácter mediterráneo; iv) ello se debe, en buena medida, a que en tales zonas la superficie forestal se sustituyó por cultivos leñosos. Observamos, así pues, un crecimiento importante de la WBA de zonas cultivadas que se concentró, principalmente, en los territorios señalados.

Tales patrones tendrán una influencia importante a la hora de explicar las pautas de consumo de leña que es a lo que dedicamos el apartado siguiente.

Figura 8

Apropiación de biomasa leñosa en los partidos judiciales de España (1860, 1930 y 1960) [Millones de toneladas]. Fuente: ver apartado 3.

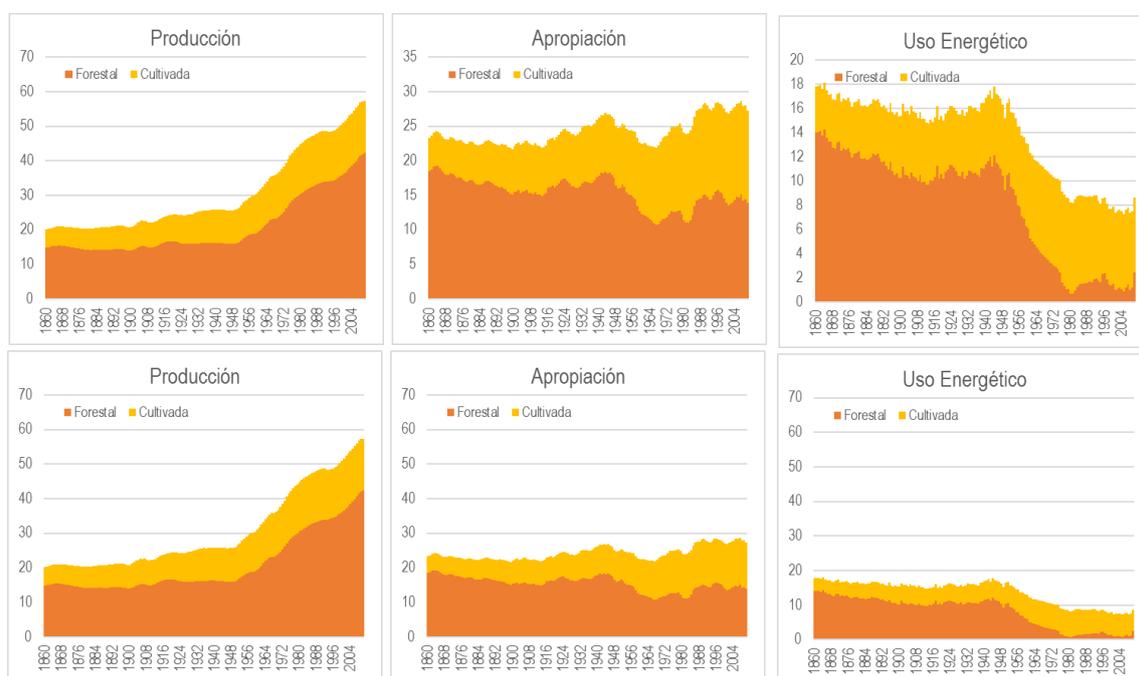


4.2. Consumo de leña

Como apuntábamos arriba, una parte de la producción leñosa es apropiada, pero solo una parte de la apropiación tiene uso energético. Estas tres fases del circuito de los flujos de la biomasa leñosa (ver figura 1) son estimadas en una serie nacional que distingue flujos forestales y cultivados entre 1860 y 2010, en la figura 9. En contextos metabólicos preindustriales, observamos una cierta estabilidad entre los tres indicadores, sin embargo, en la segunda mitad del siglo XX la pauta seguida en cada caso es divergente. La producción crece (aumentan la productividad del monte y los cultivos), la apropiación se mantiene estable (por un lado, sube la apropiación forestal y cultivada, pero otra parte del monte se abandona) y el uso energético cae radicalmente (por la transición energética, que sustituye los usos tradicionales de la leña).

Figura 9

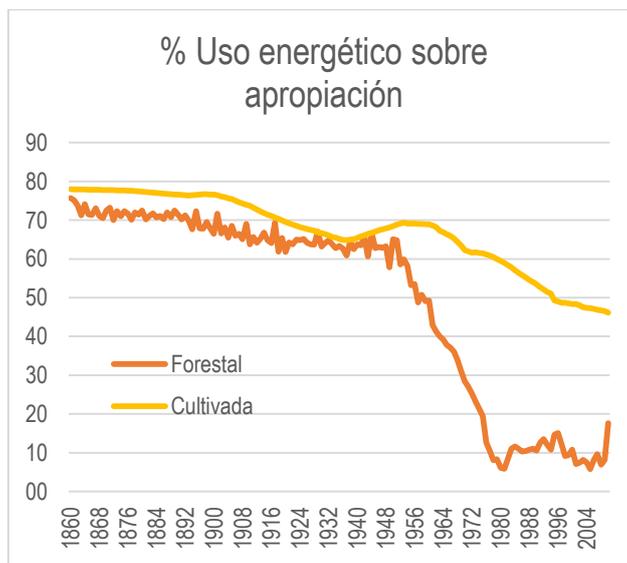
Producción, apropiación y uso energético de la biomasa leñosa [Millones de toneladas]. La segunda fila de gráficas ofrece el mismo resultado, pero utilizando la misma escala para los tres casos. Fuente: ver apartado 3.



Esos usos energéticos de la leña han pasado de representar el 60-80% de la WBA hasta la década de 1950, a caer rápidamente desde entonces (figura 10). Los patrones del aprovechamiento de la leña de superficies cultivadas y forestales siguen lógicas bien diferentes. En el caso forestal, vemos un abandono rápido en apenas dos décadas (c. 1955-1975) debido a la transición energética. Este fenómeno es el más conocido y el más recurrente en la literatura sobre el asunto: la clásica historia del abandono de la leña, que es sustituida por energías modernas. En el caso de los cultivos, la historia es diferente: el abandono no puede ser tan abrupto pues los agricultores están obligados a podar los árboles de manera regular y, en consecuencia, a hacer acopio de un flujo constante de biomasa leñosa que deben utilizar de alguna forma. Por ello, en muchas zonas rurales la leña disponible y probablemente también el consumo, paradójicamente, crecieron. Solo hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XX fueron apareciendo tecnologías que facilitaban la trituración de la poda en la finca y, en consecuencia, dejó de ser obligada su extracción fuera de la finca. Entonces, incluso la más gruesa podía recircular en los agroecosistemas. Las estimaciones al respecto son totalmente tentativas y el nivel de la caída debe tomarse con cautela, aunque hay que recordar que el dato de consumo actual está contrastado con estadísticas oficiales de consumo (IDAE, 2011a; 2017a) que revelan que éste (el consumo de leña) es muy superior al de la leña forestal extraída. Dicho de otra forma, solo sería explicable un consumo de leña total en el país tan alto como el que sugieren las estadísticas oficiales, con un consumo elevado derivado de leña de cultivos congruente con niveles análogos a los estimados en la figura 9.

Figura 10

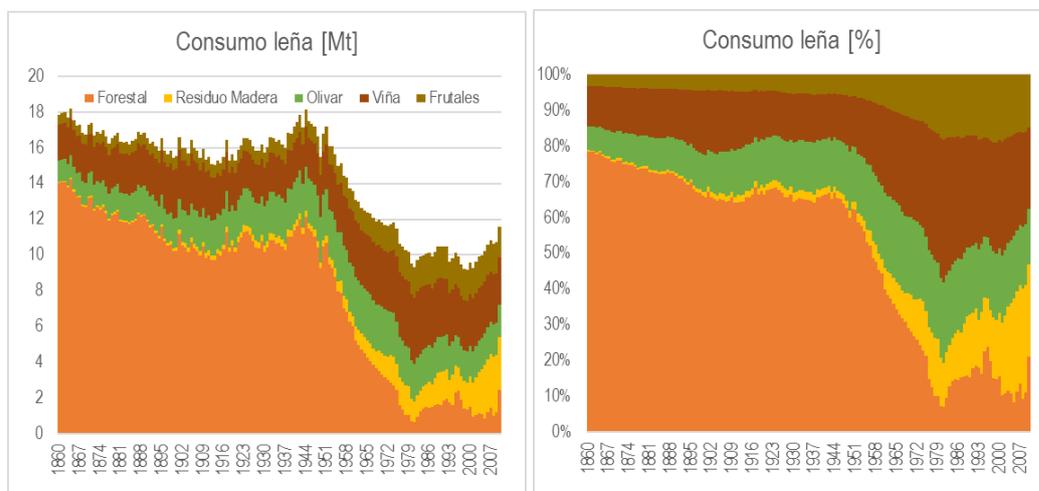
Porcentaje de biomasa leñosa con uso energético sobre la biomasa apropiada en aprovechamientos forestales y cultivados. Fuente: ver apartado 3.



La figura 11 ofrece la serie de consumo de leña en millones de toneladas y en porcentaje según tipo de biomasa consumida. La nueva serie de consumo apunta que, a mediados del siglo XIX, este debió estar próximo a los 18 Mtons. Fue cayendo paulatinamente hasta 1913 debido a la creciente participación de las energías modernas en la economía española (sobre todo, en este período, al carbón) hasta la Primera Guerra Mundial. El aumento de los precios del carbón, los efectos de la Guerra Civil y las políticas autárquicas forzaron una vuelta a la leña y una renovada presión sobre el monte. Desde la década de 1950, con la acelerada transición hacia las energías modernas, el consumo de leña se abandonó rápidamente, aunque, como venimos apuntando, el contrapeso ejercido por la leña de los cultivos hizo que la caída fuera menos abrupta que si considerásemos solo la biomasa forestal. En las últimas dos décadas, observamos un crecimiento en el consumo, explicable, principalmente, por el creciente peso de los residuos de las industrias madereras. Esto se debe al auge de nuevos usos de las energías tradicionales, por ejemplo, en calefacciones domésticas que utilizan pellets o nuevos procesados derivados de la biomasa (IDAE, 2002).

Figura 11

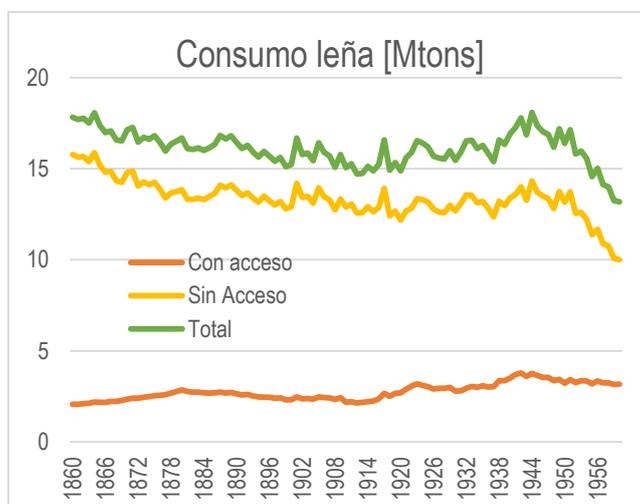
Consumo de leña según tipo de biomasa en millones de toneladas y como porcentaje del total. Fuente: ver apartado 3.



La estrategia seguida para estimar la serie de consumo entre 1860 y 1960 nos permite alcanzar detalles a escala de partido judicial, lo que, a su vez, proporciona información de interés para abrir la caja negra de los grades agregados del consumo de leña. Esta desagregación, de entrada, nos permite distinguir entre aquellos territorios con acceso y sin acceso a las energías modernas. En el apartado metodológico describíamos cómo esta distinción había sido una de las bases de nuestra estimación de consumo, sirviéndonos para discriminar, de manera diacrónica, los territorios con y sin acceso. En la figura 12 vemos cómo las zonas sin acceso copaban la mayor parte del consumo del país, mientras aquéllas con acceso, aunque cada vez eran más importantes en términos poblacionales, tenían una participación menor en el consumo total.

Figura 12

Consumo de leña en las zonas con y sin acceso a las energías modernas [Millones de toneladas]. Fuente: ver apartado 3.

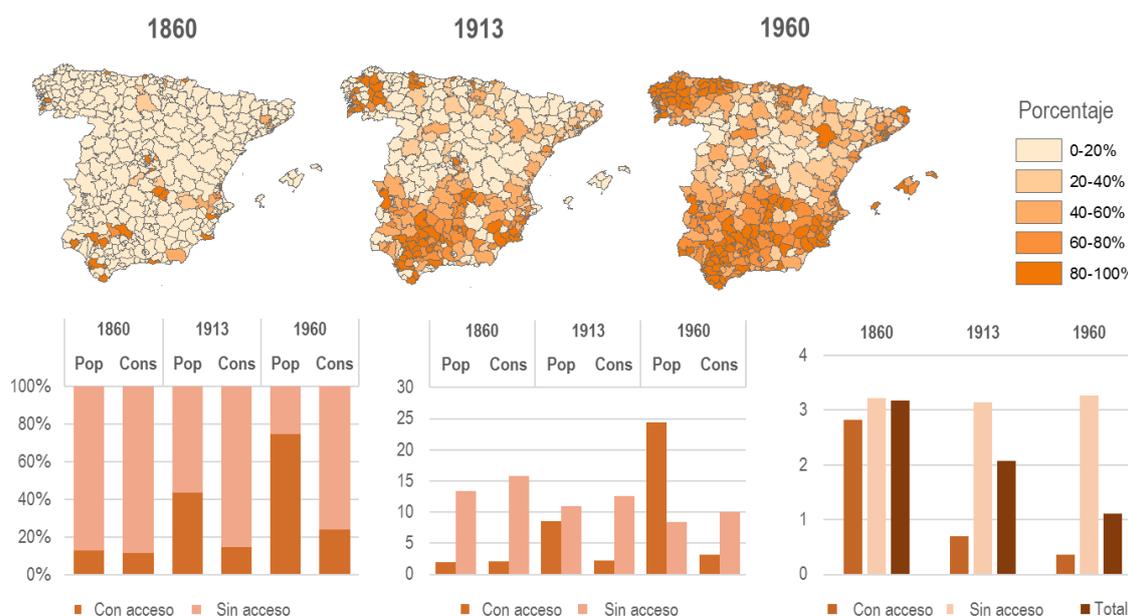


La figura 13 explora con más detalle las pautas de consumo en las zonas con y sin acceso. En 1860, la población con acceso a nuevas energías ascendía al 11,6% de la población total y consumía un 13,0% de la leña. Sin embargo, en 1913, la población con acceso había crecido hasta el 45,1%, mientras que su consumo era del 14,7%. Esos resultados informan de dos tendencias aparentemente contradictorias: su participación relativa cayó, pero el consumo total no. La población con acceso creció rápidamente como describimos más arriba y, por tanto, substituyó el consumo de leña por el de nuevas energías. Eso hizo que un número cada vez mayor de la población consumiera una cantidad menor de leña en términos relativos. Este hecho se evidencia mejor si analizamos el consumo por habitante que, entre 1860 y 1913, cayó un 76,6% en las zonas con acceso, mientras que se mantuvo relativamente estable en las zonas sin acceso. En las primeras, pasó de 2,82 a 0,66 kg hab⁻¹ día⁻¹; en las segundas, se mantuvo constante, en torno a 3,20 kg hab⁻¹ día⁻¹ (Figura 13d). Paradójicamente, en las áreas con acceso a nuevas energías, como la transición hacia el carbón mineral estaba siendo sólo parcial, el consumo absoluto de leña se mantuvo constante e, incluso, pudo ascender levemente en algunos momentos en los que la tasa de incremento de la población de esas áreas fue superior a la tasa de sustitución de leña por carbón mineral (figura 13c). Esto es, aunque el consumo por habitante cayó, la población creció a un ritmo superior y se mantuvo la dependencia general de las energías tradicionales, evidenciando las complejidades y discontinuidades existentes en el proceso de transición energética.

Figura 13

Mapas de 1860, 1930 y 1960 de población con acceso y sin acceso a nuevas energías (a). Población y consumo en zonas con acceso y sin acceso a nuevas energías en porcentaje sobre la población total en cada partido judicial (b), en millones de habitantes y de toneladas (c) y en consumo por habitante (d). Fuente: ver apartado 3.

(a) Población con acceso a energías modernas [%]



(b) Población y consumo de leña [%] en zonas con y sin acceso a energías modernas

(c) Población [millones de habitantes] y consumo de leña [millones de toneladas] en zonas con y sin acceso a energías modernas

(d) Consumo de leña en kg por habitante y día en zonas con y sin acceso a energías modernas

Estas tendencias muestran, también, fuertes divergencias regionales. En primer lugar, como venimos diciendo, la disponibilidad aparece como el primer condicionante. Hemos evidenciado que, aunque la superficie forestal cayese, eso no fue óbice para que la disponibilidad de leña total marcara una tendencia análoga, ya que donde fue sustituida por cultivos leñosos la disponibilidad fue incluso mayor. En segundo lugar, con independencia de la disponibilidad, el consumo también estuvo determinado por el clima: en las zonas más frías el consumo debió ser mayor, y viceversa. Finalmente, la geografía condicionó al consumo facilitando o limitando el acceso a nuevas energías. En la parte de metodologías explicamos con detalle cómo habíamos combinado estos tres factores para estimar una serie de consumo aplicada a 8 grandes biorregiones. La figura 14 ofrece los resultados de consumo total (eje izquierdo) y de consumo por habitante (eje derecho, que mantenemos constante en todas las gráficas para observar las disparidades). El consumo por habitante revela las grandes divergencias entre, por ejemplo, las zonas de interior localizadas a más de 1.000 metros de altura, con consumos cercanos a 5 kg hab⁻¹ día⁻¹ y que se mantuvieron a niveles elevados hasta bien entrado el siglo XX, y las zonas del Mediterráneo costero, con valores que apenas superaron históricamente 1 kg hab⁻¹ día⁻¹, debido a la accesibilidad a otras energías, pero también debido a un clima que hacía poco necesaria la leña para calefacción. Las figuras 14 y 15 ofrecen evidencias para las 8 biorregiones estudiadas.

Figura 15

Consumo de leña en kg por habitante y día en las ocho biorregiones estudiadas. Fuente: ver apartado 3.

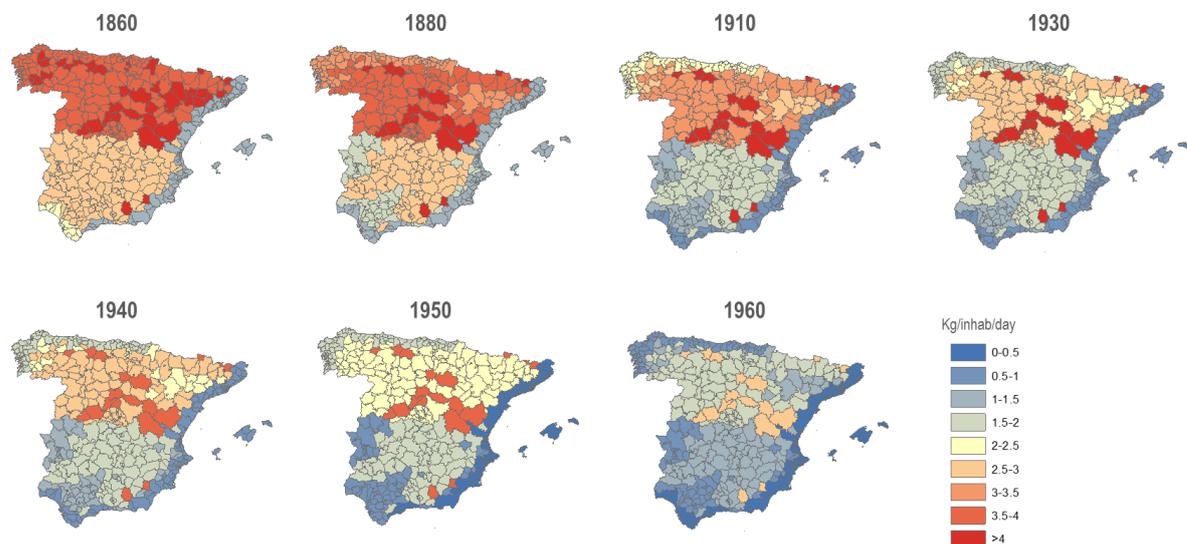
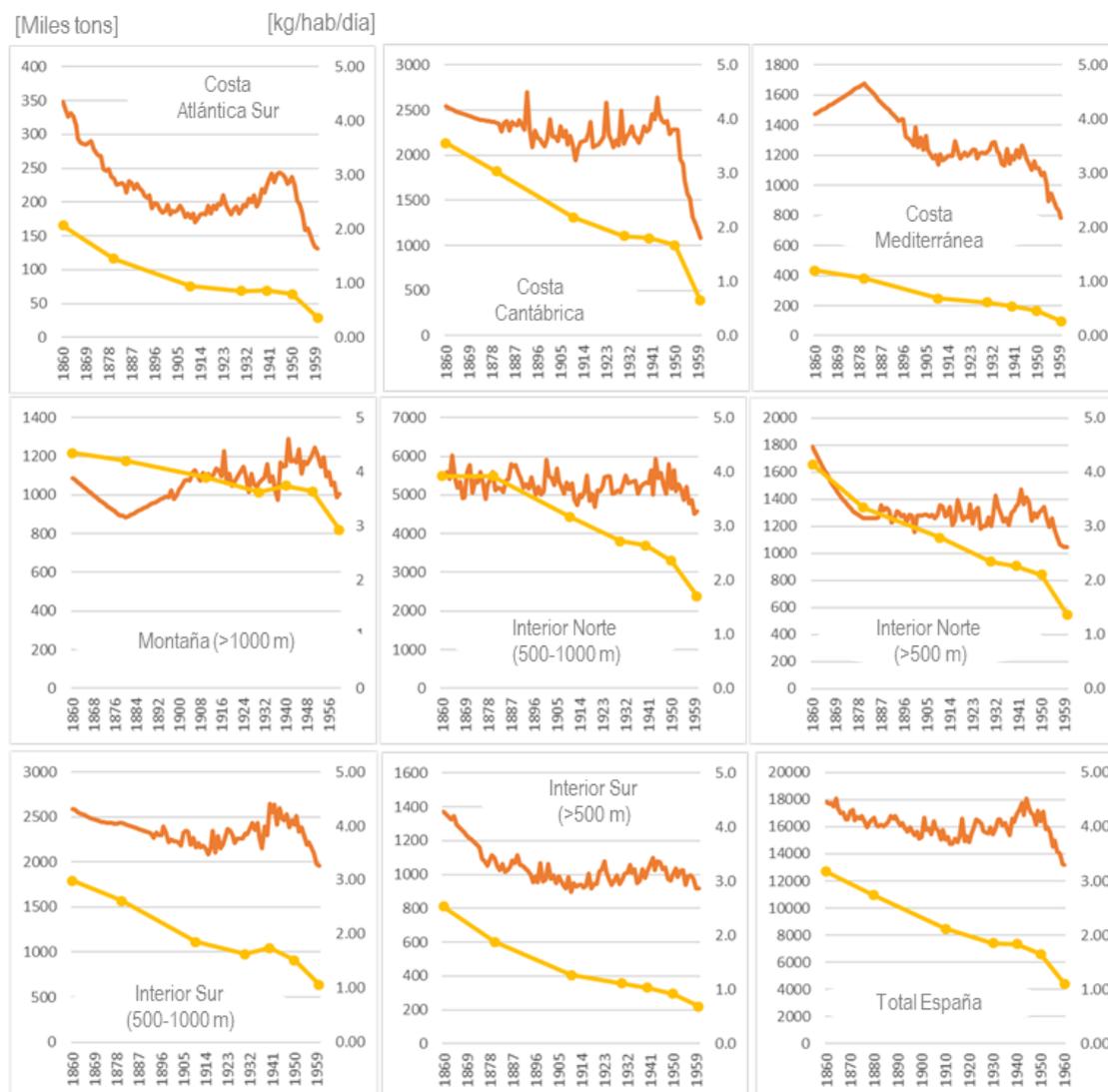


Figura 14

Consumo de leña para usos energéticos en ocho biorregiones consideradas. En el eje de la derecha, el consumo total en miles de toneladas, en el eje de la izquierda, en kg por habitante y día. Fuente: ver apartado 3.

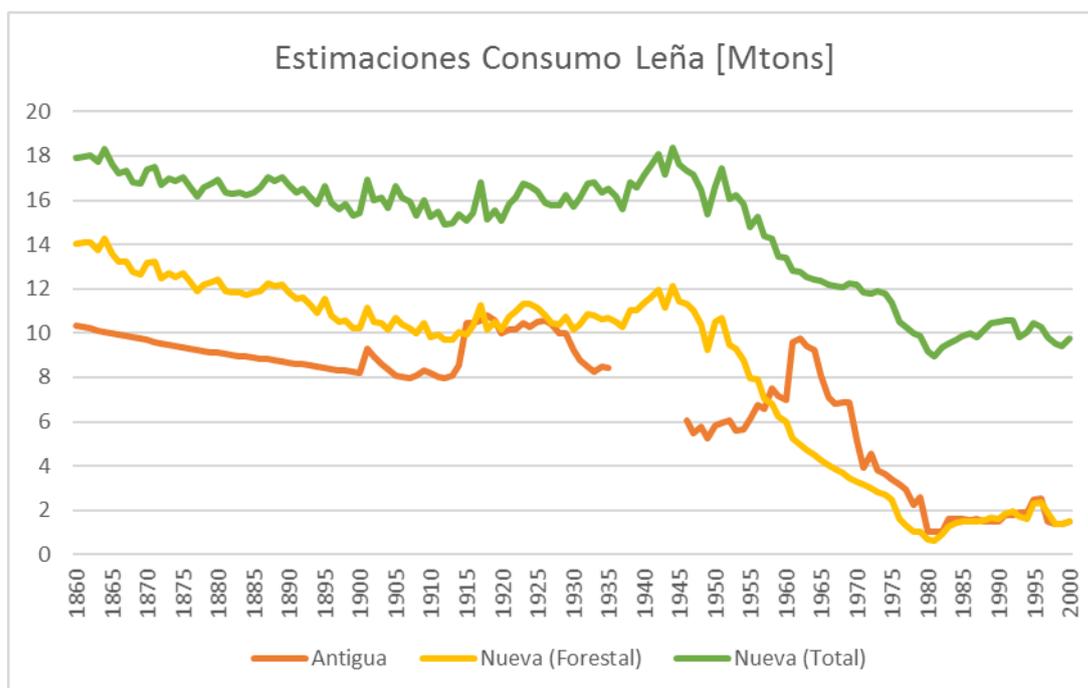


Además de ofrecer detalles del consumo por tipo de producto y desagregar los datos geográficamente, este trabajo presenta como novedad una relectura de anteriores estimaciones de consumo, que, como se hacía notar en la introducción, resultaban insatisfactorias por estar basadas en supuestos muy generales de consumo por habitante o por estar sostenidas en una información parcial, como la derivada de la producción de los montes de utilidad pública. La figura 16 da cuenta de las divergencias entre las antiguas estimaciones y la realizada en este trabajo. El consumo de leña de origen forestal a la altura de 1860 es un 30% más alto en este trabajo que en las estimaciones anteriores y, una vez añadida la leña de superficies cultivadas, el aumento casi alcanza el 80%. La tendencia general, no obstante, es análoga a la ya conocida y no invalida los principales relatos y la periodización, que abundaba en una caída lenta a lo largo de la segunda mitad del siglo XIX, un estancamiento o vuelta entre la Primera Guerra Mundial y la apertura económica franquista a finales de los años 50, y, después,

un rápido abandono del consumo de la leña. Los matices que añadimos en este relato general son tres: i) El consumo total fue mayor que el tradicionalmente asumido -de hecho, para mediados del siglo XX se triplica-. iii) La caída en el consumo a lo largo del XIX, así como la vuelta a la leña tras la Primera Guerra Mundial, no fueron tan abruptas como se había considerado previamente. iii) Tampoco el abandono de la leña derivado de la acelerada transición a energías modernas en la década de 1960 fue tan abrupto como se creía, lo que obedece, en buena medida, al papel jugado por la leña de cultivos y los residuos de la industria maderera. En cualquier caso, que tal abandono fue menos rotundo lo muestran varias estadísticas oficiales desde los años 70 (como las de industria: INE, 1962, 1973) y en la actualidad (IDAE, 2011a y 2011b) en las que se revela que el consumo siguió siendo más importante que el que se había supuesto. Como sosteníamos en la introducción de este trabajo, la fascinación generada por el auge de la economía de los combustibles fósiles hizo obviar que la leña siguió teniendo un papel determinante en muchos territorios y grupos sociales, aunque bien es cierto que su peso en términos relativos tendió a ser insignificante.

Figura 16

Consumo de leña en millones de toneladas según las estimaciones antiguas (en este caso las de Iriarte-Goñi, 2013) y las realizadas en este trabajo (que reestiman el consumo forestal y añaden el de superficies cultivadas). Fuente: ver apartado 3.



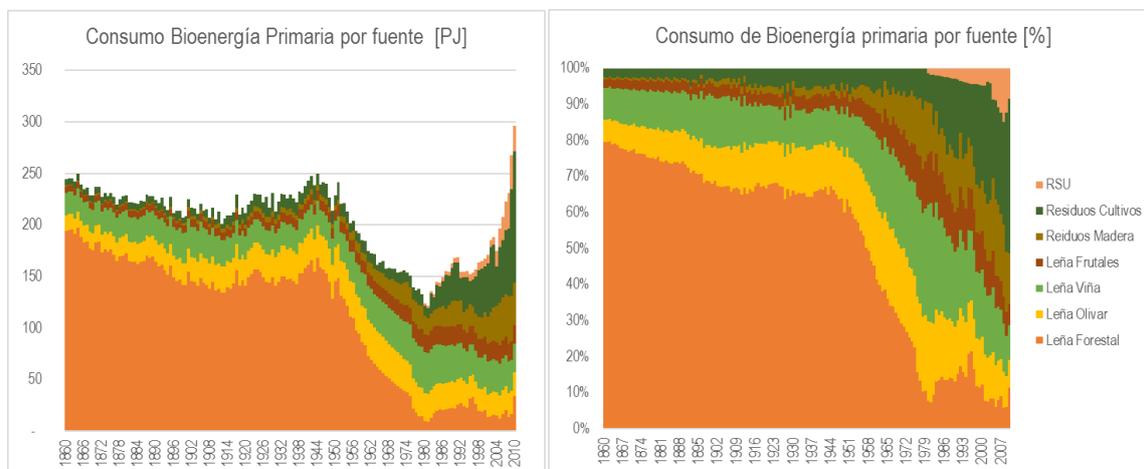
4.3. Consumo de bioenergías

La leña ha sido históricamente la parte más determinante dentro de las BE consumidas, sin embargo, no representa toda la BE consumida en un país. Tradicionalmente otros tipos de biomasa, como los residuos de cultivos herbáceos (pajas, hojas...), residuos de la industria alimentaria (orujo del olivar) e, incluso, el estiércol, se han utilizado como fuentes de energía. Su estimación en perspectiva histórica es complicada por la escasez de referencias y fuentes (ver Iriarte-Goñi e Infante-Amate, 2014). Contamos con alguna estimación para el caso del orujo, que se sabe que era mayoritariamente utilizado como combustible dentro de las propias almazaras que lo generaban, sobre todo para calentar las calderas (Infante-Amate, 2014). El resto de productos no leñosos considerados en nuestra serie, como decíamos más arriba, se ha basado en estimaciones tentativas, aunque estamos convencidos de que no fueron especialmente significativos históricamente en términos cuantitativos. En cualquier caso, no debemos obviar que, en algunas zonas, en algunos momentos históricos y para ciertos grupos sociales, pudieron ser determinantes. Desde la década de 1980, cuando empezaron a tener una mayor presencia, empezamos a contar con información más precisa sobre su uso. Las crisis energéticas de los años 70 forzaron una vuelta a biomasa como fuente energética, con nuevas legislaciones, programas públicos y privados que fomentaron su uso. Nuevos desarrollos tecnológicos dinamizaron el sector: por ejemplo, facilitando su consumo en modernas calderas a la generación de electricidad con biomasa. Desde la década de 1990 este tipo de consumos se disparó, cobrando hoy una importancia inédita.

La figura 18 muestra el consumo de BE (como energía primaria) en petajulios (PJ) y en porcentaje sobre el consumo total. La parte de la biomasa leñosa muestra la pauta descrita en el apartado anterior. La novedad está en la formidable importancia de la biomasa no leñosa, sobre todo aquella derivada de residuos de otros cultivos (aunque, en rigor, en algunos casos se refiere al fruto de ciertos cultivos). En la actualidad, este ítem, unido al de los residuos urbanos e industriales, representan más de la mitad del consumo de BE en el conjunto del país, cuando hace menos de dos décadas su uso era completamente minoritario.

Figura 18

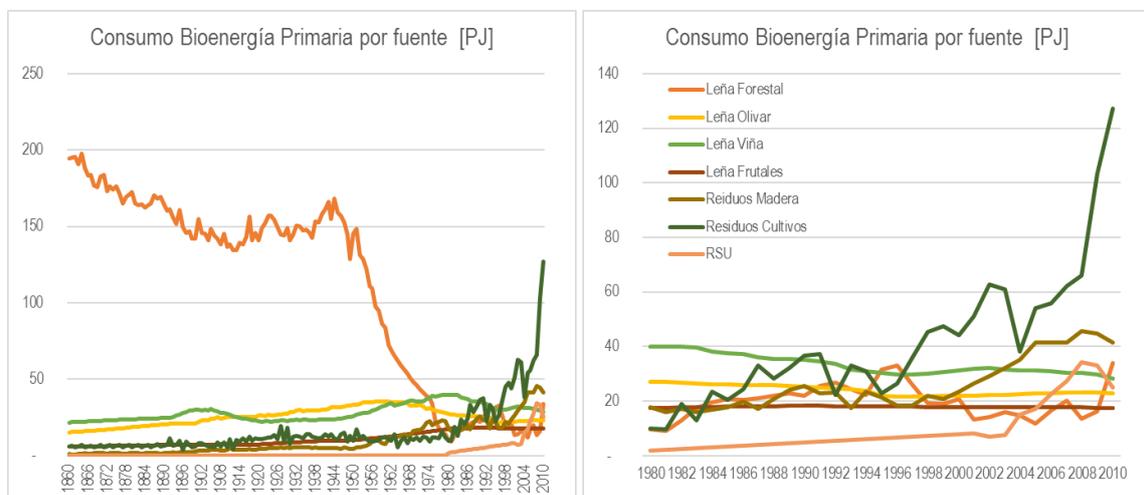
Consumo de bioenergía primaria en petajulios [PJ] y como porcentaje, distinguiendo tipos de biomasa utilizada. Fuente: ver apartado 3.



La figura 19 muestra de manera más nítida la importancia de los residuos de cultivos no leñosos. Vemos cómo hasta mediados de la década de 1990 representaba un ítem menor. Después, su consumo se aceleró rapidísimamente para alcanzar hoy 127 PJ, una cantidad que se acerca al consumo tradicional de leña en el conjunto del país desde finales del siglo XIX. Unidos los consumos de los residuos de los cultivos al resto de BE, observamos que hoy en día su consumo no solo no ha caído, sino que es muy superior al de cualquier momento anterior. Aunque la transición energética forzó una caída del consumo de leña forestal, esta se atenuó por el consumo de leña cultivada, pero, si incorporamos a este relato el resto de bioenergías, observamos que el consumo no solo no ha caído, sino que hoy en día es el mayor de toda la historia y revela una pauta de crecimiento exponencial. En 1864 el consumo ascendió a 246 PJ, el más alto documentado hasta 2009. En 2010 este había ascendido a 296 PJ, el valor más alto documentado en la historia.

Figura 19

Consumo de bioenergías por tipo de biomasa en petajulios [PJ] entre 1860-2010 y acotando el período de 1980-2010. Fuente: ver apartado 3.



La figura 20 distingue el tipo de biomasa consumida según el portador energético. Asumimos que toda la biomasa leñosa no derivada de residuos de la industria maderera es biomasa leñosa con uso tradicional, aunque sabemos que una parte de la misma tiene usos modernos, por ejemplo, siendo utilizada en modernas calderas (IDAE, 2002). Aun así, infraestimando los denominados usos modernos, observamos que en la actualidad más de la mitad de las BE consumidas tienen uso moderno. Asistimos, como se debatirá en otro sitio, a una transición bioenergética, definiendo la misma como el momento en el que los usos modernos de las bioenergías superan los tradicionales.

La figura 20 también nos informa de que dentro de las BE con mayor crecimiento destacan los biocarburantes, esto es, aquella biomasa transformada en combustible líquido cuyo uso mayoritario -como muestra por otro lado la figura 21- es el transporte. El segundo ítem lo representan los residuos de la industria maderera (considerados como biomasa con uso moderno), seguidos por el biogás y, aún con cantidades poco relevantes, por la generación eléctrica.

El tercer elemento de interés que evidencia la figura 20 es que el nivel de consumo de energía final es mucho menor al del consumo de energía primaria que mostraba la figura 18. La figura 21 muestra de manera mucho más clara este hecho: la línea discontinua (energía primaria) se desacopla de manera creciente de la serie de energía final (área) desde la década de 1990. ¿A qué se debe esto? El uso de energías modernas puede ser muy eficiente en su uso final, pero tiene mayores pérdidas en el proceso de transformación (y transporte). Esto es, la leña apropiada apenas tiene pérdidas hasta que llega al hogar para su consumo, de forma que la energía primaria y final es prácticamente análoga. En el caso de los usos modernos como el biogás, la electricidad o el biocarburante, las pérdidas en los procesos intermedios entre la apropiación y el consumo son mayores, de tal forma que la energía final es muy inferior a la primaria. A modo de ejemplo, IDAE (2017b) estima que por cada unidad de electricidad que llega a los consumidores, se han requerido 3,02 unidades energéticas de biomasa. Por ello, el consumo que contabilizamos en forma de energía primaria es muy superior al de energía final.

Solo es posible en períodos recientes discriminar el consumo de BE por sectores (utilizando la serie de IDAE, 2017a). Observamos el creciente peso del transporte, que hoy alcanza más de una cuarta parte del consumo total (26,1%), cuando hace poco más de una década no se contabilizaba su uso. El consumo en los hogares ha perdido peso relativo y hoy representa menos de la mitad del consumo de BE, sin embargo, en términos absolutos, no ha dejado de crecer. Lejos de una sustitución total, como sugiere parte de la literatura, su uso (el del consumo de bioenergías en los hogares) sigue siendo relevante en términos cuantitativos, como han demostrado algunas encuestas recientes realizadas por IDAE (2011a).

Figura 20

Consumo de bioenergías distinguiendo portador energético en petajulios [PJ] y porcentaje del total. Fuente: ver apartado 3.

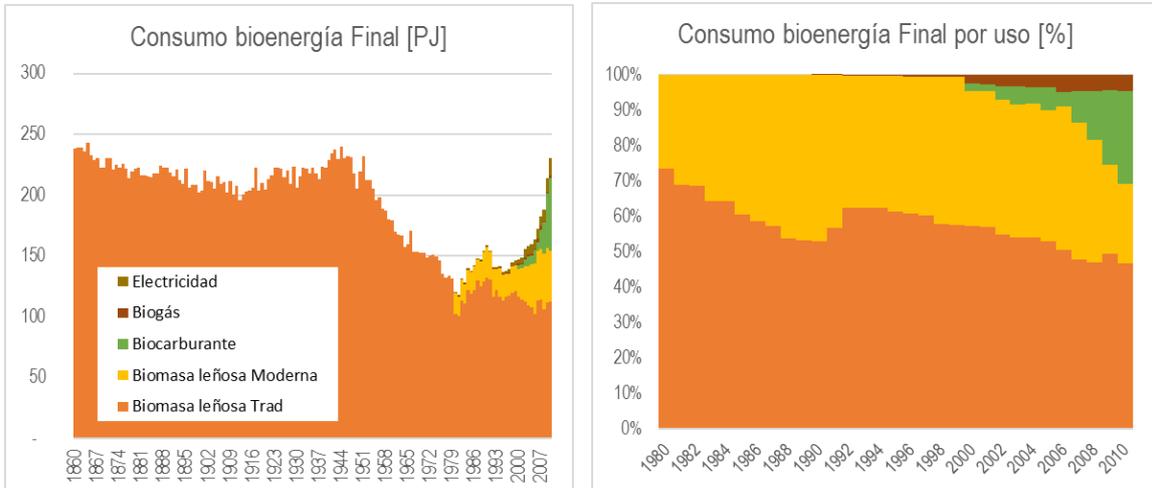
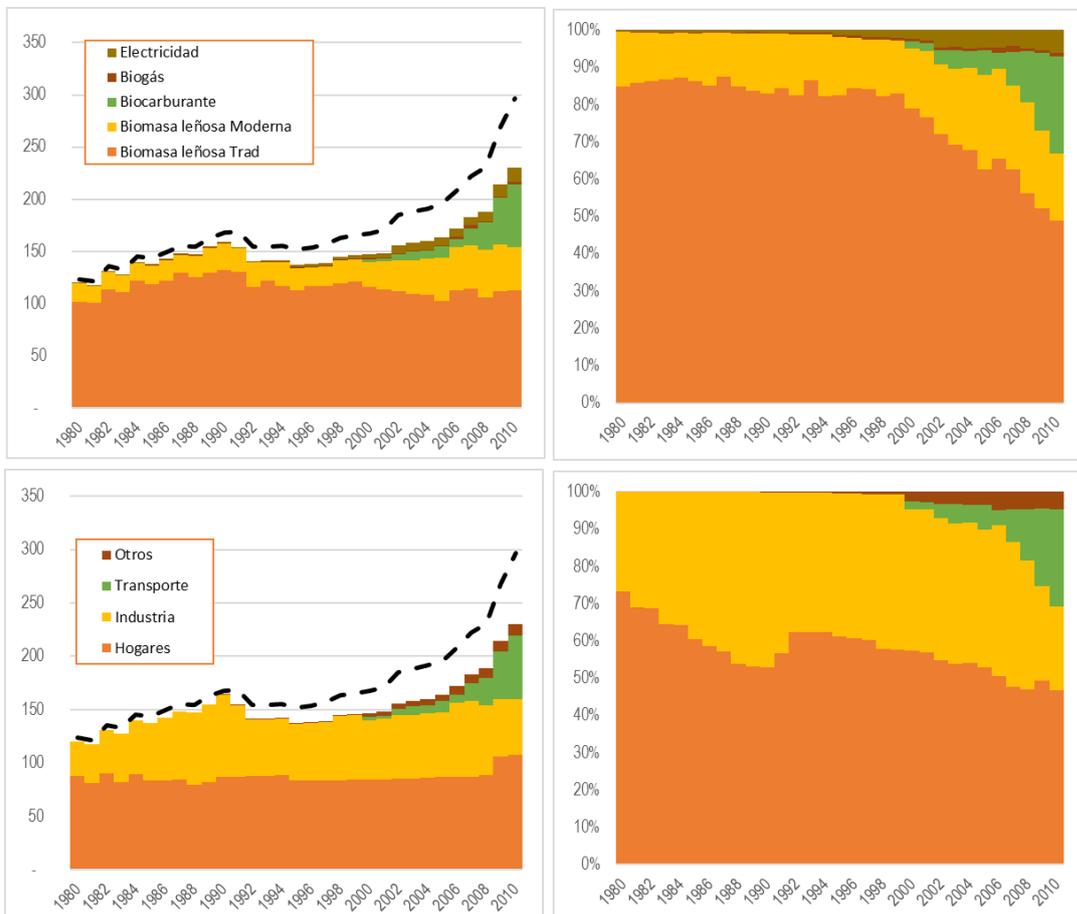


Figura 21

Consumo de bioenergías en petajulios [PJ] y como porcentaje (medida como energía final) distinguiendo tipo de portador energético y el consumo por sectores. Fuente: ver apartado 3.



La distinción de flujos energéticos por tipo (fuentes, portadores, consumo por sectores...) en perspectiva histórica nos ayuda a complejizar el relato sobre el consumo de bioenergías en el conjunto del país, así como a proponer una nueva periodificación. Hasta la fecha, el relato se circunscribía a la leña forestal y apuntaba a una continua sustitución desde la llegada del carbón, que se aceleraba en la segunda mitad del siglo XX hasta el abandono casi total. Nuestra nueva base de datos complejiza y altera este relato, mostrando cuatro fases bien diferenciadas que serán debatidas en otro sitio y que se resumen en la figura 22:

i) Desde 1860 hasta 1913, encontramos una caída continua pero lenta debido a la sustitución de los usos de la leña por el carbón mineral que ocupó un papel cada vez mayor en la economía española. La caída en términos por habitante fue, debido al crecimiento poblacional, mayor. En el período citado cayó un 35%: de 15,2 a 9,7 GJ hab⁻¹ año⁻¹.

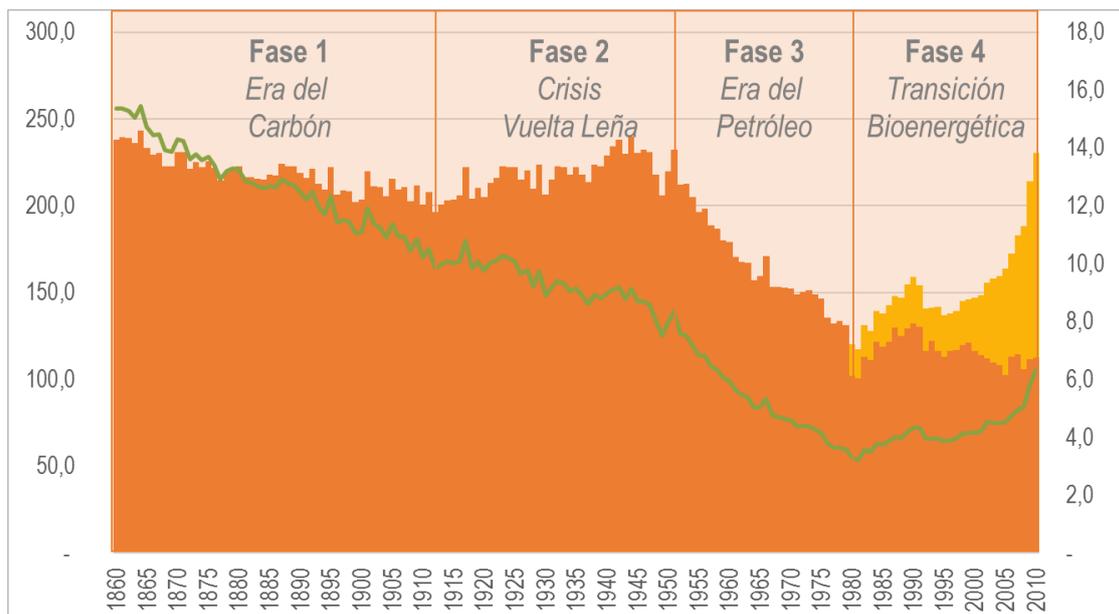
ii) Crisis y vuelta a la leña. La subida de precios del carbón mineral por la Primera Guerra Mundial, unida a las crisis económicas posteriores, la Guerra Civil y la autarquía, marcó un frenazo en el proceso de transición energética y, con ello, una vuelta a la leña en algunos territorios y grupos sociales. Si esa crisis fomentó la transición eléctrica, también empujó una vuelta a energías tradicionales. Para entender este proceso hay que tener presente el papel creciente de la leña de cultivos. También es obligado subrayar la caída en términos per cápita. La vuelta a la leña es una vuelta en términos absolutos, pero siguió cayendo el consumo por habitante.

iii) La era del petróleo. La década de 1950 marcó el inicio de formidables cambios económicos en el país, en buena medida explicados por la acelerada transición a la economía del petróleo. El consumo de energía se multiplicó sin precedentes en gran medida debido al uso de petróleo, que terminó, junto al consumo creciente de otros productos energéticos (gas, electricidad...), de liquidar la dependencia de las energías tradicionales en el país y completar la transición energética o en términos socio-ecológicos, la transición al metabolismo industrial. Este fenómeno solo puede entenderse por el rápido aumento en el porcentaje de población que tuvo acceso a las energías modernas. Hubo una caída radical del consumo de BE. Entre 1950 y 1980, la caída casi alcanzó el 50%.

iv) Transición bioenergética. Tras 1980, el consumo volvió a crecer y esta vez lo hizo de manera mucho más acelerada que en la citada vuelta a leña en la década de 1910. Entre 1980 y 2010, el consumo casi se duplicó, pasando de 124 PJ a 236 PJ (energía primaria), respectivamente. El crecimiento ha sido tan acelerado que se observa un incremento continuo también en términos per cápita por primera vez desde que contamos con registros históricos. El aumento en el consumo se inicia con el empuje hacia usos modernos de la biomasa forzado por nuevos desarrollos tecnológicos unidos a la creciente preocupación por los futuros escenarios de agotamientos de los combustibles fósiles.

Figura 22

Consumo de bioenergías en energía final total (eje de la izquierda, PJ) y en consumo por habitante (eje de la derecha, GJ hab⁻¹ año⁻¹). Fuente: ver apartado 3.



4.4. Stocks leñosos

Además de la leña (tonelaje) y el consumo total de BE (julios), el tercer elemento de análisis que incorpora este trabajo es el del stock leñoso (carbono en las estructuras leñosas, incluyendo la parte radicular). Los dispares niveles de producción y apropiación, presentados hasta aquí, deben haber alterado el stock remanente de biomasa, lo que representa un indicador de gran interés para muchos debates abiertos que abarcan: el potencial bio-energético, la mitigación del cambio climático o la transición forestal. Nuestra estimación se refiere exclusivamente a la biomasa leñosa. Se distinguen los tipos de cultivo (olivar, viña y resto de frutales leñosos) así como una clase única forestal.

El resultado más visible en el caso de los stocks se refiere al formidable incremento de los mismos desde la década de 1960 hasta la actualidad. Este período, por cierto, se corresponde con el de mayor fiabilidad en nuestra estimación ya que está basado en la información proporcionada por el IFN y también guarda relación con otros trabajos que añaden cierta profundidad temporal a estimaciones análogas (Montero et al., 2007). En los últimos 50 años, el stock de C se ha triplicado, principalmente debido al aumento en superficies forestales (que se han multiplicado por 3,3), pero también por el aumento en las superficies cultivadas (1,5).

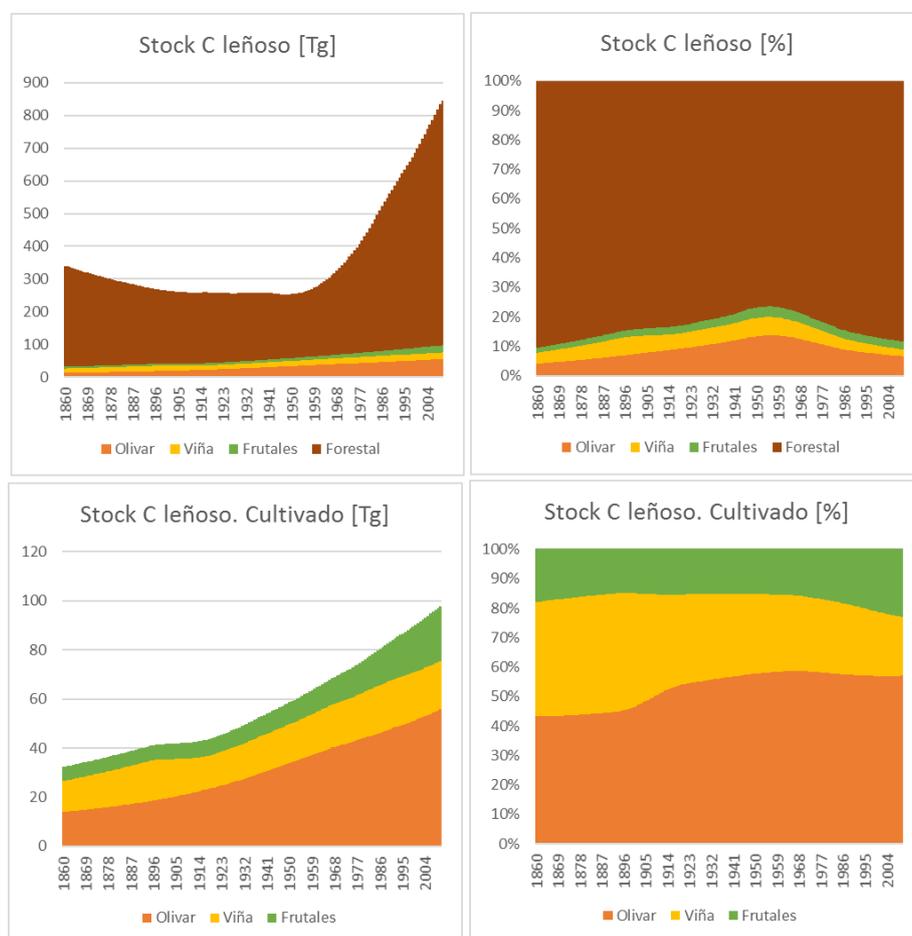
La figura 23 muestra cómo el stock forestal cayó levemente desde 1860 hasta mediados del siglo XX. Esta tendencia se explica por los procesos de deforestación que tuvieron lugar durante esos años, pero también por un proceso de degradación de la superficie leñosa, que fue perdiendo levemente densidad de biomasa por hectárea debido a procesos de sobreexplotación del monte. A principios del siglo XX, este proceso se atenuó debido a las plantaciones crecientes de especies madereras con mayor potencial

productivo, que además se fueron expandiendo en las provincias más productivas tal y como veremos más abajo. Además, algunas zonas de monte pudieron ser abandonadas por la sustitución de la leña por las nuevas energías. Esos años, en cambio, también vieron momentos de una nueva presión sobre los ecosistemas forestales debido a la escasez de otras energías que forzaron una apropiación creciente de los recursos forestales. Desde la década de 1960, el abandono de buena parte del monte, unido a las políticas de reforestación, la proliferación de especies más productivas y la relocalización en regiones también más productivas, explican el desaforado crecimiento del stock.

La superficie de cultivos leñosos fue ganando peso como reservorio de carbono en el conjunto de las superficies leñosas debido a su continuado crecimiento, tanto en extensión superficial como en densidad. En términos absolutos no ha dejado de crecer en los últimos 150 años, habiendo cuadruplicado su stock de C. Solo a finales del XIX y principios del siglo XX observamos un período de estabilidad debido a los arranques masivos de viñas derivados de la filoxera. Esta pauta de crecimiento, unida a la pérdida de stock leñoso en las zonas forestales hasta la década de los sesenta, hizo que el peso relativo del stock de superficies cultivadas creciese hasta ocupar casi un 20% de los stocks totales en la década de 1950. El olivar es el cultivo con mayor importancia.

Figura 23

Stocks leñosos totales y en superficie cultivada en teragramos [Tg] de C y como porcentaje del total. Fuente: ver apartado 3.



Podemos analizar la evolución del stock desagregando dos factores explicativos: el uso de la superficie leñosa y la densidad leñosa (biomasa por hectárea). La figura 24 ofrece información del crecimiento (con base 1950=100) de la evolución del stock, la densidad y la superficie para todo el arbolado, por un lado, y para el caso forestal, por otro. Identificamos tres fases:

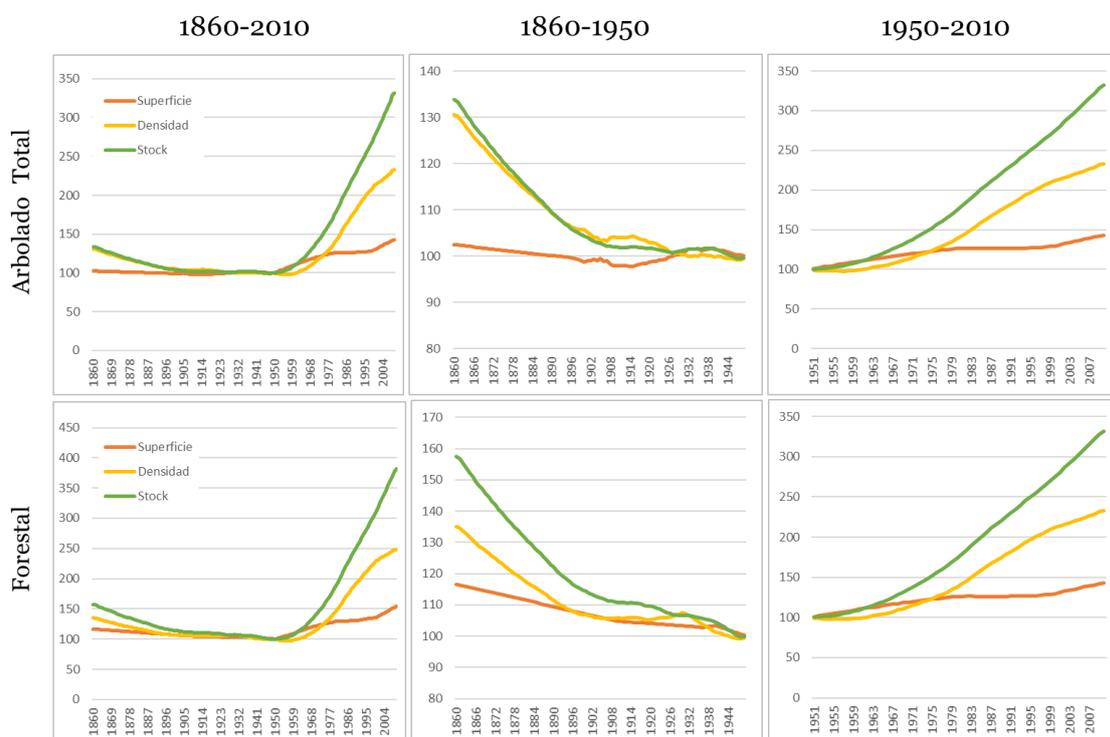
i) Entre c. 1860 y 1910 todos los indicadores caen, pero la caída total del stock se explica principalmente por la caída en la densidad, que es mayor que la caída de la superficie. Dicho de otra forma, asistimos a un proceso de deforestación, pero principalmente asistimos a un proceso de degradación del monte, que se va clareando con arranques crecientes de pies por hectárea y/o de árboles más voluminosos. Las cifras exactas que manejamos deben leerse con mucha cautela para estos años, sin embargo, creemos que evidencian un proceso verosímil: la deforestación no tiene lugar por conversiones radicales y traumáticas de zonas forestales a cultivadas –como puede ocurrir en contextos socio-ecológicos industriales- sino como un proceso gradual de rotura del monte e integración con usos ganaderos o cultivados.

ii) Entre c. 1910 y 1950 observamos varios ciclos de aumento y reducción del stock. Hay que tomar el detalle de esta serie, también, con extrema cautela, pero parece sugerir que, desde principios del siglo XX, aunque la superficie leñosa cayó, la densidad, sin embargo, empezó a crecer debido al proceso de transición energética (abandono o menos presión sobre ciertas zonas forestales) y al crecimiento de especies más productivas (la superficie de coníferas se estaba extendiendo). La Primera Guerra Mundial y la citada vuelta a la leña generó una renovada presión sobre el monte en un momento en el que la superficie siguió cayendo, por tanto, el stock cayó aceleradamente. Tras la crisis y durante la Guerra Civil un repunte de la superficie forestal volvió a tener lugar, ya que se abandonaron muchas zonas de cultivo. Si unimos a este hecho un nuevo aumento en la densidad podemos explicar el incremento absoluto del stock. Los años 40 fueron testigos de la nueva colonización de zonas abandonadas y paralelamente de una presión sobre los recursos forestales mayor ante la escasez de energías alternativas durante la autarquía. Ambos factores explican la caída observada del stock.

iii) Desde mediados de los años 50 observamos que crece tanto la superficie como la densidad, lo que explica el acelerado aumento del stock total. También aquí, igual que en el proceso de caída hasta la década de 1910, observamos que variable densidad es mucho más determinante que el cambio en la superficie. La introducción de nuevas especies y la relocalización geográfica de los usos del suelo son los principales factores para explicar el mayor cambio en el stock leñoso documentado en la historia de España.

Figura 24

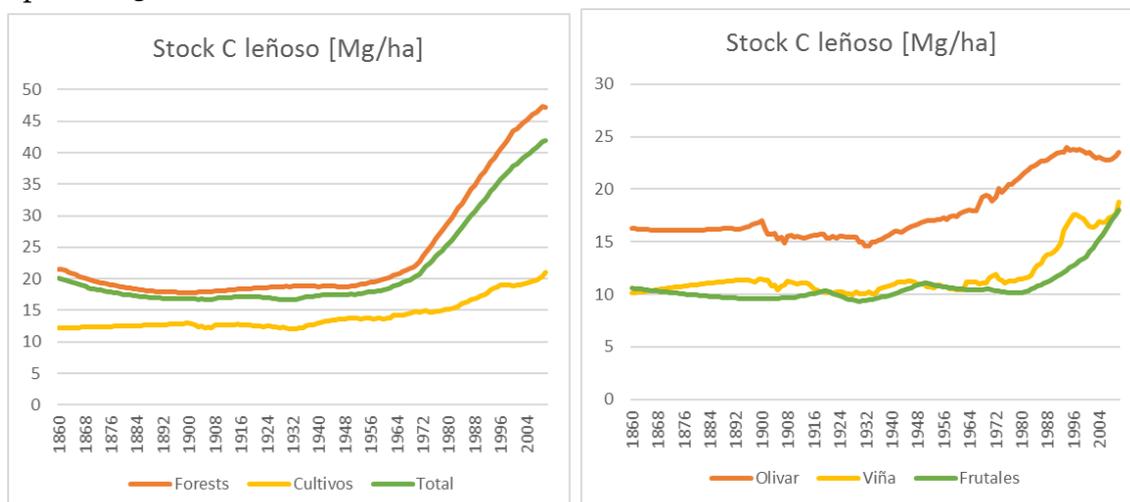
Evolución de la superficie leñosa, la densidad de biomasa leñosa (biomasa por hectárea) y el stock total [1950=100]. Fuente: ver apartado 3.



La figura 25 muestra la evolución de la densidad de C. En el gráfico de la izquierda se reconstruye para los casos de: las superficies forestales, las cultivadas y sobre el total de las superficies leñosas (forestales más cultivadas). Observamos que en el caso de las zonas forestales (que arrastra la media agregada por su gran extensión) hay una caída desde mediados del siglo XIX que se estabiliza a principios del siglo XX, como decíamos arriba, por la incorporación de superficies madereras. Desde la década de 1960 el crecimiento es exponencial por los motivos ya explicados. En el caso de los cultivos, el crecimiento ha sido continuo debido al aumento de la densidad del arbolado que ya se documenta desde finales del XIX. Sin embargo, el gran cambio en la densidad de pies por hectárea en las superficies cultivadas tuvo lugar también desde los años 60 del siglo XX con el proceso de industrialización de sus manejos, que permitió, mediante la irrigación y fertilización, aumentar la cantidad de pies productivos en un proceso que aún no parado y que avisa con seguir multiplicándose (en el olivar empiezan a proliferar fincas con miles de pies por hectáreas frente los sistemas tradicionales que apenas alcanzan los cien pies por hectárea). Las caídas que se observan en algunos años se deben principalmente a arranques que, hasta que no volvían a crecer, tenían niveles de densidad menores.

Figura 25

Densidad de carbono por hectárea [Megagramos por hectárea, Mg/ha]. Fuente: ver apartado 3.



Los cambios en la densidad se explican por las especies introducidas, por el manejo (por ejemplo, con mayor fertilización aumenta el stock en el caso de los cultivos leñosos) y por las condiciones climáticas de cada región. La figura 26 da cuenta del último factor explicativo. Si en 1860 la densidad promedio en España era de 21,6 Mg/ha, en el caso de A Coruña era de 40,7 Mg/ha mientras que en Almería era de 5,8 Mg/ha. Comparamos la esquina norte septentrional, de clima atlántico y con altas precipitaciones, con Almería, en la esquina opuesta de país en la que se extienden zonas semidesérticas. En ambos casos, la densidad se ha multiplicado en los últimos 150 años como ha ocurrido en el conjunto del país, sin embargo, la de A Coruña sigue siendo mucho mayor que la de Almería: 89,8 Mg/C frente a 20,9 Mg/C, respectivamente, mientras que la media nacional es de 20,9 Mg/C.

Figura 26

Densidad de C por hectárea en las provincias de A Coruña y Almería y la media del país [Megagramos por hectárea, Mg/ha]. Fuente: ver apartado 3.

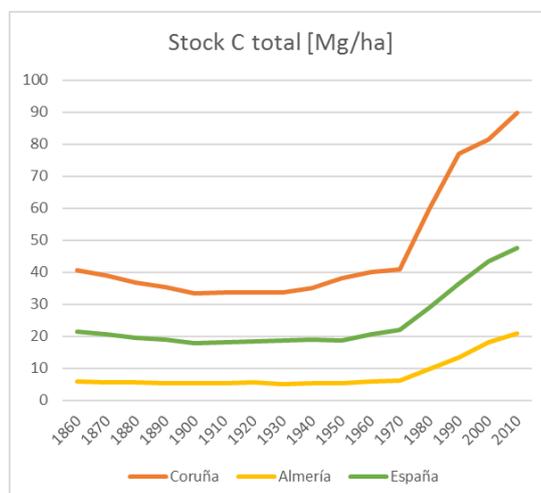
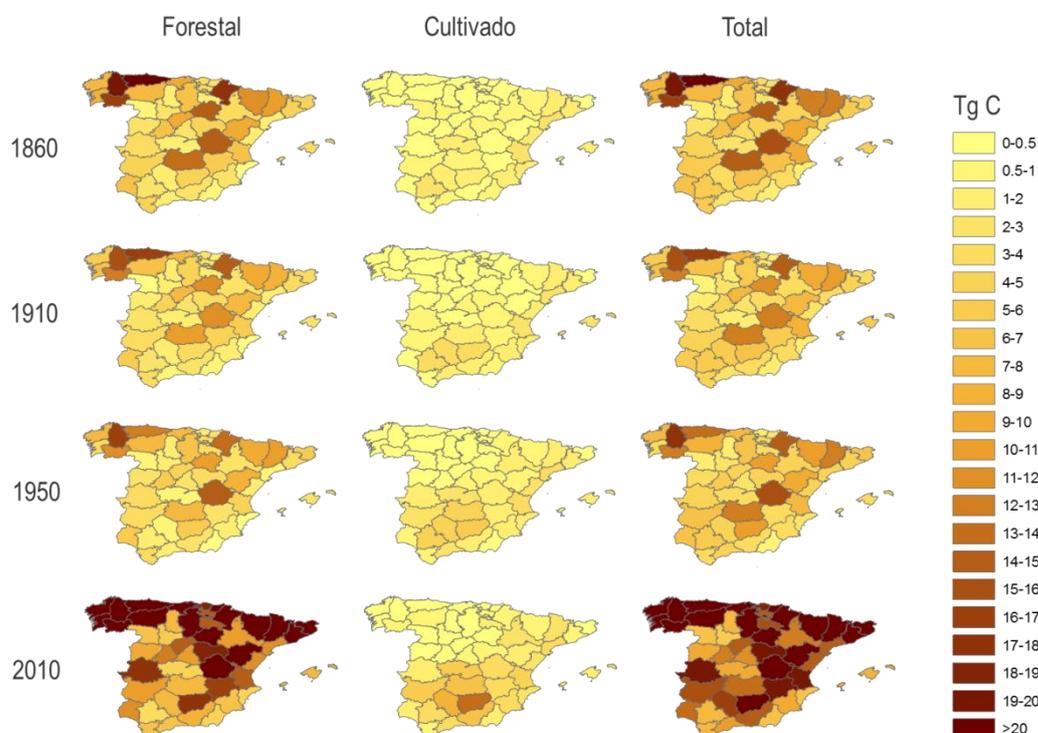


Figura 27

Stock de carbono en teragramos [Tg] a nivel provincial en cuatro años representativos. 1860 y 2010 como años extremos de la serie; 1910, año inicial de la década con menor stock de carbono contabilizada en nuestra serie; y 1950, año inicial de la década con menor superficie forestal. Fuente: ver apartado 3.



Las formidables divergencias regionales de stock de C en superficies leñosas se recogen con más detalle en las figuras 28 y 29. Antes, en la figura 27, mostramos la evolución del stock de C a nivel provincial para cuatro años representativos de la serie. Además de los dos extremos de la misma (1860 y 2010), el año de 1910 representa el punto inicial de la década con menor stock de C contabilizado, mientras que en 1950 encontramos el primer año de la década con menor superficie forestal.

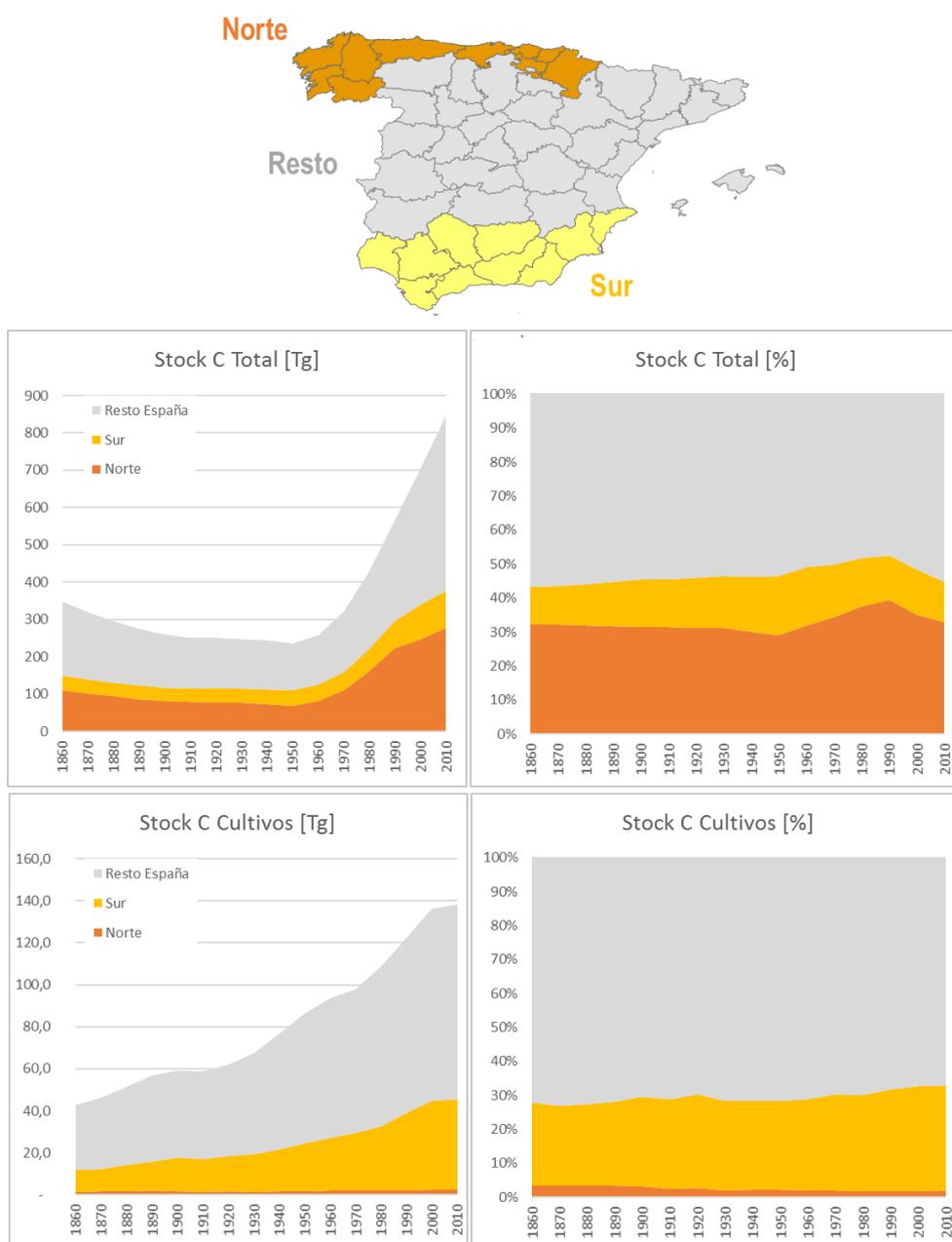
El stock era mayor en 1950 que en 1910 teniendo menos superficie leñosa. Esto se debía a que la densidad, como veíamos arriba, era mayor en 1950. Poniendo el foco a nivel provincial, observamos cómo el aumento del stock forestal en la zona norte del país explica la mayor parte de la tendencia nacional. Las zonas cultivadas tienen un lugar cuantitativamente menor en este proceso, aunque se observan algunas manchas de cierta importancia en las provincias del sur en el año 2010. Destaca la provincia de Jaén debido a la formidable expansión de la superficie de olivar. Jaén concentra la mayor superficie arbórea cultivada de toda Europa, un mar de olivos de unos 80 millones de pies que hace que sea la única provincia donde el stock cultivado es tan importante como el stock forestal. Casi la mitad del C fijado en estructuras leñosas en Jaén se fija en superficies cultivadas.

La figura 28 evidencia, de forma más elocuente, las divergencias regionales. Distinguimos un grupo de provincias del norte que cuentan con una superficie del 13% del país, y otro grupo de provincias del sur que ocupan el 21% del territorio. Las primeras copan más de una tercera parte del stock de C total mientras que las segundas

apenas alcanzan el 10%. La mayor parte del stock de C leñoso está fijado en la zona norte-atlántica del país mientras que en el sur, debido a su menor densidad de C, la cantidad acumulada es mucho menor. Las zonas del sur, por su parte, destacan por fijar C en zonas de cultivo debido a la proliferación masiva de viñas, olivares y otros frutales. La figura 28 también evidencia esta disparidad en el caso de los cultivos: aquí, el stock de las provincias del norte es mínimo mientras que el de las zonas del sur excede con mucho la cantidad que en términos superficiales le correspondería.

Figura 28

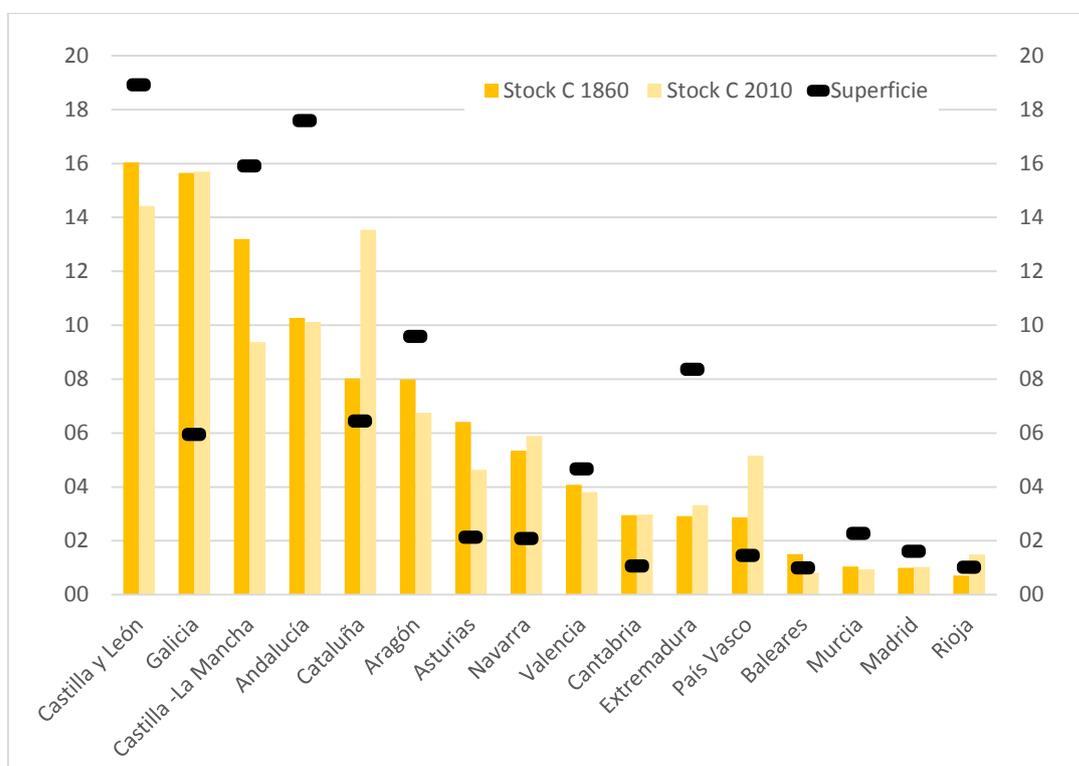
Stock de carbono en las superficies leñosas totales (arriba) y solo en las cultivadas (abajo) [Teragramos, Tg]. Fuente: ver apartado 3.



En la figura 29 se confronta el porcentaje de la superficie total en el país de cada Comunidad Autónoma con el porcentaje de stock de C que concentra sobre el total nacional. Los datos se ofrecen para los años de 1860 y 2010. Observamos que el porcentaje de C en los stocks de cada territorio apenas ha variado salvo en el caso del Castilla-La Mancha (caída), y de Cataluña y País Vasco (subida). Extremadura y Andalucía, son las comunidades donde mayor brecha hay en términos de bajo stock de C en relación a su superficie geográfica. Galicia, Asturias, Navarra y Cantabria ofrecen la pauta contraria. El porcentaje de stock de C leñoso que acumulan es tres veces mayor que el porcentaje de superficie que ocupan en el total nacional.

Figura 29

Stock de carbono en las superficies leñosas (forestales y cultivadas) en 1860 y 2010 en las Comunidades Autónomas de España (barras) en relación a la superficie geográfica total (puntos negros). Ambos indicadores en porcentaje sobre el total español. Fuente: ver apartado 3.

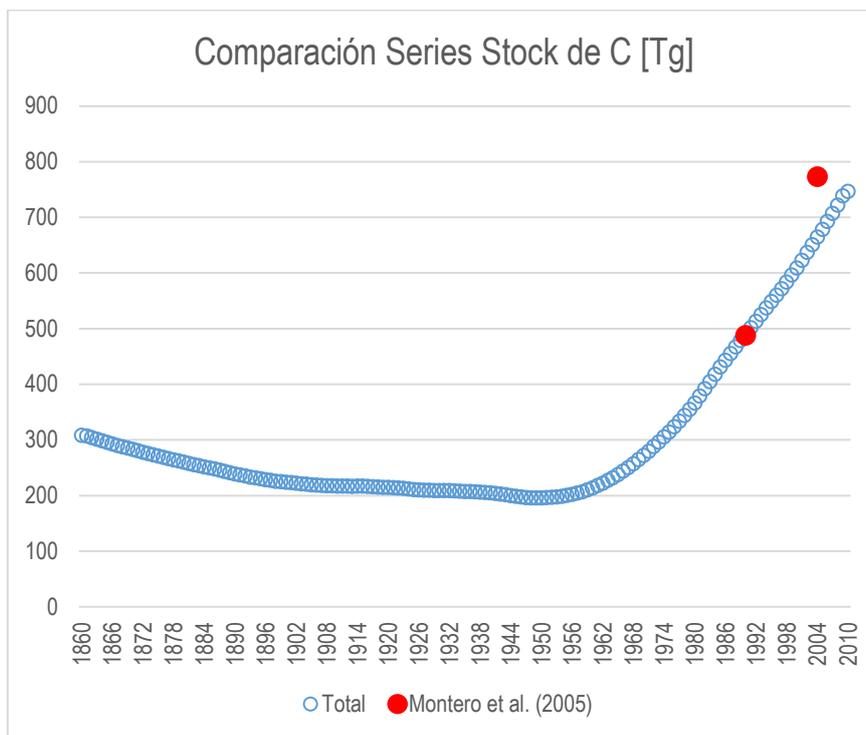


Finalmente, y a modo de validación, en la figura 30 contrastamos nuestra serie de stock de C con la estimación ofrecida por Montero et al. (2005), que hoy en día aparece como el trabajo más detallado sobre el asunto. Montero et al. aportan información en materia seca y CO₂ (los convertimos a C). La única divergencia entre ambos estudios son los usos del suelo considerados. En el caso de Montero et al. (2005), la superficie de matorral está totalmente excluida. Aunque en nuestro trabajo también (de hecho, utilizamos los factores de densidad del IFN y se aplican a nuestra propia serie de usos del suelo de superficies arboladas), nuestra serie, en el caso de Galicia, incluye la superficie de tojo más poblada, ya que las cifras de superficie forestal en tal región incluían este uso del suelo que hemos mantenido por su importancia en el suministro

leñoso. Aun así, el papel del tojo fue mucho más relevante tanto, en términos absolutos como relativos, décadas atrás, no en años recientes (Soto et al., 2015), que es cuando planteamos la comparativa con Montero et al. (2005).

Figura 30

Serie de stock de C [Teragramos, Tg] estimada en este trabajo en comparación a la estimada por Montero et al. (2005). Fuente: ver apartado 3.



Este documento se presentaba como una síntesis metodológica y una presentación general de los principales resultados de un amplio proyecto de investigación centrado en el estudio de la transición energética y forestal en España entre 1860 y 2010. El análisis y la discusión se realizará en otros trabajos y ayudará a contextualizar buena parte de la información aquí detallada. Por ejemplo, aunque el stock de C ha crecido muchísimo en las últimas cinco décadas, lo que puede leerse como una historia de éxito, lo ha hecho apoyado en un consumo masivo de combustibles fósiles que han emitido mucho más C equivalente del que se ha capturado. Igualmente, tal aumento ha tenido lugar gracias al desplazamiento del consumo de biomasa a otros territorios (efecto *leakage*) (Infante-Amate et al., en preparación). Tampoco hay que olvidar que tal aumento se explica por el abandono del monte y por la introducción de nuevas especies que generan otro tipo de problemas ambientales. Valgan estas palabras para apuntar que toda la información presentada requiere un análisis detallado que puede derivar en conclusiones opuestas a las que cabría esperar tras una primera lectura aséptica de los resultados.

5. Conclusiones

El objetivo de este trabajo era presentar las bases metodológicas y las series estadísticas de un proyecto de investigación en el que hemos tratado de reconstruir los principales flujos y stocks de la biomasa leñosa en España entre 1860 y 2010, así como el consumo de todas las bioenergías en el mismo lapso temporal. A modo de conclusión queremos subrayar cuáles son las principales tendencias extraídas en las series presentadas y cuáles serán los principales argumentos y análisis que se derivarán de las mismas.

1. El consumo de leña es mucho mayor que el tradicionalmente estimado. Esto se debe, por un lado, a un nuevo cálculo de la producción de leña forestal que da como resultado unas cifras más elevadas y, por otro, a la incorporación de la leña de cultivos que llega a alcanzar en algunos años cerca de un 30% de la producción leñosa total. Así, el consumo de leña por habitante queda establecido en 3.1 kg por habitante y año en 1860, una cifra más alta que las estimaciones previas realizadas para el caso español, pero que resulta consistente con la literatura internacional al respecto. Estos resultados pueden permitir en el futuro una relectura de la transición energética en España que probablemente altere los tiempos así como algunos indicadores asociados a la misma como los de intensidad energética, sobre todo en los años en los que las energías modernas tuvieron un peso poco significativo.

2. La leña de cultivos ha tenido una importancia clave en el suministro de biomasa leñosa. Su apropiación llegó a ser superior a la de los aprovechamientos forestales a partir del periodo en el que el monte se fue abandonando por la generalización de productos energéticos sustitutivos a la leña forestal. En el caso de los cultivos, el abandono no pudo producirse ya que la apropiación de la leña a través de la poda es obligada, al ser una práctica fundamental para el desarrollo productivo de las plantas. En consecuencia, la leña de cultivos siguió siendo acopiada y usada como fuente de energía hasta las décadas finales del siglo XX, cuando aparecieron tecnologías que permitían su trituración en finca. En cualquier caso, aun hoy en día esa leña representa cerca del 70% de la leña primaria consumida para usos energéticos. Desde el siglo XIX, su importancia fue mucho mayor en las zonas del sur y del este del país donde se produjo una mayor proliferación de cultivos leñosos. En muchos casos su expansión fue paralela a procesos de deforestación, de tal forma que la sustitución de usos forestales por cultivados, permitió mantener el suministro de bioenergías leñosas.

3. A nivel regional, además de las diferencias señaladas, observamos importantes brechas en el consumo a la altura de 1860. Algunas zonas de alta montaña en el interior del país revelan consumos próximos a los 5 kg hab⁻¹ día⁻¹, otras zonas de interior se situaban como promedio entre los 2 y los 3 kg hab⁻¹ día⁻¹, mientras que en la costa mediterránea apenas se superaban los 1,2 kg hab⁻¹ día⁻¹. A partir de estos datos, la evolución del consumo fue variando en función del acceso a las nuevas energías y del ritmo de sustitución que se fue produciendo cuando se tenía tal acceso. En todos los casos observamos una caída del consumo por habitante. Sin embargo, en las zonas del interior el acceso a nuevas energías siguió siendo limitado y por ello el consumo de leña siguió siendo importante. En las zonas con acceso a nuevas energías, el consumo per cápita cayó más rápidamente, aunque se dio la paradoja de que en algunos territorios pudo crecer en términos absolutos debido a que la población creció a un ritmo mayor al de introducción de energías modernas. En cualquier caso, dentro de las biorregiones

consideradas en el trabajo debió haber fuertes divergencias internas como también las debió haber entre grupos sociales en cada una. Muchos grupos sociales y sectores económicos transitarían rápidamente a las nuevas energías mientras que otros siguieron dependiendo de las mismas hasta bien entrado el siglo XX.

4. Más allá de la leña, hemos puesto de manifiesto que el consumo de otro tipo de biomasa jugó un papel determinante en el consumo total de bioenergías. Tradicionalmente hemos identificado el consumo de productos como el orujo de la aceituna (usado en las almazaras), tallos de cultivos industriales, pajas, residuos de plantas hortícolas, etc., pero siempre en cantidades menores que apenas superaron el 5-10% del consumo total. Sin embargo, desde 1980, con el desarrollo de nuevas tecnologías para los usos modernos de la biomasa, su consumo se disparó a niveles sin precedentes. De hecho, en 2010, el consumo de energía primaria ascendió a 296 PJ, una cifra muy superior al máximo histórico alcanzado a mediados del siglo XIX con 246 PJ. El formidable incremento se debe al creciente uso de los residuos derivados de la industria de la madera, de los biocarburantes para transporte y, en menor medida, de los residuos urbanos e industriales, así como de otros residuos que se utilizan para la generación de biogás y electricidad. Hoy en día se consumen más bioenergías en usos modernos que tradicionales. Hemos denominado a este proceso como “transición bioenergética” y pretendemos desarrollar esta teoría con más detenimiento en otro sitio.

5. El papel de la leña dentro de los relatos sobre transición energética era dibujado como la historia de un declive continuo en términos absolutos y relativos hasta su práctica desaparición. Nuestro trabajo muestra que, aunque en términos relativos su papel fue cada vez menor, lo cierto es que en términos absolutos la caída no ha sido tan fuerte como cabría esperar. Es más, si añadimos otras bioenergías, observamos que su consumo ha crecido ostensiblemente en las últimas décadas. Esta nueva estimación nos permite ofrecer una nueva cronología y periodización en el uso de las energías orgánicas. Distinguimos cuatro grandes fases: en primer lugar una lenta pero continua caída debido al avance del carbón mineral en la economía española que fue sustituyendo en cada vez más municipios el consumo de leña y carbón vegetal (1860-1913); en segundo lugar, una vuelta a la leña (1913-1955) derivada de varias crisis (Primera Guerra Mundial, Guerra civil y autarquía) que impidieron el acceso regular a las energías modernas en cantidades o precios asequibles para cubrir servicios básicos como cocina y calefacción; la llegada del petróleo y su consumo en grandes cantidades marcó una acelerada caída en el consumo de las bioenergías, en la que también influyó la electrificación de muchas zonas rurales y la proliferación de ciertos portadores como el gas embotellado que terminó de completar la transición incluso en las zonas rurales más aisladas (1955-1980); finalmente, tras las crisis del petróleo y con la promoción del uso de la biomasa como fuente energética, se asiste en las tres últimas décadas a un uso creciente de bioenergías que alcanza niveles de consumo históricos, con un crecimiento no solo en términos absolutos sino también per cápita.

6. Dentro del estudio detallado de los flujos de producción y apropiación de la biomasa leñosa hemos estimado los stocks de C en las provincias del país desde 1860. Hemos identificado varias fases entre las que destacan los procesos de deforestación decimonónicos y la degradación de las zonas forestales que perdieron densidad de biomasa por hectárea. El stock cayó significativamente hasta la década de 1910, cuando la mayor presencia de coníferas y la relocalización de la superficie forestal en zonas más

productivas derivó en un aumento del stock. Tras varios años de subidas y bajadas debidas a factores históricos coyunturales, la segunda gran fase tuvo lugar desde la década de 1950 con un aumento del stock sin precedente en la historia, subiendo de 290 Tg C en 1950 hasta 978 Tg C en la actualidad. La proliferación de especies de crecimiento rápido y la relocalización a zonas más productivas explican el proceso. También que las superficies de cultivos leñosos no han dejado de crecer y cada vez cuentan con mayor densidad de C por hectárea. Aun así, apenas representan hoy en día un 10,0% del stock leñoso total de C. Las divergencias regionales entre las zonas más áridas y las atlánticas son abismales. Mientras que regiones como Andalucía, con un 17,6% de la superficie total cuenta con un 10,1% del stock; Galicia cuenta con un 5,9% de la superficie y alberga un 15,7% del stock.

Anexo 1. Factores de conversión usados

Tabla AM1

Factores de conversión de energía final a energía primaria. Fuente: IDAE (2017b).

	MJ/MJ
Electricidad	3.02
Biogás	3.02
Bicarburos	1.36
Biomasa agrícola	1.25
Biomasa industrial	1.25

Tabla AM2

Factores de conversión a energía, materia seca, carbono y para la estimación de la biomasa radicular.

	MJ/kg MS	% Materia Seca	C/kg MS	Biomasa Raíz/Superf.	Referencia
Forestal	18.5	75.0	0.485	0.701	Montero et al. (2005), Guzmán et al. (2014)
Olivar	18.0	70.8	0.473	0.290	Velázquez-Martí et al. (2011b), JA (2002), Guzmán et al. (2014)
Viña	17.7	60.7	0.459	0.599	Carvajal (2010), Velázquez-Martí et al. (2011b), Duca et al. (2016)
Frutales (fresco)	18.5	65.4	0.447	0.611	Carvajal (2010), Fernández (2013), Guzmán et al. (2014)
Frutales (seco)	17.0	61.2	0.447	0.611	Carvajal (2010), Fernández (2013), Guzmán et al. (2014)

En el caso de los aprovechamientos forestales sí hemos distinguido entre el peso por metro cúbico en madera de coníferas (635.0 kg/m³) y por estéreos de leña de quercíneas (487.5 kg/estéreo). Utilizamos los factores del Ministerio de Agricultura español, basados en FAO.

Anexo estadístico

Tabla AE1

Producción leñosa por tipo de aprovechamiento (WPB) y consumo de biomasa leñosa con usos energéticos (BEW). Biomasa superficial.

	Producción Leña (WBP)						Consumo Leña Uso Energético (BEW)						Consumo leña uso energético (kg/hab/día)		
	Olivar	Viña	Frutales	Cultivada	Forestal	Total	Olivar	Viña	Frutales	Cultivada	Forestal	Total	Forestal	Cultivado	Total
1860	2073	2504	759	5336	14614	19950	1194	2020	562	3777	14091	17867	2.47	0.66	3.13
1861	2095	2515	764	5374	14599	19972	1205	2031	566	3802	14125	17926	2.46	0.66	3.12
1862	2117	2526	769	5412	14583	19995	1217	2041	570	3827	14149	17976	2.46	0.66	3.12
1863	2139	2537	775	5450	14552	20002	1228	2051	573	3852	13862	17714	2.40	0.67	3.06
1864	2161	2547	780	5488	14509	19997	1240	2061	577	3878	14340	18218	2.47	0.67	3.14
1865	2183	2558	785	5526	14452	19979	1251	2071	580	3903	13666	17569	2.34	0.67	3.01
1866	2205	2569	791	5564	14383	19948	1263	2082	584	3929	13303	17232	2.27	0.67	2.94
1867	2227	2580	796	5603	14302	19904	1274	2092	588	3954	13342	17296	2.27	0.67	2.94
1868	2249	2591	801	5641	14207	19848	1286	2102	591	3979	12847	16826	2.18	0.67	2.85
1869	2271	2602	807	5680	14121	19800	1298	2112	595	4005	12761	16766	2.15	0.68	2.83
1870	2293	2612	812	5718	14042	19760	1309	2122	599	4030	13287	17317	2.23	0.68	2.91
1871	2319	2623	818	5761	13972	19732	1324	2132	603	4059	13356	17414	2.24	0.68	2.92
1872	2345	2634	824	5803	13910	19713	1338	2143	607	4087	12584	16671	2.10	0.68	2.78
1873	2372	2645	829	5846	13855	19701	1352	2153	611	4116	12800	16916	2.13	0.68	2.81
1874	2398	2655	835	5889	13800	19688	1367	2163	615	4144	12663	16807	2.09	0.69	2.78
1875	2424	2666	841	5932	13742	19674	1382	2173	618	4173	12805	16978	2.11	0.69	2.80
1876	2451	2677	847	5975	13683	19658	1396	2183	622	4202	12459	16660	2.05	0.69	2.74
1877	2478	2688	853	6018	13623	19641	1411	2191	626	4227	12004	16231	1.96	0.69	2.65
1878	2505	2698	858	6061	13561	19622	1426	2198	629	4253	12304	16557	2.00	0.69	2.70
1879	2531	2709	864	6105	13515	19620	1441	2206	632	4278	12411	16689	2.01	0.69	2.71
1880	2559	2720	870	6148	13485	19633	1456	2213	635	4304	12547	16851	2.03	0.70	2.72
1881	2585	2730	877	6193	13470	19663	1470	2221	638	4329	12001	16331	1.93	0.70	2.63
1882	2612	2741	885	6237	13472	19709	1485	2228	642	4355	11932	16287	1.91	0.70	2.61
1883	2639	2751	892	6282	13489	19771	1499	2236	645	4380	11951	16331	1.91	0.70	2.61
1884	2665	2762	900	6327	13497	19824	1514	2243	648	4405	11808	16213	1.88	0.70	2.58
1885	2692	2772	907	6372	13495	19867	1529	2251	652	4431	11942	16372	1.89	0.70	2.59

1886	2720	2783	915	6417	13485	19902	1543	2258	655	4456	12024	16480	1.89	0.70	2.59
1887	2747	2794	922	6462	13464	19927	1558	2265	658	4482	12398	16879	1.94	0.70	2.64
1888	2774	2804	930	6508	13435	19942	1573	2273	662	4507	12225	16733	1.90	0.70	2.60
1889	2802	2815	937	6553	13416	19969	1588	2280	665	4533	12302	16835	1.91	0.70	2.61
1890	2829	2825	945	6599	13408	20007	1603	2297	668	4569	11965	16533	1.85	0.70	2.55
1891	2861	2835	953	6649	13411	20060	1618	2305	672	4594	11656	16250	1.79	0.71	2.50
1892	2892	2846	960	6698	13425	20123	1633	2312	675	4620	11745	16365	1.80	0.71	2.50
1893	2923	2856	968	6747	13450	20198	1647	2352	678	4677	11393	16070	1.73	0.71	2.45
1894	2924	2867	976	6766	13480	20247	1645	2428	682	4754	11073	15827	1.68	0.72	2.40
1895	2925	2877	983	6785	13516	20301	1642	2504	685	4831	11733	16564	1.77	0.73	2.50
1896	2926	2887	991	6804	13557	20361	1640	2579	688	4907	10945	15852	1.64	0.74	2.38
1897	2926	2898	999	6823	13603	20427	1637	2654	691	4982	10661	15643	1.59	0.75	2.34
1898	2927	2910	1007	6844	13655	20499	1635	2729	695	5058	10763	15822	1.60	0.75	2.36
1899	2928	2829	1015	6772	13726	20498	1632	2736	698	5066	10388	15454	1.54	0.75	2.29
1900	2924	2804	1023	6751	13816	20567	1627	2783	701	5111	10433	15544	1.54	0.75	2.29
1901	3095	2793	1029	6917	13926	20843	1716	2774	704	5193	11416	16609	1.68	0.76	2.44
1902	3244	2759	1036	7039	14055	21094	1793	2744	705	5242	10738	15980	1.57	0.76	2.33
1903	3285	2873	1043	7201	14203	21405	1811	2820	706	5337	10674	16011	1.55	0.77	2.32
1904	3304	2814	1049	7167	14341	21508	1815	2771	707	5294	10406	15700	1.50	0.76	2.26
1905	3471	2914	1056	7441	14467	21908	1902	2837	709	5447	10975	16422	1.57	0.78	2.35
1906	3462	2791	1063	7316	14583	21898	1891	2743	710	5343	10645	15988	1.51	0.76	2.27
1907	3645	2727	1070	7442	14687	22129	1985	2691	711	5387	10477	15864	1.48	0.76	2.23
1908	3523	2614	1076	7213	14781	21994	1913	2604	712	5229	10207	15436	1.43	0.73	2.16
1909	3550	2588	1083	7221	14857	22078	1921	2581	713	5215	10706	15921	1.49	0.72	2.21
1910	3647	2581	1090	7318	14916	22234	1968	2569	714	5251	10098	15349	1.39	0.72	2.12
1911	3661	2575	1093	7330	14957	22286	1960	2509	713	5182	10289	15472	1.41	0.71	2.12
1912	3712	2515	1097	7324	14981	22305	1975	2412	712	5099	9966	15065	1.36	0.69	2.05
1913	3779	2496	1100	7375	14987	22362	1999	2343	711	5053	9975	15028	1.35	0.68	2.03
1914	3784	2478	1104	7366	15024	22390	1990	2277	710	4976	10320	15296	1.39	0.67	2.05
1915	3793	2490	1107	7390	15092	22482	1982	2232	709	4922	10224	15146	1.36	0.66	2.02
1916	3818	2565	1111	7493	15191	22684	1983	2230	708	4921	10577	15498	1.40	0.65	2.05
1917	3858	2585	1114	7557	15320	22877	1991	2192	707	4890	11572	16462	1.52	0.64	2.17
1918	3866	2631	1118	7615	15480	23095	1983	2172	706	4861	10433	15294	1.36	0.64	2.00
1919	3905	2637	1121	7664	15612	23276	1991	2124	705	4820	10800	15620	1.40	0.63	2.03
1920	4043	2660	1125	7827	15716	23543	2048	2089	704	4841	10445	15285	1.35	0.62	1.97
1921	4077	2661	1155	7893	15792	23685	2053	2070	717	4840	11037	15877	1.41	0.62	2.03

1922	4077	2683	1185	7945	15840	23785	2042	2079	729	4850	11275	16125	1.43	0.61	2.04
1923	4188	2687	1216	8091	15860	23951	2085	2075	742	4903	11658	16561	1.46	0.61	2.08
1924	4188	2686	1247	8122	15880	24002	2073	2069	755	4897	11641	16538	1.45	0.61	2.05
1925	4219	2712	1279	8210	15900	24110	2076	2080	768	4924	11502	16426	1.41	0.61	2.02
1926	4300	2772	1311	8383	15920	24303	2104	2113	781	4998	11109	6108	1.35	0.61	1.96
1927	4365	2806	1343	8514	15940	24454	2123	2134	795	5052	10812	15864	1.30	0.61	1.91
1928	4405	2846	1376	8627	15960	24587	2130	2158	810	5098	10733	15831	1.28	0.61	1.89
1929	4456	2791	1409	8656	15984	24640	2139	2118	825	5082	11127	16209	1.31	0.60	1.91
1930	4650	2844	1442	8936	16012	24948	2215	2150	840	5206	10520	15725	1.23	0.61	1.84
1931	4742	2872	1459	9073	16044	25117	2244	2167	848	5258	10796	16054	1.25	0.61	1.86
1932	4923	2885	1476	9285	16080	25365	2314	2174	855	5343	11227	16570	1.29	0.61	1.90
1933	5012	2855	1494	9361	16120	25481	2339	2152	862	5353	11192	16545	1.27	0.61	1.88
1934	4938	2926	1511	9374	16156	25530	2289	2196	870	5354	10997	16351	1.24	0.60	1.84
1935	5011	2956	1528	9495	16188	25683	2306	2214	877	5397	11067	16464	1.23	0.60	1.84
1936	5036	2823	1546	9404	16216	25620	2301	2140	889	5330	10875	16205	1.20	0.59	1.79
1937	5090	2824	1563	9478	16240	25718	2310	2155	901	5366	10633	15999	1.16	0.59	1.75
1938	5102	2826	1581	9509	16260	25769	2315	2170	913	5399	11420	16819	1.24	0.59	1.82
1939	5113	2813	1598	9524	16264	25788	2321	2175	925	5421	11363	16784	1.22	0.58	1.80
1940	5124	2799	1616	9539	16252	25791	2345	2179	937	5462	11745	17207	1.25	0.58	1.83
1941	5124	2785	1615	9524	16224	25748	2363	2184	941	5488	11974	17462	1.26	0.58	1.84
1942	5173	2771	1613	9557	16180	25737	2404	2188	945	5536	12318	17854	1.29	0.58	1.87
1943	5278	2779	1612	9670	16120	25790	2471	2207	948	5626	11507	17133	1.19	0.58	1.78
1944	5270	2783	1611	9665	16104	25769	2479	2223	952	5654	12468	18122	1.28	0.58	1.87
1945	5274	2789	1611	9674	16132	25806	2492	2241	957	5690	11800	17490	1.21	0.58	1.79
1946	5264	2802	1610	9676	16204	25880	2499	2263	961	5724	11630	17354	1.18	0.58	1.76
1947	5290	2836	1610	9736	16320	26056	2524	2294	966	5783	11408	17191	1.15	0.58	1.73
1948	5328	2891	1611	9829	16480	26309	2554	2338	970	5862	10783	16645	1.08	0.59	1.66
1949	5340	2916	1611	9867	16656	26523	2572	2361	975	5908	9568	15476	0.95	0.59	1.53
1950	5363	2944	1612	9919	16848	26767	2595	2387	980	5963	10809	16772	1.06	0.59	1.65
1951	5398	3058	1648	10104	17056	27160	2626	2480	1005	6111	11073	17184	1.08	0.60	1.68
1952	5454	3131	1684	10269	17280	27549	2666	2545	1024	6235	9872	16107	0.95	0.60	1.56
1953	5539	3195	1720	10454	17520	27974	2720	2603	1042	6366	9704	16071	0.93	0.61	1.54
1954	5587	3171	1756	10514	17752	28266	2729	2600	1061	6389	9258	15647	0.88	0.61	1.49
1955	5645	3244	1791	10680	17976	28656	2741	2665	1079	6485	8522	15008	0.80	0.61	1.42
1956	5679	3342	1825	10847	18192	29039	2743	2748	1097	6588	8553	15142	0.80	0.62	1.42
1957	5819	3418	1860	11098	18400	29498	2794	2817	1115	6726	7719	14445	0.72	0.62	1.34

1958	5789	3516	1894	11200	18600	29800	2764	2902	1132	6798	7516	14314	0.69	0.63	1.32
1959	5828	3593	1928	11349	18831	30180	2766	2972	1149	6887	6825	13712	0.62	0.63	1.25
1960	5928	3686	1962	11576	19094	30670	2797	3054	1166	7018	6584	13601	0.60	0.63	1.23
1961	5923	3787	2017	11727	19388	31115	2764	3132	1191	7087	6010	13097	0.54	0.63	1.17
1962	5948	3887	2073	11908	19713	31621	2750	3188	1216	7155	5821	12975	0.52	0.63	1.15
1963	5978	3712	2131	11821	20070	31891	2739	3044	1241	7024	5588	12612	0.49	0.62	1.11
1964	6037	3808	2190	12035	20484	32519	2739	3097	1268	7103	5385	12488	0.47	0.62	1.08
1965	6127	3905	2251	12283	20955	33238	2754	3148	1294	7196	5202	12398	0.45	0.62	1.06
1966	6191	3988	2312	12491	21484	33975	2756	3188	1321	7265	5060	12325	0.43	0.62	1.05
1967	6066	4155	2375	12597	22070	34666	2674	3286	1349	7309	4772	12081	0.40	0.61	1.02
1968	5918	4240	2440	12597	22713	35310	2584	3324	1377	7285	4609	11894	0.38	0.61	0.99
1969	5926	4325	2506	12756	23388	36144	2562	3362	1406	7330	4646	11976	0.38	0.60	0.99
1970	6005	4243	2573	12820	24094	36914	2567	3282	1435	7283	4526	11809	0.37	0.59	0.96
1971	6201	4294	2639	13133	24831	37964	2614	3293	1462	7369	4332	11701	0.35	0.59	0.94
1972	6090	4303	2706	13099	25600	38699	2532	3275	1489	7296	4311	11607	0.34	0.58	0.92
1973	5870	4566	2773	13210	26400	39610	2407	3428	1516	7351	4390	11741	0.34	0.58	0.92
1974	6016	4729	2841	13586	27184	40770	2431	3510	1543	7485	4321	11806	0.34	0.58	0.92
1975	5964	4953	2909	13826	27953	41779	2376	3631	1570	7577	3895	11471	0.30	0.58	0.88
1976	5850	4976	2978	13804	28707	42511	2297	3617	1596	7510	3128	10638	0.24	0.57	0.81
1977	5888	5078	3047	14014	29444	43458	2279	3653	1623	7555	2910	10465	0.22	0.57	0.78
1978	5864	5171	3118	14153	30166	44319	2236	3683	1649	7568	2694	10262	0.20	0.56	0.76
1979	5819	5214	3188	14222	30819	45041	2186	3679	1675	7540	2642	10182	0.19	0.55	0.75
1980	5767	5321	3259	14348	31403	45750	2134	3715	1701	7549	1969	9519	0.14	0.55	0.69
1981	5792	5377	3299	14469	31917	46385	2117	3716	1712	7545	1791	9337	0.13	0.55	0.68
1982	5802	5437	3339	14578	32362	46940	2095	3719	1723	7536	2163	9700	0.16	0.54	0.70
1983	5805	5449	3380	14633	32737	47370	2070	3691	1733	7495	2402	9897	0.17	0.54	0.71
1984	5842	5293	3420	14555	33038	47592	2057	3561	1741	7360	2626	9985	0.19	0.53	0.71
1985	5890	5231	3461	14582	33264	47846	2050	3490	1749	7289	2771	10060	0.20	0.52	0.72
1986	5893	5236	3502	14630	33415	48046	2027	3458	1756	7242	2904	10146	0.21	0.51	0.72
1987	5962	5108	3543	14613	33493	48106	2027	3349	1763	7139	2764	9904	0.20	0.51	0.70
1988	6033	5080	3584	14697	33495	48192	2026	3300	1771	7097	3083	10180	0.22	0.50	0.72
1989	6050	5100	3626	14776	33517	48293	2008	3293	1778	7079	3387	10466	0.24	0.50	0.74
1990	6079	5101	3668	14848	33559	48406	1993	3275	1785	7052	3434	10486	0.24	0.50	0.74
1991	6066	5069	3688	14823	33620	48442	1958	3218	1780	6955	3494	10450	0.25	0.49	0.74
1992	6087	4934	3708	14729	33700	48429	1934	3133	1775	6843	3607	10450	0.25	0.48	0.73
1993	6111	4616	3729	14456	33800	48256	1912	2947	1770	6629	3011	9639	0.21	0.46	0.67

1994	6037	4519	3749	14306	33956	48263	1859	2885	1766	6509	3309	9818	0.23	0.45	0.69
1995	6147	4428	3770	14344	34169	48514	1714	2826	1761	6300	3813	10113	0.27	0.44	0.70
1996	6146	4330	3791	14267	34439	48705	1703	2764	1756	6223	3711	9934	0.26	0.43	0.69
1997	6211	4366	3811	14388	34765	49153	1712	2776	1751	6238	3216	9454	0.22	0.43	0.66
1998	6220	4430	3832	14482	35147	49629	1704	2803	1745	6253	2962	9215	0.20	0.43	0.64
1999	6305	4530	3853	14688	35496	50184	1717	2851	1740	6308	2865	9173	0.20	0.43	0.63
2000	6403	4662	3874	14939	35813	50752	1734	2916	1735	6385	3181	9566	0.22	0.44	0.65
2001	6437	4770	3863	15069	36096	51166	1735	2967	1733	6436	2853	9289	0.19	0.43	0.63
2002	6598	4808	3851	15257	36347	51604	1751	2982	1732	6465	3133	9598	0.21	0.43	0.64
2003	6723	4754	3839	15316	36565	51881	1757	2945	1730	6433	3471	9904	0.23	0.42	0.65
2004	6764	4681	3827	15271	36984	52255	1762	2899	1728	6389	3601	9991	0.23	0.41	0.64
2005	6869	4696	3814	15380	37604	52983	1784	2900	1727	6411	3834	10245	0.24	0.41	0.65
2006	6975	4679	3801	15455	38425	53880	1806	2884	1725	6415	4175	10590	0.26	0.40	0.66
2007	7041	4586	3788	15414	39447	54862	1817	2828	1722	6367	4437	10805	0.27	0.39	0.66
2008	7090	4579	3774	15443	40671	56114	1824	2818	1720	6362	4282	10644	0.26	0.38	0.64
2009	7081	4497	3760	15338	41282	56621	1816	2768	1718	6302	4401	10703	0.26	0.37	0.63
2010	7047	4252	3745	15045	41894	56939	1802	2631	1716	6148	5431	11580	0.32	0.36	0.68

Tabla AE2

Consumo de bioenergías por tipo de biomasa (energía primaria) y por tipo de portador energético (energía final).

	Energía primaria [TJ]						Energía final [TJ]					Consumo por habitante [GJ/hab/día]	
	Leña Forestal	Leña Cultivos	Residuos Madera	Otros Residuos Cultivos	Residuos Urbanos e Industriales	Total	Biomasa Sólida	Biocarburante	Biogás	Electricidad	Total	Primaria	Final
1860	194	43	1	5	0	243	238	0	0	0	238	15.4	15.2
1861	195	43	1	5	0	244	239	0	0	0	239	15.4	15.2
1862	195	43	1	5	0	244	239	0	0	0	239	15.3	15.1
1863	191	44	1	5	0	241	236	0	0	0	236	15.0	14.9
1864	198	44	1	5	0	248	243	0	0	0	243	15.4	15.3
1865	188	44	2	5	0	239	233	0	0	0	233	14.7	14.6
1866	183	44	1	5	0	234	229	0	0	0	229	14.4	14.3
1867	184	45	1	5	0	235	231	0	0	0	231	14.5	14.3
1868	177	45	1	5	0	228	223	0	0	0	223	13.9	13.8
1869	176	45	1	5	0	227	223	0	0	0	223	13.9	13.7
1870	183	46	2	5	0	235	231	0	0	0	231	14.3	14.2
1871	184	46	2	5	0	236	231	0	0	0	231	14.2	14.1
1872	173	46	1	5	0	226	221	0	0	0	221	13.6	13.5
1873	176	47	1	5	0	229	225	0	0	0	225	13.8	13.7
1874	174	47	2	5	0	228	222	0	0	0	222	13.6	13.4
1875	176	47	2	5	0	230	226	0	0	0	226	13.7	13.6
1876	171	48	2	5	0	225	222	0	0	0	222	13.4	13.3
1877	165	48	1	5	0	219	214	0	0	0	214	12.9	12.8
1878	169	48	1	5	0	224	220	0	0	0	220	13.2	13.1
1879	171	49	2	5	0	226	222	0	0	0	222	13.3	13.2
1880	173	49	2	5	0	228	223	0	0	0	223	13.3	13.1
1881	165	49	2	5	0	221	217	0	0	0	217	12.8	12.7
1882	164	49	2	5	0	220	217	0	0	0	217	12.8	12.7
1883	164	50	1	5	0	220	216	0	0	0	216	12.7	12.6
1884	162	50	1	5	0	219	215	0	0	0	215	12.6	12.5
1885	164	50	2	5	0	221	218	0	0	0	218	12.7	12.6
1886	165	51	2	5	0	222	218	0	0	0	218	12.6	12.5

1887	170	51	2	5	0	228	224	0	0	0	224	12.9	12.8
1888	168	51	2	5	0	226	223	0	0	0	223	12.8	12.7
1889	169	52	1	5	0	227	222	0	0	0	222	12.7	12.6
1890	165	52	1	5	0	223	219	0	0	0	219	12.4	12.3
1891	160	52	2	5	0	219	216	0	0	0	216	12.2	12.1
1892	161	53	2	5	0	221	221	0	0	0	221	12.5	12.4
1893	156	53	2	5	0	216	213	0	0	0	213	11.9	11.8
1894	152	54	2	5	0	213	209	0	0	0	209	11.7	11.6
1895	161	55	2	5	0	223	222	0	0	0	222	12.4	12.2
1896	150	56	2	5	0	213	206	0	0	0	206	11.4	11.3
1897	146	56	2	5	0	210	209	0	0	0	209	11.5	11.4
1898	147	57	2	5	0	212	209	0	0	0	209	11.4	11.3
1899	142	57	2	5	0	206	202	0	0	0	202	11.0	10.9
1900	142	58	3	6	0	208	204	0	0	0	204	11.1	11.0
1901	155	59	3	7	0	224	220	0	0	0	220	11.9	11.8
1902	146	60	3	6	0	215	211	0	0	0	211	11.4	11.3
1903	145	61	3	6	0	215	211	0	0	0	211	11.3	11.1
1904	141	60	3	6	0	211	206	0	0	0	206	10.9	10.8
1905	148	62	4	7	0	221	215	0	0	0	215	11.4	11.3
1906	144	61	4	6	0	215	209	0	0	0	209	10.9	10.8
1907	142	61	4	6	0	213	211	0	0	0	211	10.9	10.8
1908	138	60	3	6	0	207	202	0	0	0	202	10.4	10.3
1909	145	60	3	6	0	214	212	0	0	0	212	10.8	10.7
1910	136	60	4	6	0	206	201	0	0	0	201	10.2	10.1
1911	138	59	5	7	0	209	208	0	0	0	208	10.5	10.4
1912	135	58	4	6	0	203	196	0	0	0	196	9.8	9.7
1913	135	58	4	8	0	204	201	0	0	0	201	10.0	9.9
1914	139	57	4	8	0	208	203	0	0	0	203	10.1	10.0
1915	138	57	4	8	0	206	203	0	0	0	203	10.0	9.9
1916	143	56	4	8	0	211	206	0	0	0	206	10.1	10.0
1917	156	56	4	9	0	226	222	0	0	0	222	10.8	10.7
1918	141	56	4	8	0	208	204	0	0	0	204	9.8	9.7
1919	146	55	4	8	0	213	210	0	0	0	210	10.1	10.0
1920	141	56	4	8	0	209	205	0	0	0	205	9.7	9.7
1921	149	56	4	9	0	217	213	0	0	0	213	10.0	9.9
1922	152	56	4	10	0	222	216	0	0	0	216	10.1	10.0

1923	157	56	5	10	0	229	222	0	0	0	222	10.3	10.2
1924	157	56	5	10	0	228	222	0	0	0	222	10.2	10.1
1925	155	57	5	10	0	227	222	0	0	0	222	10.1	10.0
1926	149	58	5	10	0	222	215	0	0	0	215	9.6	9.5
1927	145	58	5	10	0	219	220	0	0	0	220	9.8	9.7
1928	144	59	5	10	0	217	210	0	0	0	210	9.2	9.1
1929	149	58	5	10	0	223	223	0	0	0	223	9.7	9.6
1930	141	60	5	10	0	216	206	0	0	0	206	8.9	8.8
1931	145	61	5	10	0	221	215	0	0	0	215	9.2	9.1
1932	150	62	5	11	0	228	223	0	0	0	223	9.4	9.3
1933	150	62	5	11	0	228	222	0	0	0	222	9.3	9.2
1934	147	62	5	10	0	225	218	0	0	0	218	9.0	9.0
1935	148	62	5	11	0	226	222	0	0	0	222	9.1	9.0
1936	146	61	5	12	0	224	218	0	0	0	218	8.9	8.8
1937	143	62	5	11	0	220	214	0	0	0	214	8.6	8.5
1938	153	62	5	12	0	232	224	0	0	0	224	8.9	8.9
1939	153	62	5	11	0	231	223	0	0	0	223	8.8	8.7
1940	158	63	5	12	0	237	229	0	0	0	229	9.0	8.9
1941	161	63	5	12	0	241	234	0	0	0	234	9.1	9.0
1942	166	64	5	12	0	247	238	0	0	0	238	9.2	9.1
1943	155	65	5	11	0	236	230	0	0	0	230	8.8	8.7
1944	168	65	5	12	0	250	240	0	0	0	240	9.1	9.0
1945	159	66	5	11	0	241	231	0	0	0	231	8.7	8.6
1946	157	66	4	11	0	239	232	0	0	0	232	8.7	8.6
1947	153	67	5	12	0	237	231	0	0	0	231	8.6	8.5
1948	145	68	5	11	0	229	218	0	0	0	218	8.0	7.9
1949	129	68	4	10	0	211	206	0	0	0	206	7.5	7.4
1950	145	69	5	11	0	230	220	0	0	0	220	8.0	7.9
1951	148	70	5	12	0	236	232	0	0	0	232	8.4	8.3
1952	131	72	6	12	0	221	212	0	0	0	212	7.6	7.5
1953	129	73	6	12	0	220	213	0	0	0	213	7.5	7.4
1954	122	74	7	12	0	214	205	0	0	0	205	7.2	7.1
1955	111	75	7	11	0	204	196	0	0	0	196	6.8	6.8
1956	109	76	9	13	0	207	198	0	0	0	198	6.8	6.8
1957	98	77	10	13	0	198	189	0	0	0	189	6.5	6.4
1958	95	78	10	13	0	195	187	0	0	0	187	6.3	6.3

1959	87	79	8	11	0	185	180	0	0	0	180	6.1	6.0
1960	84	80	8	11	0	183	179	0	0	0	179	6.0	5.9
1961	73	81	11	14	0	178	170	0	0	0	170	5.6	5.6
1962	69	82	12	15	0	177	168	0	0	0	168	5.5	5.4
1963	66	80	12	15	0	173	167	0	0	0	167	5.4	5.4
1964	62	81	12	15	0	171	157	0	0	0	157	5.0	5.0
1965	59	82	13	16	0	170	159	0	0	0	159	5.0	5.0
1966	56	83	14	17	0	170	171	0	0	0	171	5.3	5.3
1967	53	83	13	15	0	165	153	0	0	0	153	4.8	4.7
1968	51	83	13	16	0	163	153	0	0	0	153	4.7	4.7
1969	48	83	16	19	0	167	153	0	0	0	153	4.6	4.6
1970	46	83	17	20	0	166	153	0	0	0	153	4.6	4.5
1971	44	84	16	20	0	163	149	0	0	0	149	4.4	4.4
1972	41	83	18	21	0	164	150	0	0	0	150	4.4	4.3
1973	39	83	21	25	0	169	151	0	0	0	151	4.4	4.3
1974	37	85	22	26	0	170	149	0	0	0	149	4.3	4.2
1975	34	85	20	23	0	162	147	0	0	0	147	4.2	4.1
1976	22	85	21	25	0	153	135	0	0	0	135	3.8	3.7
1977	18	85	22	25	0	150	132	0	0	0	132	3.6	3.6
1978	14	85	23	26	0	148	133	0	0	0	133	3.7	3.6
1979	14	85	23	25	0	147	131	0	0	0	131	3.6	3.5
1980	10	85	18	19	2	133	120	0	0	0	120	3.3	3.2
1981	9	84	16	20	2	132	117	0	0	1	117	3.2	3.1
1982	13	84	17	24	2	140	130	0	0	1	131	3.6	3.5
1983	17	84	16	24	3	144	127	0	0	1	128	3.5	3.4
1984	20	82	17	27	3	149	139	0	0	1	140	3.8	3.6
1985	21	82	18	30	3	154	137	0	0	1	138	3.7	3.6
1986	20	81	20	35	4	160	142	0	0	1	143	3.9	3.7
1987	21	80	17	34	4	156	147	0	0	1	148	4.0	3.8
1988	22	79	21	40	4	166	146	0	0	1	147	4.0	3.8
1989	23	79	24	45	5	176	153	0	0	1	155	4.2	4.0
1990	22	79	26	48	5	180	158	0	0	1	159	4.3	4.1
1991	26	78	23	50	5	181	153	0	0	1	154	4.3	4.0
1992	27	77	23	33	5	165	139	0	1	1	141	4.0	3.6
1993	24	74	18	40	6	162	140	0	1	1	141	4.0	3.6
1994	22	73	24	43	6	168	140	0	1	1	142	4.0	3.6

1995	32	70	21	39	6	168	134	0	1	2	137	3.9	3.5
1996	33	69	19	29	7	156	135	0	1	2	138	3.9	3.5
1997	26	70	18	29	7	150	136	0	1	3	139	4.0	3.5
1998	19	70	22	51	7	169	141	0	1	3	145	4.1	3.7
1999	19	70	21	58	8	176	142	0	1	3	146	4.1	3.7
2000	21	71	23	52	8	175	140	3	1	3	147	4.2	3.7
2001	13	72	26	57	8	176	140	3	1	4	148	4.2	3.7
2002	14	72	29	78	7	200	142	6	1	7	156	4.5	3.8
2003	16	72	32	69	8	196	142	8	1	7	158	4.5	3.8
2004	15	71	35	58	32	212	143	7	1	8	160	4.5	3.8
2005	12	72	41	86	17	228	144	11	1	8	164	4.5	3.8
2006	16	72	41	80	23	232	154	7	3	8	172	4.7	3.9
2007	20	71	41	88	27	248	156	16	3	8	183	5.0	4.1
2008	14	71	46	98	34	263	152	26	1	9	188	5.1	4.1
2009	16	70	45	131	33	296	156	45	1	12	214	5.8	4.6
2010	34	69	41	151	25	320	154	60	2	14	230	6.4	5.0

Tabla AE3

Stock de carbono leñoso y densidad de carbono por tipo de aprovechamiento. Incluye la biomasa superficial y radicular.

	Stock de C [Tg]						Densidad de C [Mg/ha]					
	Olivar	Viña	Frutales	Cultivada	Forestal	Total	Olivar	Viña	Frutales	Cultivada	Forestal	Total
1860	14	13	6	32	308	340	16.3	10.1	10.6	12.2	21.8	20.3
1861	14	13	6	33	307	339	16.2	10.1	10.6	12.2	21.8	20.3
1862	14	13	6	33	304	337	16.2	10.2	10.5	12.2	21.6	20.1
1863	14	13	6	33	301	334	16.2	10.2	10.5	12.2	21.5	20.0
1864	14	13	6	33	298	331	16.2	10.3	10.4	12.2	21.3	19.8
1865	14	13	6	33	295	329	16.1	10.3	10.4	12.3	21.2	19.7
1866	15	13	6	34	292	326	16.1	10.4	10.4	12.3	21.0	19.6
1867	15	13	6	34	290	324	16.1	10.4	10.3	12.3	20.9	19.4
1868	15	13	6	34	287	322	16.1	10.5	10.3	12.3	20.7	19.3
1869	15	14	6	34	285	319	16.1	10.5	10.3	12.3	20.6	19.2
1870	15	14	6	35	283	317	16.1	10.5	10.2	12.3	20.5	19.1
1871	15	14	6	35	280	315	16.1	10.6	10.2	12.3	20.3	19.0
1872	15	14	6	35	278	313	16.1	10.6	10.2	12.3	20.2	18.8
1873	15	14	6	35	275	310	16.1	10.7	10.1	12.4	20.1	18.7
1874	15	14	6	35	273	308	16.1	10.7	10.1	12.4	19.9	18.6
1875	16	14	6	36	271	306	16.1	10.7	10.1	12.4	19.8	18.5
1876	16	14	6	36	268	304	16.1	10.8	10.0	12.4	19.7	18.4
1877	16	14	6	36	266	302	16.1	10.8	10.0	12.4	19.5	18.3
1878	16	15	6	36	264	300	16.1	10.9	10.0	12.4	19.4	18.2
1879	16	15	6	37	262	299	16.1	10.9	9.9	12.5	19.3	18.1
1880	16	15	6	37	260	296	16.1	10.9	9.9	12.5	19.2	18.0
1881	16	15	6	37	257	294	16.1	11.0	9.9	12.5	19.1	17.9
1882	16	15	6	37	255	293	16.1	11.0	9.9	12.5	18.9	17.8
1883	17	15	6	38	253	291	16.1	11.0	9.8	12.5	18.8	17.7
1884	17	15	6	38	251	289	16.2	11.1	9.8	12.6	18.7	17.6
1885	17	15	6	38	249	288	16.2	11.1	9.8	12.6	18.6	17.5
1886	17	15	6	38	247	286	16.2	11.1	9.8	12.6	18.5	17.4
1887	17	16	6	39	245	284	16.2	11.2	9.7	12.6	18.4	17.3
1888	17	16	6	39	243	282	16.3	11.2	9.7	12.6	18.3	17.2
1889	18	16	6	39	241	280	16.3	11.2	9.7	12.7	18.2	17.1
1890	18	16	6	40	239	278	16.3	11.3	9.7	12.7	18.0	17.0

1891	18	16	6	40	237	277	16.3	11.3	9.7	12.7	17.9	16.9
1892	18	16	6	40	235	275	16.2	11.3	9.6	12.7	17.8	16.8
1893	18	16	6	40	233	273	16.1	11.3	9.6	12.7	17.7	16.7
1894	18	16	6	41	231	272	16.3	11.4	9.6	12.7	17.6	16.7
1895	18	16	6	41	230	271	16.4	11.3	9.6	12.8	17.5	16.6
1896	19	16	6	41	228	269	16.5	11.3	9.6	12.8	17.5	16.5
1897	19	16	6	41	227	268	16.6	11.3	9.6	12.8	17.4	16.5
1898	19	16	6	41	226	267	16.7	11.2	9.6	12.8	17.3	16.4
1899	19	16	6	42	225	266	16.9	11.4	9.6	13.0	17.3	16.4
1900	19	16	6	42	224	265	17.0	11.4	9.6	13.0	17.3	16.4
1901	19	16	6	42	223	264	16.3	11.4	9.6	12.8	17.2	16.3
1902	20	16	6	42	222	263	15.7	11.4	9.6	12.7	17.2	16.3
1903	20	16	6	42	221	262	15.7	10.8	9.6	12.4	17.2	16.2
1904	20	15	6	42	220	262	15.8	10.9	9.6	12.5	17.1	16.2
1905	20	15	6	42	219	261	15.2	10.4	9.6	12.1	17.1	16.1
1906	21	15	6	42	219	260	15.4	10.8	9.6	12.4	17.1	16.1
1907	21	15	6	42	218	260	14.9	10.9	9.7	12.3	17.1	16.1
1908	21	15	6	42	217	260	15.6	11.2	9.7	12.7	17.1	16.2
1909	21	15	6	42	217	259	15.7	11.2	9.7	12.7	17.1	16.2
1910	21	14	6	42	217	259	15.4	11.1	9.7	12.6	17.1	16.2
1911	22	14	7	42	217	259	15.5	11.0	9.8	12.6	17.1	16.2
1912	22	14	7	42	216	259	15.5	11.1	9.8	12.7	17.1	16.2
1913	22	14	7	43	216	259	15.3	11.1	9.9	12.7	17.1	16.2
1914	22	14	7	43	216	259	15.5	11.0	10.0	12.7	17.1	16.2
1915	23	14	7	43	216	259	15.6	10.9	10.0	12.8	17.1	16.2
1916	23	14	7	43	216	259	15.6	10.5	10.1	12.6	17.1	16.2
1917	23	13	7	43	216	259	15.6	10.4	10.2	12.6	17.1	16.1
1918	23	13	7	44	215	259	15.7	10.2	10.2	12.6	17.1	16.1
1919	24	13	7	44	215	258	15.7	10.2	10.3	12.6	17.0	16.1
1920	24	14	7	44	214	258	15.3	10.2	10.4	12.5	17.0	16.0
1921	24	14	7	45	214	258	15.4	10.2	10.2	12.5	17.1	16.0
1922	24	14	7	45	213	258	15.6	10.2	10.1	12.5	17.1	16.0
1923	25	14	7	45	212	258	15.3	10.2	10.0	12.4	17.1	15.9
1924	25	14	7	46	211	257	15.5	10.3	9.8	12.5	17.1	15.9
1925	25	14	7	46	211	257	15.6	10.2	9.7	12.5	17.1	15.8
1926	26	14	7	47	210	256	15.5	10.1	9.6	12.4	17.2	15.7

1927	26	14	7	47	209	256	15.4	10.0	9.5	12.3	17.2	15.7
1928	26	14	7	47	209	256	15.5	9.9	9.5	12.3	17.3	15.7
1929	26	14	7	48	209	257	15.5	10.2	9.4	12.4	17.3	15.7
1930	27	14	7	48	209	257	15.0	10.1	9.3	12.1	17.4	15.6
1931	27	14	7	49	209	258	14.9	10.0	9.4	12.1	17.3	15.6
1932	27	14	7	49	209	258	14.6	10.1	9.4	12.0	17.3	15.6
1933	28	14	8	50	208	258	14.6	10.2	9.5	12.1	17.1	15.6
1934	28	15	8	50	208	258	15.0	10.0	9.5	12.2	17.0	15.6
1935	29	15	8	51	207	258	15.0	10.0	9.6	12.2	16.9	15.5
1936	29	15	8	51	207	258	15.2	10.6	9.7	12.5	16.8	15.6
1937	29	15	8	52	206	258	15.2	10.6	9.7	12.6	16.7	15.6
1938	30	15	8	52	206	258	15.4	10.7	9.8	12.7	16.6	15.6
1939	30	15	8	53	205	258	15.6	10.8	9.9	12.8	16.5	15.6
1940	30	15	8	53	205	258	15.8	10.9	9.9	13.0	16.4	15.5
1941	31	15	8	54	204	258	16.0	11.0	10.1	13.1	16.3	15.6
1942	31	15	8	55	202	257	16.0	11.1	10.2	13.2	16.3	15.5
1943	31	15	8	55	201	256	15.9	11.2	10.3	13.2	16.3	15.5
1944	32	15	8	56	200	255	16.1	11.2	10.4	13.4	16.2	15.5
1945	32	15	9	56	198	254	16.3	11.2	10.5	13.5	16.1	15.5
1946	32	15	9	57	197	254	16.5	11.2	10.6	13.6	16.1	15.5
1947	33	16	9	57	196	253	16.6	11.2	10.8	13.7	16.0	15.4
1948	33	16	9	58	195	253	16.7	11.0	10.9	13.7	16.0	15.4
1949	33	16	9	58	195	253	16.8	11.0	11.0	13.7	16.1	15.5
1950	34	16	9	59	196	254	16.9	10.9	11.1	13.8	16.2	15.6
1951	34	16	9	59	196	255	17.0	10.7	11.0	13.7	16.1	15.4
1952	35	16	9	60	196	256	17.1	10.7	11.0	13.7	15.9	15.3
1953	35	16	9	60	197	257	17.0	10.6	10.9	13.7	15.8	15.3
1954	35	16	9	61	198	259	17.1	10.9	10.8	13.8	15.8	15.3
1955	36	16	9	61	200	261	17.1	10.9	10.8	13.8	15.7	15.2
1956	36	16	9	62	202	264	17.3	10.7	10.7	13.8	15.7	15.2
1957	36	16	10	62	204	266	17.1	10.7	10.7	13.7	15.7	15.2
1958	37	17	10	63	206	269	17.4	10.6	10.6	13.7	15.8	15.2
1959	37	17	10	64	210	273	17.5	10.5	10.6	13.7	15.9	15.3
1960	37	17	10	64	213	278	17.4	10.4	10.5	13.7	16.0	15.4
1961	38	17	10	65	218	282	17.7	10.4	10.5	13.7	16.2	15.5
1962	38	17	10	65	222	287	17.8	10.4	10.5	13.8	16.3	15.7

1963	39	17	10	66	227	293	18.0	11.2	10.5	14.2	16.5	15.9
1964	39	17	10	67	232	298	18.0	11.2	10.5	14.2	16.7	16.1
1965	39	17	10	67	237	305	18.0	11.2	10.4	14.2	16.9	16.2
1966	40	17	11	68	243	311	18.0	11.2	10.4	14.2	17.2	16.4
1967	40	17	11	68	250	318	18.6	11.0	10.4	14.3	17.5	16.7
1968	41	18	11	69	257	326	19.3	11.0	10.5	14.6	17.8	17.0
1969	41	18	11	70	264	334	19.4	11.1	10.5	14.6	18.1	17.3
1970	41	18	11	70	272	342	19.4	11.6	10.5	14.8	18.5	17.6
1971	41	18	11	71	279	350	18.8	11.7	10.4	14.7	18.9	17.8
1972	42	18	12	71	288	359	19.3	11.9	10.3	14.9	19.3	18.2
1973	42	18	12	72	296	368	20.1	11.5	10.3	14.9	19.8	18.6
1974	42	18	12	72	305	377	19.7	11.3	10.2	14.7	20.2	18.9
1975	42	18	12	73	314	387	20.0	11.0	10.2	14.7	20.7	19.2
1976	43	18	12	73	323	397	20.5	11.2	10.2	14.9	21.2	19.7
1977	43	18	13	74	333	407	20.5	11.2	10.1	14.9	21.7	20.1
1978	43	19	13	75	344	418	20.7	11.3	10.1	14.9	22.3	20.5
1979	44	19	13	75	354	430	21.0	11.4	10.1	15.1	22.9	21.0
1980	44	19	13	76	366	442	21.3	11.4	10.1	15.2	23.5	21.4
1981	45	19	13	77	378	455	21.5	11.5	10.2	15.3	24.2	22.1
1982	45	19	14	78	391	469	21.8	11.6	10.4	15.5	25.0	22.7
1983	45	19	14	78	405	483	22.1	11.8	10.5	15.7	25.8	23.4
1984	46	19	14	79	418	497	22.3	12.4	10.6	16.0	26.6	24.1
1985	46	19	15	80	431	510	22.4	12.7	10.8	16.2	27.4	24.8
1986	46	19	15	80	443	523	22.7	12.9	10.9	16.4	28.2	25.4
1987	47	19	15	81	455	536	22.7	13.5	11.1	16.7	28.9	26.0
1988	47	20	15	82	467	549	22.8	13.7	11.2	16.9	29.6	26.6
1989	47	20	16	83	478	561	23.0	13.9	11.4	17.1	30.3	27.2
1990	48	20	16	83	490	573	23.2	14.1	11.5	17.2	31.0	27.8
1991	48	20	16	84	501	585	23.4	14.3	11.7	17.5	31.6	28.3
1992	48	20	17	85	513	598	23.5	14.9	11.9	17.7	32.2	28.9
1993	49	20	17	85	525	610	23.5	16.1	12.1	18.2	32.8	29.5
1994	49	20	17	86	537	623	24.0	16.5	12.3	18.6	33.5	30.1
1995	50	20	17	87	549	635	23.7	17.0	12.5	18.7	34.1	30.6
1996	50	20	18	87	560	647	23.8	17.5	12.7	18.9	34.6	31.2
1997	50	20	18	88	572	660	23.7	17.5	13.0	19.0	35.2	31.6
1998	51	20	18	89	583	672	23.8	17.4	13.2	19.1	35.8	32.1

1999	51	20	19	89	596	685	23.6	17.2	13.4	19.0	36.4	32.5
2000	51	20	19	90	609	699	23.4	16.8	13.6	18.9	37.1	33.0
2001	52	20	19	91	622	713	23.5	16.5	14.0	19.0	37.4	33.3
2002	52	20	20	92	636	728	23.1	16.4	14.4	19.0	37.8	33.6
2003	53	20	20	92	650	743	22.9	16.6	14.9	19.1	38.1	33.9
2004	53	20	20	93	664	757	23.0	16.9	15.3	19.4	38.4	34.3
2005	53	20	21	94	678	772	22.9	16.9	15.7	19.5	38.7	34.6
2006	54	20	21	95	692	787	22.8	17.0	16.2	19.6	39.0	34.9
2007	54	20	21	95	707	802	22.8	17.3	16.6	19.9	39.3	35.2
2008	55	20	22	96	722	818	22.9	17.4	17.1	20.1	39.7	35.6
2009	55	20	22	97	738	835	23.1	17.7	17.6	20.4	40.1	36.0
2010	56	20	22	98	746	844	23.5	18.8	18.1	21.0	40.0	36.2

Bibliografía

- Abela, E. (1877a). *Agricultura elemental. Parte primera. Tecnología agrícola*. Madrid: Librería de Gregorio Hernando.
- Abela, E. (1877b). *Agricultura elemental. Parte primera. Elementos esenciales de la vegetación*. Madrid: Librería de Gregorio Hernando.
- Barciela, C., & Giráldez, J. (2005). Sector agrario y pesca. In A. Carreras, & X. Tafunell (Eds.), *Estadísticas históricas de España, siglos XIX y XX* (pp. 245-357). Bilbao: Fundación BBVA.
- Bartolomé, I. (2007). *La industria eléctrica en España (1890-1936)*. Madrid: Estudios de Historia Económica.
- Betrán, C. (2005). Natural resources, electrification and economic growth from the end of the nineteenth century until World War II. *Revista De Historia Económica*, 23(1), 47-81. doi:10.1017/S0212610900011812
- Carpintero Redondo, Ó. (2005). *El metabolismo de la economía española; Flujos de energía, materiales y huella ecológica (1955-2000)*. Lanzarote: Fundación César Manrique.
- Carreras, A. (2005). Industria. In A. Carreras, & X. Tafunell (Eds.), *Estadísticas históricas de España. siglos XIX y XX* (2. ed., rev. y ampl. ed., pp. 358-452). Bilbao: Fundación BBVA.
- Carvajal, M. (2014). *Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos*. CSIC.
- Coll, S., & Sudrià, C. (1987). *El carbón en España, 1770 - 1961*. Madrid: Turner.
- Collantes, F., & Pinilla, V. (2011). *Peaceful surrender : The depopulation of rural Spain in the twentieth century*. Cambridge: Cambridge Scholars Publishing.
- Cortés y Morales, B. (1884a). *Cultivo de las plantas industriales y aprovechamiento de sus raíces, tallos, flores y semillas. tercera parte. árboles frutales de cosecha especial*. Madrid: Establecimiento tipográfico de M. Minuesa de los Ríos.
- Cortés y Morales, B. (1884b). *Cultivo de las plantas industriales y aprovechamiento de sus raíces, tallos, flores y semillas. primera parte. plantas textiles, narcóticas, de azúcar y alcohol, condimenticias, y cañaveras*. Madrid: Establecimiento tipográfico de M. Minuesa de los Ríos.
- Cortés y Morales, B. (1884c). *Cultivo de las plantas industriales y aprovechamiento de sus raíces, tallos, flores y semillas. segunda parte. plantas oleaginosas, tintóreas, salíferas, aromáticas, medicinales, de flores olorosas y para ornamentos fúnebres*. Madrid: Establecimiento tipográfico de M. Minuesa de los Ríos.
- Duca, D., Toscano, G., Pizzi, A., Rossini, G., Fabrizi, S., Lucesoli, G., Mengarelli, C. (2016). Evaluation of the characteristics of vineyard pruning residues for energy applications: Effect of different copper-based treatments. *Journal of Agricultural Engineering*, 47(1), 22-27. doi:10.4081/jae.2016.497

- EIA. (2017). Energy information administration: International energy statistics. Retrieved from <https://www.eia.gov/>
- EUROSTAT. (2013). *Economy wide material flow accounts (EW-MFA). Compilation guide 2013*. Luxembourg: European Statistical Office.
- FAO. (2010). *Global forest resources assessment. 2010. Main report*. Rome: Food and Agriculture Organization. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Fernández, H. (2013). *Valorización integral de la biomasa leñosa agroforestal a lo largo del gradiente altitudinal en condiciones mediterráneas*.
- Fouquet, R. (2008). *Heat, power and light: Revolutions in energy services*. Cheltenham [u.a.]: Edwar Elgar.
- Frank Trentmann. (2009). Materiality in the future of history: Things, practices, and politics. *Journal of British Studies*, 48(2), 283-307. doi:10.1086/596123
- Gallego, D. (1986). *La producción agraria de Álava, Navarra y La Rioja desde mediados del siglo XIX a 1935*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Garrués, J. (2006). Electricidad e industria en la España rural: El Irati, 1904-1961. *Revista de Historia Económica*, 24(1), 97-138.
- GEHR. (1991). *Estadísticas históricas de la producción agraria española, 1859-1935*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- GEHR. (1994). Más allá de la propiedad perfecta. el proceso de privatización de los montes públicos españoles, 1859–1926. *Noticario De Historia Agraria*, (8), 99-152.
- GEHR. (2002). Política forestal y producción de los montes públicos españoles, 1859-1935. *Revista De Historia Económica*, XX(3), 509-541.
- GEHR. (2003). Bosques y crisis de la agricultura tradicional. producción y gestión de los montes españoles durante el franquismo (1946-1979). In J. A. Sebastián Amarilla, & R. Uriarte Rayo (Eds.), *Historia y economía del bosque en la Europa del sur (siglos XVIII-XX)* (pp. 283-372). Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Goldemberg, J., & Teixeira Coelho, S. (2004). Renewable energy—traditional biomass vs. modern biomass. *Energy Policy*, 32(6), 711-714. doi:10.1016/S0301-4215(02)00340-3
- González, M. A., & Ríos, J. (1999). Circuito de la madera en 1997. *AITIM Revista De Industrias De La Madera*, (197), 711-714.
- Grubler, A. (2012). Energy transitions research: Insights and cautionary tales. *Energy Policy*, 50(1), 8-16. doi:10.1016/j.enpol.2012.02.070
- Guzmán Casado, G., Aguilera, E., Soto Fernández, D., Cid, A., Infante-Amate, J., García Ruiz, R., . . . González de Molina, M. (2014). *Methodology and conversion factors to estimate the net primary productivity of historical and contemporary agroecosystems*. Sociedad Española de Historia Agraria. DT-SEHA 1407.

- Guzmán, G. I., & González de Molina, M. (2015). Energy efficiency in agrarian systems from an agroecological perspective. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39(8), 924-952. doi:10.1080/21683565.2015.1053587
- Haberl, H., Erb, K., Krausmann, F., Bondeau, A., Lauk, C., Müller, C., Steinberger, J. K. (2011). Global bioenergy potentials from agricultural land in 2050: Sensitivity to climate change, diets and yields. *Biomass and Bioenergy*, 35(12), 4753-4769. doi:10.1016/j.biombioe.2011.04.035
- Helmut Haberl, K. Heinz Erb, Fridolin Krausmann, Veronika Gaube, Alberte Bondeau, Christoph Plutzar, Marina Fischer-Kowalski. (2007). Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(31), 12942-12947. doi:10.1073/pnas.0704243104
- IDAE. (2002). *Calefacción en grandes edificios con biomasa. aspectos técnicos básicos*. Madrid: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.
- IDAE. (2005). *Plan de energías renovables. 2005-10*. Madrid: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.
- IDAE. (2007). *Biomasa. producción eléctrica y cogeneración*. Madrid: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.
- IDAE. (2011a). *Análisis del consumo energético del sector residencial en España*. Madrid: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.
- IDAE. (2011b). *Plan de energías renovables. 2011-20*. Madrid: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.
- IDAE. (2017a). Balance del consumo de energía final (1990-2015). Retrieved from <http://www.idae.es/index.php/idpag.802/recategoria.1368/reلمenu.363/mod.pags/mem.detalle>
- IDAE. (2017b). Factores de conversión. energía final-energía primaria y factores de emisión de CO₂. Retrieved from <http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos Factores Conversion Energia y CO2 2011 0a9cb734.pdf>
- IEA. (2017). Energy balance flows. Retrieved from <http://www.iea.org/Sankey/>
- INE. (1934). *Anuario Estadístico de España, 1932-1933*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística.
- INE. (1948). *Anuario Estadístico de España*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística.
- INE. (1958). *Anuario Estadístico de España*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística.
- INE. (1962). *Estadística industrial de España. 1960*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística.
- INE. (1973). *Estadística industrial de España. 1970*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística.

Infante- Amate, J., Soto, D., Aguilera, E., García- Ruiz, R., Guzmán, G., Cid, A., & González de Molina, M. (2015). The Spanish transition to industrial metabolism: Long- Term material flow analysis (1860–2010). *Journal of Industrial Ecology*, 19(5), 866-876. doi:10.1111/jiec.12261

Infante-Amate, J. (2014). *¿Quién levantó los olivos? Historia de la especialización olivarera en el sur de España (ss. XVIII–XX)*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Infante-Amate, J., Soto Fernández, D., Iriarte Goñi, I., Aguilera, E., Cid, A., Guzmán, G., González de Molina, M. (2014). La producción de leña en España y sus implicaciones en la transición energética. Una serie a escala provincial (1900-2000). *Asociación Española De Historia Económica. DT-AEHE 1416, 1-109*

Iriarte-Goñi, I., & Infante-Amate, J. (2014). Primera aproximación al consumo de biomasa como combustible en espada. Una visión de largo plazo (1850-2000). *III Seminario Anual De La Sociedad Española De Historia Agraria, 28*

Iriarte-Goñi, I. (2013). Forests, fuelwood, pulpwood, and lumber in Spain, 1860–2000: A non-declensionist story. *Environmental History*, 18(2), 333-359.

Iriarte-Goñi, I., & Ayuda Bosque, M. I. (2006). Una estimación del consumo de madera en España entre 1860 y 1935. *Documentos de trabajo de la Asociación Española de Historia Económica, N^o. 3, 2006, (3)* Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=2115846>

Iriarte-Goñi, I., & Infante-Amate, J. (Nov 28, 2015). Primera aproximación al consumo de biomasa como combustible en España. una visión de largo plazo (1850-2000).

JA. (2012). *Estimación de la función sumidero de las nuevas plantaciones de olivar en Andalucía: 1990-2011*. Sevilla: Junta de Andalucía.

JCA. (1891a). *Avance estadístico sobre el cultivo y producción de la vid, junta consultiva agronómica*. Madrid: Junta Consultiva Agronómica. Dirección General de Agricultura, Industria y Comercio.

JCA. (1891b). *Avance estadístico sobre el cultivo y producción del olivo*. Madrid: Junta Consultiva Agronómica. Dirección General de Agricultura, Industria y Comercio.

JCA. (1914). *Avance estadístico de la riqueza que en España representa la producción media anual de las plantas hortícolas y plantas industriales*. Madrid: Junta Consultiva Agronómica. Dirección General de Agricultura, Industria y Comercio.

JCA. (1915). *Avance estadístico de la riqueza que en España representa la producción media anual en el decenio de 1903 a 1912. cereales y leguminosas. vid y olivo. aprovechamientos diversos derivados de estos cultivos*. Madrid: Junta Consultiva Agronómica. Dirección General de Agricultura, Industria y Comercio.

JCA. (1923). *Avance estadístico de la producción de agrícola en España*. Madrid: Junta Consultiva Agronómica. Dirección General de Agricultura, Industria y Comercio.

Kander, A., Malanima, P., & Warde, P. (2014). *Power to the people: Energy in Europe over the last five centuries*. Princeton: Princeton University Press.

- Krausmann, F., Erb, K., Gingrich, S., Lauk, C., & Haberl, H. (2008). Global patterns of socioeconomic biomass flows in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints. *Ecological Economics*, 65(3), 471-487. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.07.012
- Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K., Haberl, H., & Fischer-Kowalski, M. (2009). Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics*, 68(10), 2696-2705. doi:10.1016/j.ecolecon.2009.05.007
- MA. (1969). *Estadística de la industria de primera transformación de la madera, 1969*. Madrid: Ministerio de Agricultura.
- MAPAMA. (2017a). *Anuarios de estadística agraria. 1905-2014*. Madrid: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAPAMA. (2017b). *Balance nacional de la madera*. Madrid: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- Martinez Ruiz, J. I. (2016). Sistemas de tarificación y precio de la electricidad para fuerza en España antes de la Guerra Civil. (Rate Systems and Selling Prices of Electricity to the Industrial Sector in Spain before the Civil War. *Revista de Historia Industrial*, (62), 143-179.
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R., & Muñoz, M. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO2 por los bosques españoles*. Madrid: INIA - Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Morillas, M. (2014). *Evolució del ferrocarril a Europa i la seva influència en els canvis en la distribució de la població. el cas d'Espanya, 1848-2010*
- MTCI. (1923). *Anuario Estadístico de España, 1921-1922*. Madrid: Ministerio de Trabajo, Comercio e Industria.
- Mytting, L. (2016). *El libro de la madera. una vida en los bosques*. Madrid: Alfabeta.
- Reher, D. (1993). Precios y salarios en Castilla la Nueva. La construcción de un índice de salarios reales. *Revista de historia económica*, 11(1), 101-151.
- Robert, A. (1957). *La producción forestal y el crecimiento económico*. Madrid: Instituto de Cultura Hispánica.
- Rubio, M. d. M. (2005). Energía, economía y CO2: España 1850-2000. *Cuadernos económicos de ICE*, (70), 51-76.
- Ruiz, A. R. (2013). El viñedo en espaldera: nueva realidad en los paisajes vitivinícolas de Castilla-La Mancha. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (63), 249-270.
- Smil, V. (1983). *Biomass energies*. New York u.a: Plenum Press.
- Smil, V. (1994). *Energy in world history*. Boulder: Westview Press.
- Smil, V. (1999). Crop residues: Agriculture's largest harvest. *BioScience*, 49(4), 299-308.

- Soto, D. (2015). Del manejo multifuncional del territorio a la desarticulación productiva: cambios en los flujos de biomasa durante el proceso de industrialización de la agricultura gallega (1960-2012). Documentos de Trabajo de la Sociedad Española de Historia Agraria. DT-SEHA, 1505.
- Soto, D., Infante-Amate, J., Guzmán, G. I., Cid, A., Aguilera, E., García, R., & González de Molina, M. (2016). The social metabolism of biomass in Spain, 1900–2008: From food to feed-oriented changes in the agro-ecosystems. *Ecological Economics*, 128, 130-138. doi:10.1016/j.ecolecon.2016.04.017
- Sudrià, C. (1997). La restricción energética al desarrollo económico de España. *Papeles de Economía Española*, , 165-188. Retrieved from <http://www.econis.eu/PPNSET?PPN=262158507>
- Sudrià, C. (1997). Un factor determinante: La energía. In C. Sudrià, J. Nadal & A. Carreras (Eds.), *La economía española en el siglo XX: Una perspectiva histórica* (pp. 313-364). Madrid: Ariel.
- Suneeta D. Fernandes, Nina M. Trautmann, David G. Streets, Christoph A. Roden, & Tami C. Bond. (2007). Global biofuel use, 1850–2000. *Global Biogeochemical Cycles*, 21(2), n/a. doi:10.1029/2006GB002836
- Tello, E., Galán, E., Sacristán, V., Cunfer, G., Guzmán, G., González de Molina, M., Moreno-Delgado, D. (2016). Opening the black box of energy throughputs in farm systems: A decomposition analysis between the energy returns to external inputs, internal biomass reuses and total inputs consumed (the Valls County, Catalonia, c. 1860 and 1999). *Ecological Economics*, 121, 160-174.
- Velázquez-Martí, B., Fernández-González, E., López-Cortés, I., & Salazar-Hernández, D. M. (2011a). Quantification of the residual biomass obtained from pruning of trees in mediterranean olive groves. *Biomass and Bioenergy*, 35(7), 3208-3217. doi:10.1016/j.biombioe.2011.04.042
- Velázquez-Martí, B., Fernández-González, E., López-Cortés, I., & Salazar-Hernández, D. M. (2011b). Quantification of the residual biomass obtained from pruning of vineyards in mediterranean area. *Biomass and Bioenergy*, 35(8), 3453-3464. doi:10.1016/j.biombioe.2011.04.009
- Vitousek, P. M., Ehrlich, P. R., Ehrlich, A. H., & Matson, P. A. (1986). Human appropriation of the products of photosynthesis. *Bioscience*, 36(6), 368-373.
- Williamson, T., & Warde, P. (2014). Fuel supply and agriculture in post-medieval England. *Agricultural History*, 62(1), 61-82.
- Wrigley, E. A. (2010). *Energy and the english industrial revolution* (1. publ. ed.). Cambridge [u.a.]: Cambridge Univ. Press.
- Yude Pan, Richard A. Birdsey, Jingyun Fang, Richard Houghton, Pekka E. Kauppi, Werner A. Kurz, Daniel Hayes. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988-993. doi:10.1126/science.1201609
- Zambrana, J. F. (1987). *Crisis y modernización del olivar español, 1870-1930*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.