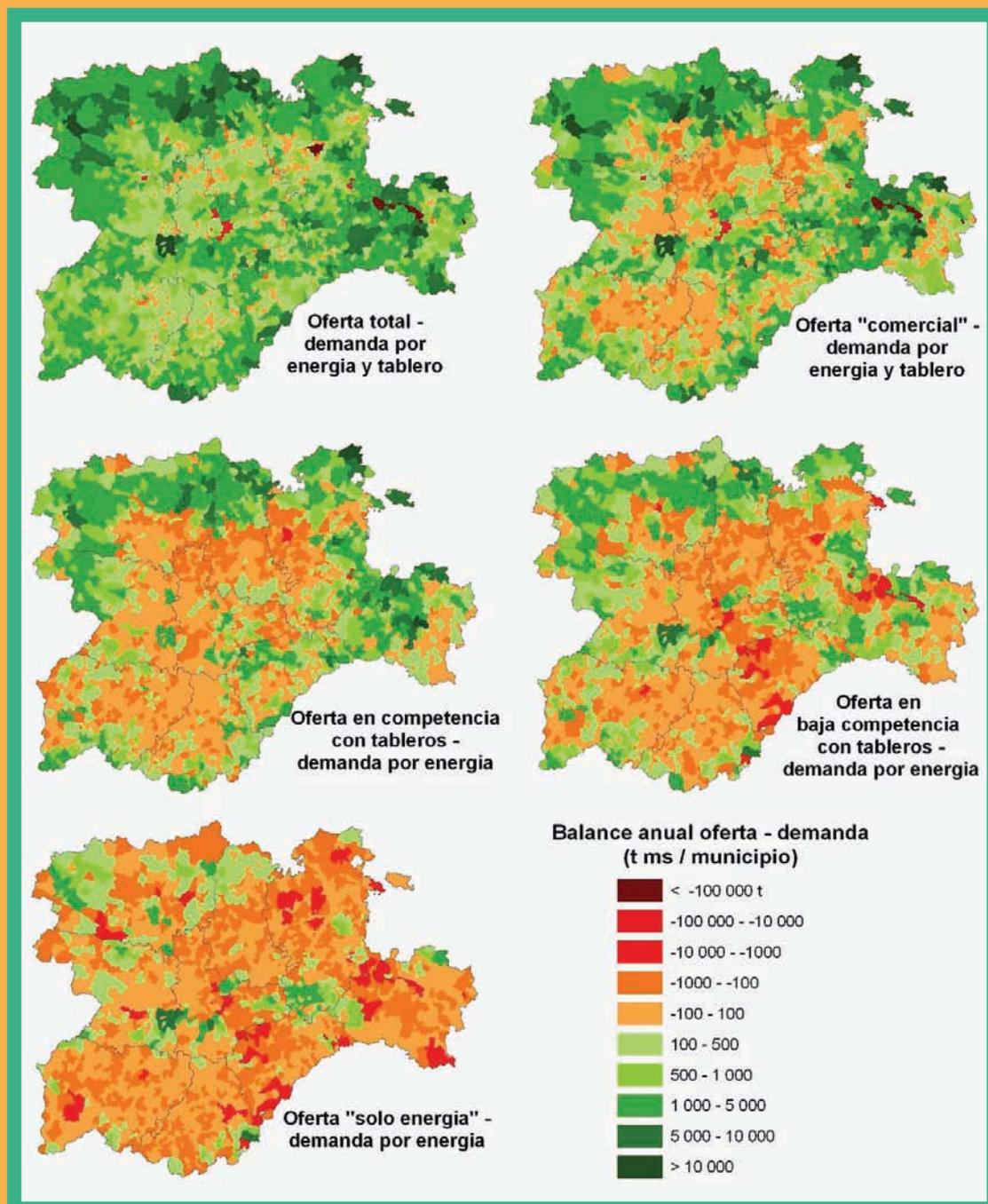


WISDOM Castilla y León

Evaluación de recursos leñosos para usos energéticos

-Informe final-



WISDOM Castilla y León

Evaluación de recursos leñosos para usos energéticos

Análisis espacial de la producción y consumo de biocombustibles aplicando la metodología de “Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles” (Woodfuel Integrated Supply / Demand Overview Mapping).

Financiado por el proyecto GDCP/INT/001/SPA

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

Departamento Forestal

Servicios y Productos Forestales – Dendroenergía

Actividad coordinada y supervisada por: Miguel Tro ssero (Oficial Principal Forestal, Dendroenergía, FAO Roma)

Autores: Rudi Drigo Consultor Internacional (WISDOM), Nacho Campanero (CESEFOR), Francisco Rodríguez (CESEFOR) y Miguel Broto (CESEFOR)

Edición del Informe Técnico Final: Marcos Martín Larrañaga (Consultor FAO)

Noviembre 2009

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este producto informativo para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor, siempre que se especifique claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción del material contenido en este producto informativo para reventa u otros fines comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización deberían dirigirse al Jefe de la subdirección de Políticas y Apoyo en Materia de Publicación Electrónica de la Dirección de Comunicación de la FAO Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia, o por correo electrónico a copyright@fao.org

Índice de contenidos

ÍNDICE DE CONTENIDOS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VII
PREFACIO	IX
AGRADECIMIENTOS	XI
RESUMEN EJECUTIVO	XIII
1. LA BIOENERGÍA Y EL “DESARROLLO VERDE”	1
1.1. La bioenergía. Estrategia para una economía verde	1
1.2. Potencial de la biomasa como fuente de energía global	2
1.3. Desarrollo de la bioenergía en España	4
2. INTRODUCCIÓN	5
2.1. Antecedentes	5
2.2. ¿Qué es WISDOM?	5
2.3. ¿Por qué se elige WISDOM para Castilla y León?	6
2.4. Objetivos del proyecto	6
2.5. Marco institucional del proyecto	7
2.6. Actividades	7
2.6.1. Actividades de la fase I	8
2.6.2. Actividades de la fase II	8
3. METODOLOGÍA DE WISDOM CASTILLA Y LEÓN	9
3.1. Principales características	9
3.2. Base cartográfica	13
3.2.1. Base cartográfica administrativa del análisis	13
3.2.2. Otra cartografía	13
3.2.3. Análisis raster	13
LA PROYECCIÓN GEOGRÁFICA USADA ES UTM, ZONA 30 NORTE.	13
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE WISDOM CASTILLA Y LEÓN	15
4.1. Módulo de la oferta	15
4.1.1. Oferta directa oferta directa sobre terreno forestal	16
4.1.1.1. Origen de los datos. El Inventario Forestal Nacional	16
4.1.2. Oferta directa sobre terreno no forestal	24

4.1.3.	Oferta directa total	26
4.1.4.	Accesibilidad. Corrección a la oferta directa	26
4.1.5.	Oferta indirecta	28
4.1.6.	Oferta total	30
4.1.7.	Corrección comercial a la oferta total. Oferta comercial	30
4.1.8.	Análisis de la competencia entre mercados	32
4.2.	Módulo de demanda	40
4.2.1.	Información existente relacionada con el uso de biomasa para energía	40
4.2.2.	Consumo de biomasa leñosa en la producción industrial de energía	41
4.2.3.	Consumo de dendrocombustibles en el sector residencial	41
4.2.4.	Consumo de biomasa leñosa en otros sectores	46
4.2.5.	Distribución espacial del consumo de biomasa leñosa	46
4.3.	Módulo de integración	46
4.3.1.	Balance total	46
4.3.2.	Balance comercial	47
4.3.3.	Categorías de balance y competencia entre el tablero y la dendroenergía	47
4.3.4.	Otros aspectos de la Integración	49
4.4.	Análisis de bio-distritos	53
4.5.	WISDOM en el contexto nacional	54
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
5.1.	Resultados de WISDOM Castilla y León	59
5.2.	Seguimiento	59
5.3.	Sinergias interinstitucionales	60
6.	GLOSARIO	61
7.	BIBLIOGRAFÍA	62
8.	APÉNDICES	63
	Apéndice 1: Lista de contactos	63
	Apéndice 2: Fases analíticas y nombres de archivos	64
	Apéndice 3 : Mapa forestal de CyL: Campo "Tipo_Estructura"	67
	Apéndice 4: Códigos de los usos de suelo del SIGPAC en el mapa SIGPAC100.grd	68
	Apéndice 5: Variables usadas en el proceso fER	69
	Apéndice 6: Factores de conversión	70
	Apéndice 7: Resumen del censo de viviendas de 2001: uso de leña para calefacción.	71
	Apéndice 8: Consumo de madera como combustible en el sector residencial en 1991 y 2001	72
	Apéndice 9: Variables asociadas a los municipios	74
	Apéndice 10: Estratos forestales con el período de rotación medio estimado	75

Índice de figuras

Figura 1.	Contribución de la bioenergía en el “mix” de energía primaria mundial.	2
Figura 2.	Contribución de las diferentes Fuentes de biomasa en el “mix bioenergético”.	2
Figura 3.	Potencialidades del suministro de biomasa (técnica y sostenible) y demanda de biomasa en 2008 y 2050.	3
Figura 4.	Contribución de las fuentes de energía primaria en España para 2008. Fuente: IDAE.	4
Figura 5.	WISDOM CyL. Diagrama de flujo del proceso analítico y principales capas temáticas.	10
Figura 6.	WISDOM CyL. Diagrama de flujo. Módulo de la oferta.	11
Figura 7.	WISDOM CyL. Diagrama de flujo. Módulo de la demanda.	12
Figura 8.	Parcelas del Tercer Inventario Forestal. IFN3.	17
Figura 9.	Pantalla de cubiFOR.	19
Figura 10.	Nuevas variables incorporadas en las parcelas del IFN3.	19
Figura 11.	Mapa Forestal, Representación de la variable “Tipo de Estructura”.	21
Figura 12.	Evaluación de Recursos	21
Figura 13.	Resultados que se obtienen con f-Evaluación de Recursos.	22
Figura 14.	Oferta directa media anual sobre terreno forestal.	23
Figura 15.	Mapa del SIGPAC., usado como referencia para la distribución espacial de las existencias y productividad anual de biomasa leñosa en zonas no forestales.	23
Figura 16.	Oferta directa media anual sobre terreno no forestal.	25
Figura 17.	Oferta directa total, media anual, de biomasa leñosa con potencial energético.	25
Figura 18.	Distribución de las clases de accesibilidad y de los valores reducidos de “cost distance” efecto de vías no cartografiadas.	26
Figura 19.	Análisis de la accesibilidad física y legal. Principales elementos analíticos y resultado final.	27
Figura 20.	Oferta total de biomasa leñosa con potencial energético, media anual, precedente de fuentes directas accesibles y de fuentes indirectas.	30
Figura 21.	Períodos de Rotación aplicados a las formaciones forestales de Castilla y León.	31
Figura 22.	Oferta total de biomasa comercial leñosa accesible para la producción de energía.	32
Figura 23.	Diagrama de flujo del cálculo de la oferta.	34
Figura 24.	Descomposición de la oferta comercial en categorías de acuerdo a la competencia con la industria del tablero.	35
Figura 25.	Industrias de tablero y plantas de producción energía con biomasa en Castilla y León.	36
Figura 26.	Mapas de oferta de biomasa leñosa con potencial energético por municipio y por categorías de competencia con la industria del tablero.	39
Figura 27.	Consumo de dendrocombustibles y carbón en España.	40
Figura 28.	Población por municipio y consumo per cápita de biomasa leñosa en uso residencial estimado para 2001.	43
Figura 29.	Saturación (fracción de hogares que usan madera como principal combustible).	44
Figura 30.	Consumo de dendrocombustibles en el sector residencial por municipio en 1991 y 2001. Unidades en toneladas de madera de frondosas al 12% de humedad.	45
Figura 31.	Consumo de biomasa leñosa por municipio y por hectárea de casco urbano.	46
Figura 32.	Balance por píxel entre la oferta total potencial accesible y el consumo actual.	50
Figura 33.	Balance por píxel de la oferta “comercial” potencial y el consumo actual.	50
Figura 34.	Balance por píxel de la oferta “comercial” y del consumo actual de:	51
Figura 35.	Balances de oferta/demanda por municipio.	52

Figura 36. Ejemplo de bio-distrito. Zona de suministro para una hipotética planta con un consumo anual de 90 000 t ms en Burgos.	53
Figura 37. Ejemplo de definición de una zona de aprovisionamiento sostenible.	55
Figura 38. Diagrama de flujo del módulo de oferta nivel nacional. Flowchart of national-level supply module (province level)	56
Figura 39. Diagrama de flujo del módulo de demanda a nivel nacional.	57

Índice de tablas

Tabla 1.	Clasificación de fuentes de biomasa por diferentes características	15
Tabla 2.	Clasificación de madera en rollo según la norma UNE 56.514-85	18
Tabla 3.	Clasificación de madera en rollo	18
Tabla 4.	Estimaciones de productividad de biomasa leñosa para usos de suelo no cubiertos por el mapa forestal	24
Tabla 5.	Clases de la oferta directa forestal adecuada para la industria del tablero	33
Tabla 6.	Consumo de la industria del tablero en Castilla y León en 2008.....	35
Tabla 7.	Oferta de biomasa leñosa con potencial energético en Castilla y León.....	38
Tabla 8.	Consumo de biomasa leñosa para producción industrial de energía en 2007.....	41
Tabla 9.	Estadísticas INE del uso residencial de combustible para calefacción en CyL en 2001.....	42
Tabla 10.	Resumen provincial del balance oferta-demanda de biomasa leñosa	49

Prefacio

Una de las motivaciones más importantes para la puesta en marcha de este proyecto fue la necesidad de brindar información fiables sobre el uso de biomasa para fines energético, que resultara útil en la elaboración de estrategias energéticas de largo plazo, proceso en el cual está involucrada la Junta de Castilla y León, organismo que solicitó esta asistencia técnica a la FAO.

Es una realidad que las diferentes formas de valorización energética de la biomasa, la convierten en una solución completamente transversal, con sus ventajas y sus inconvenientes. Sirvan como ventajas los resultados de su uso como fuente de energía alternativa en términos de empleo en el medio rural, ahorro energético y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. En la parte de inconvenientes, encontramos la necesidad de involucrar sectores habitualmente poco conectados, lo que su puesta en complejidad administrativa grande.

Precisamente en este punto encontramos la fortaleza mayor de la metodología propuesta por FAO y que se recoge en este trabajo que presentamos. La aplicación de WISDOM necesita de la coordinación de esfuerzos documentales y de análisis entre entidades de sectores diferentes como el agropecuario, el forestal o el energético.

Así, la información vinculada con el consumo (demanda), la producción actual (oferta) y la producción potencial, era de tal debilidad que para considerar la incorporación de la energía derivada de biomasa en dichas estrategias energéticas era prioritario mejorar considerablemente los conocimientos existentes.

Considerando que la energía proveniente de la biomasa ya tiene una contribución importante en el balance energético regional y siendo Castilla y León un importante productor forestal, el potencial dendroenergético total es muy significativo, tal como lo muestra la información derivada del proyecto. Por ello, resulta primordial que la región considere la dendroenergía en su estrategia energética, y para ello era necesario conocer claramente ese potencial.

FAO ha ce varios años que viene promoviendo acciones para el desarrollo de “sistemas bioenergéticos sostenibles”. A tal efecto, ha puesto a disposición de sus países miembros un programa de asistencia técnica para reforzar las capacidades nacionales en la planificación y formulación de estrategias bioenergéticas, debidamente integradas con las políticas energéticas, ambientales, agrícolas y forestales. Dicho programa incluye, entre otras cosas, la transferencia de su metodología denominada WISDOM (Metodología de Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles). Esta metodología permite identificar, cuantificar y localizar la producción y el consumo de biocombustibles y otros eventuales recursos de biomasa aún no utilizados, dentro de un área geográfica específica.

La asistencia brindada por FAO a la Comunidad Autónoma de Castilla y León (España) se llevó a cabo por medio del proyecto de cooperación técnica GDP/INT/001/SPA.

Este informe técnico tiene por objetivo resumir los resultados más importantes alcanzados en dicho proceso. No hay duda de que el presente ejercicio ha constituido un pilar importante para la sistematización y georeferenciación de las informaciones disponibles sobre la situación actual del consumo y producción de la biomasa en Castilla y León y su potencial hacia el futuro.

Los datos obtenidos señalaron la importancia que tiene la dendroenergía (ya sea como leña, carbón vegetal o subproductos agroindustriales) para la producción de energía (térmica y eléctrica) en el sector residencial, comercial e industrial en Castilla y León. Además mostraron que esta contribución es significativamente más elevada de lo que evidencian las estadísticas energéticas, agropecuarias y forestales actualmente en uso.

Otro logro del proyecto ha sido la colaboración establecida entre FAO y los diferentes organismos implicados en la bioenergía y especialmente con el Ente Regional de la Energía de la Consejería de Economía y Empleo y la Dirección General del Medio Natural de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León. Los resultados del proyecto han sido utilizados en la elaboración del Plan de Bioenergía de Castilla y León, que contribuirá sin duda a que la energía proveniente de la biomasa pueda contribuir a la autonomía energética de la región, a la diversificación agropecuaria y forestal, y a la reducción de emisiones de gases efecto invernadero.

Desde luego, éste es solo un inicio, ya que los conocimientos e informaciones puestos a disposición por el proyecto deberán ser complementados con otros estudios que contemplen, en mayor detalle, los múltiples aspectos de los sistemas bioenergéticos específicos, a nivel nacional y provincial. WISDOM requiere de un ejercicio iterativo que permite mantener abiertos los canales establecidos entre los diferentes estamentos involucrados.

Seguramente, las decisiones finales estarán sujetas a diversas consideraciones adicionales, ajenas a este informe. De todas maneras, consideramos que las contribuciones realizadas por el proyecto ya permiten imaginar una mejor y más eficiente política energética, en la cual se dé un mayor impulso a la generación de energía a partir de biomasa.

Por último deseamos informar al lector que este documento es uno más de la serie en español y que ofrece varias novedades que durante su lectura descubrirán.

Esperamos que sean de vuestra utilidad.



Miguel Ángel Trossero

Oficial Forestal Superior - Dendroenergía
Departamento Forestal. FAO – Roma



Álvaro Picardo Nieto

Asesor del Director General de Medio Natural
Junta de Castilla y León

Agradecimientos

Debido al carácter multidisciplinar de los trabajos sobre energía de los productos leñosos y su análisis SIG, el desarrollo de WISDOM no hubiera sido posible sin la contribución de numerosas personas de las diferentes áreas de CESEFOR y de otras instituciones y entidades.

El Consultor valora mucho la disponibilidad y la colaboración amistosa y recibida en CESEFOR, que respondieron a sus frecuentes y, a veces, intensas solicitudes de datos, mapas y consejos. En particular, desea expresar su agradecimiento a Nacho Campanero por su trabajo duro, y Rodrigo Gómez, Paco Rodríguez, Miguel Broto y Álvaro Parrado, por su apoyo cordial.

Así mismo queremos agradecer la colaboración y el esfuerzo realizado por ITACYL (Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León), adscrito a la Consejería de Agricultura y Ganadería, y EREN (Ente Regional de la Energía) adscrita a la Consejería de Economía y Empleo, ambos de la Junta de Castilla y León.

También ha resultado de gran ayuda la colaboración del Ministerio de Medio ambiente, Rural y Marino, que ha proporcionado información y atendido nuestras llamadas.

Los autores desean expresar su agradecimiento a Miguel Trossero, de la FAO Programa de Energía de madera, por su supervisión, y a Álvaro Picardo, Junta de Castilla y León, por sus interesantes comentarios y apoyo.

También desean agradecer a Marcos Martín Larrañaga la ardua labor desarrollada como editor y su aportación al texto con el capítulo 1, "La bioenergía y el "Desarrollo Verde".

1. La bioenergía y el “Desarrollo Verde”

1.1. La bioenergía. Estrategia para una economía verde

La biomasa es la fuente de energía renovable más importante para el futuro a corto y medio plazo.

Además es una de las fuentes de energía renovables más común y generalizada en el mundo. Su potencial a nivel mundial es reconocido y puede suponer una importante contribución en el suministro de demanda futura de energía de una manera sostenible.

Es la única fuente de energía renovable que puede sustituir a los combustibles fósiles en todos los mercados energéticos (producción de calor, electricidad y combustibles para el transporte).

El informe de la Asociación Mundial de Bioenergía (WBA, 2009) expone que el potencial de la biomasa como fuente energética global es “prometedor”. Los argumentos en los que se apoya esta afirmación son, que:

- Es la cuarta mayor fuente de energía conocida hasta la fecha en la tierra, después del carbón, petróleo y gas natural.
- Es la mayor y más importante opción de energía renovable en la actualidad.
- Tiene muchas formas de aplicación y proporciona todos los servicios necesarios para la sociedad moderna.
- Renovabilidad y versatilidad son, entre otras muchas, sus mayores fortalezas como fuente de energía.
- En comparación con otras fuentes renovables de energía, la biomasa es uno de los recursos más comunes y extendidos en el mundo.

Actualmente es el mayor contribuyente global de energía renovable, y tiene un importante potencial para expandirse en la producción de calor, electricidad y combustibles para el transporte. El futuro despliegue de la bioenergía, si se gestiona correctamente, podría proporcionar:

- Una contribución aún mayor en el abastecimiento de energía mundial primaria.
- Reducciones significativas de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Mejoras en la seguridad energética y la balanza comercial de los países, mediante la sustitución de importaciones de combustibles fósiles por biomasa doméstica.
- Oportunidades para el desarrollo económico y social en comunidades rurales.

Existen muchas tecnologías para transformar la biomasa en formas de energía primaria final. Muchas tecnologías de producción de calor y electricidad con biomasa están ya perfectamente desarrolladas a nivel comercial. Además están en proceso avanzado de desarrollo, un importante número de nuevas tecnologías de valorización de la biomasa que prometen altas eficiencias en su uso, reducción de costes de producción y mejoras ambientales.

No obstante existen grandes retos para el futuro como:

- La competencia en el uso de la tierra y entre competidores de la misma materia prima.
- Los niveles de productividad de las tierras han de ser incrementados, mediante mejoras en las técnicas agronómicas y forestales.
- La biomasa ha de posicionarse como una competencia clara de otras fuentes de energía.
- La logística y las infraestructuras relacionadas han de ser mejoradas con el fin optimizar los costes y las emisiones producidas en su manejo.
- Son necesarias innovaciones tecnológicas encaminadas a encontrar formas de transformación de la biomasa más eficientes y limpias, que incluyan un mayor rango de materias primas.

Las tendencias mundiales en el uso de energía, el cambio climático y las necesidades en seguridad energética ponen de relieve la necesidad de hacer una rápida transición a un sistema de energía bajo en carbono, sostenible, eficiente y ambientalmente amigable. La búsqueda de alternativas energéticas que integren los recursos locales renovables es una de las principales preocupaciones de los gobiernos, científicos y empresarios de todo el mundo.

1.2. Potencial de la biomasa como fuente de energía global

La bioenergía ya supone una contribución sustancial a la demanda mundial de energía y esta puede ser ampliada de manera muy significativa en el futuro.

Además su uso supone una reducción importante de emisiones de gases de efecto invernadero, contribuye a la seguridad energética global, mejora la balanza comercial de los países, genera oportunidades para el desarrollo social y el desarrollo económico en las comunidades rurales, y mejorar la gestión de los recursos y de los residuos.

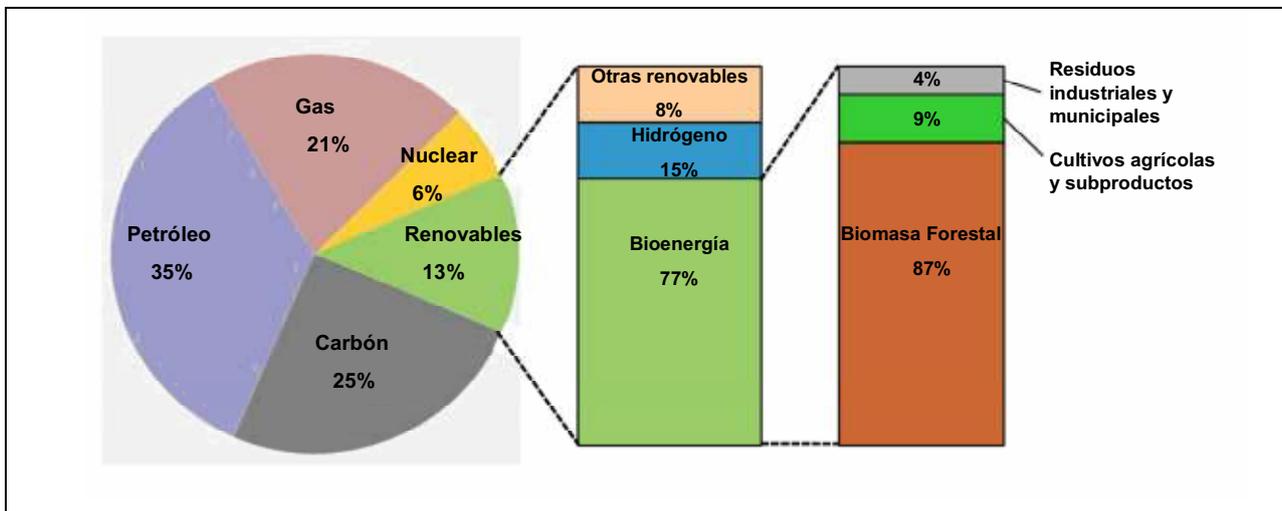


Figura 1. Contribución de la bioenergía en el "mix" de energía primaria mundial.

Fuente: IEA Bioenergy, 2009

La Agencia Internacional de la Energía (AIE Bioenergy, 2009) propone que el suministro de energía sostenible es uno de los principales desafíos a los que se enfrentará la humanidad en las próximas décadas y en particular por la necesidad de abordar el cambio climático.

Actualmente la biomasa suministra globalmente 50 EJ/año, que representa un 10 por ciento del total de la energía primaria consumida en el mundo. El grueso de esta cifra es el uso tradicional doméstico para calentarse y cocinar. Ver Figura 1.

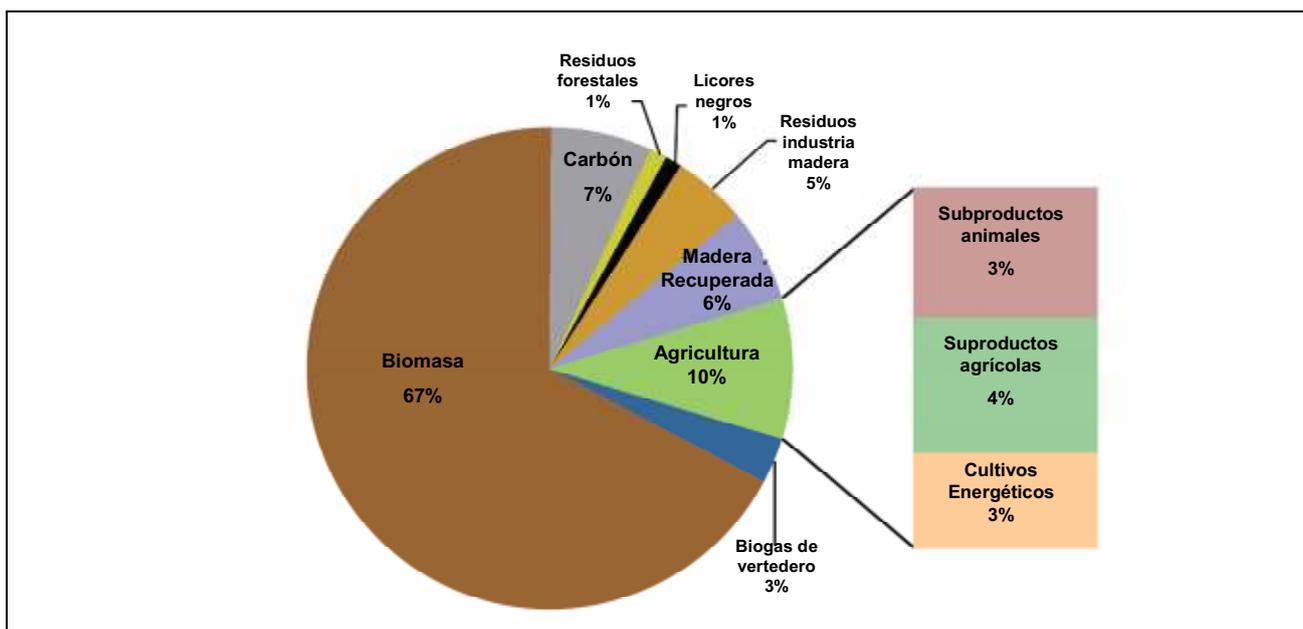


Figura 2. Contribución de las diferentes Fuentes de biomasa en el "mix bioenergético".

Fuente: basado en datos del IPCC, 2007.

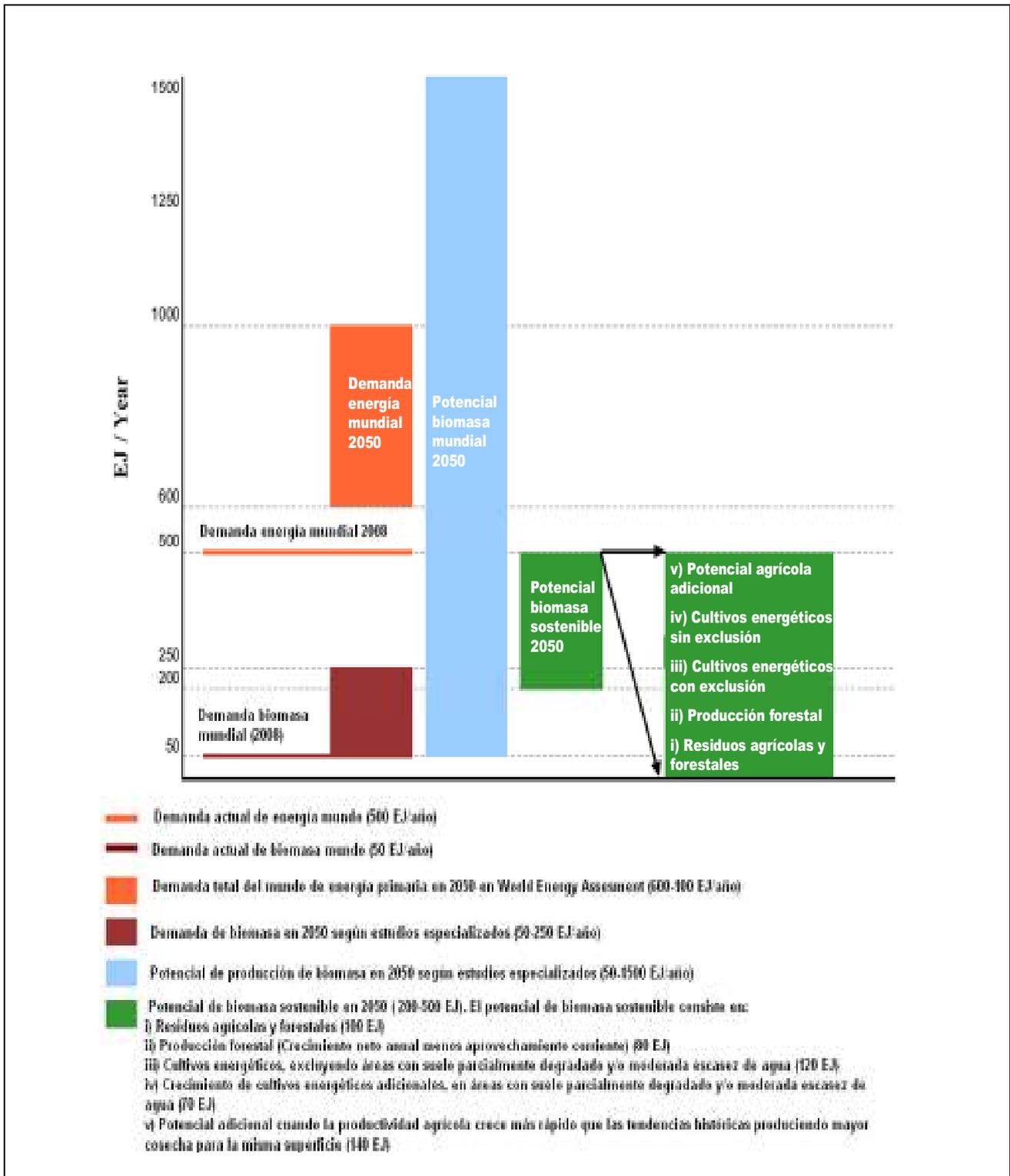


Figura 3. Potencialidades del suministro de biomasa (técnica y sostenible) y demanda de biomasa en 2008 y 2050.

Fuente: AIE Bioenergy, 2009

El potencial técnico de producción de biomasa global para el 2050, en el escenario más optimista, se estima en 1 500 EJ/año, cifra muy superior al total de las necesidades energéticas mundiales previstas para el mismo año (1 000 EJ/año). No obstante, los modelos más conservadores, que integran las limitaciones de producción que supondrán la aplicación de fuertes criterios de sostenibilidad, indican un potencial anual de entre 200 y de 500 EJ/año (con exclusión de la biomasa acuática).

Los subproductos forestales y agrícolas y otros desechos orgánicos (incluyendo los residuos sólidos municipales) producirán entre 50 y 150 EJ/año, mientras que el resto provendrá como resultados de las innovaciones en los cultivos energéticos, la silvicultura de los bosques y la productividad agrícola. Ver Figura 3.

La estimación de la demanda mundial de energía primaria para el año 2050 se estima que sea de entre 600 y 1 000 EJ (en comparación con los 500 EJ registrados en 2008). Escenarios futuros en la penetración de las diferentes fuentes de energías bajas en carbono, indican que la demanda esperada de bioenergía podría ser de hasta 250 EJ / año en 2050. Esto parece confirmar, que la demanda de bioenergía en 2050 será satisfecha con una producción sostenible de biomasa y que ésta será entre un cuarto y un tercio del futuro "mix" de energía primaria global. Ver Figura 2.

El principal destino de la biomasa actualmente consiste en, el uso de madera como combustible para aplicaciones no comerciales, tales como estufas domésticas y cocinas de baja eficiencia. Es el caso habitual de países en desarrollo, donde en algunos casos la biomasa supone hasta un 22 por ciento de la energía primaria consumida. Ver Figura 2.

1.3. Desarrollo de la bioenergía en España

Existe la previsión de que el 12,1 por ciento del consumo de energía primaria en el año 2010 será abastecido con energías renovables, según el Plan de Energías Renovables 2005-2010 (PER 2005-2010).

La situación a 2008 es que del total de energía primaria nacional, un 7,6% (10 846 ktep) es aportado por energías renovables como muestra la Figura 4.

Las estimaciones de crecimiento del uso de la biomasa previstas para el periodo del PER 2005-2010 planteaban unas cifras abundantes. La realidad varía a la baja estas estimaciones, lo que muestra que el mercado no ha reaccionado a los estímulos propuestos por el gobierno. Las cifras siempre son contundentes y a fecha de 2008 la biomasa y residuos aportan unos 6 400 ktep, tan solo un 4,5 por ciento del "mix" de energía primaria nacional.

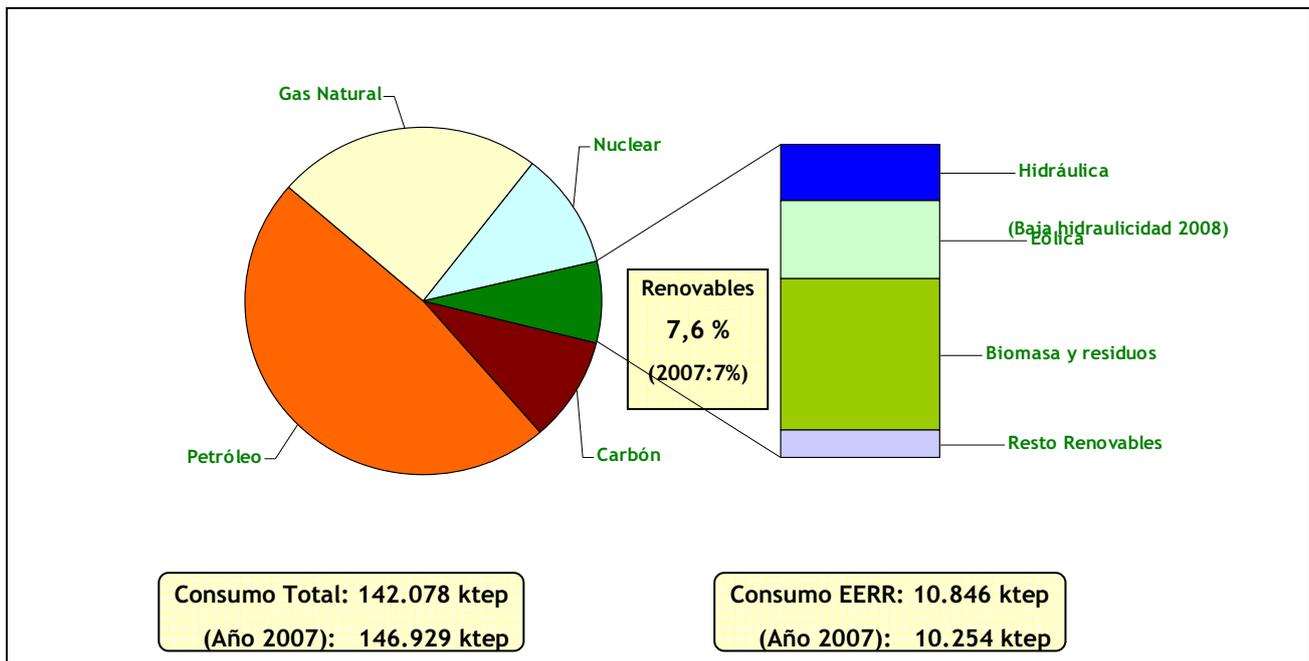


Figura 4. Contribución de las fuentes de energía primaria en España para 2008.

Fuente: IDAE

Más en detalle la producción eléctrica con biomasa completa 374 MW en 2008 de los 1 317 MW esperados para 2010, lo que supone que tan solo se han cumplido objetivos en un 28 por ciento.

Algo diferente ocurre con la producción térmica con biomasa, donde los datos muestran claramente que, las aplicaciones térmicas de la biomasa responden de forma más ágil en mercados nuevos. A fecha 2008 se producen 3 121 ktep, prácticamente el 76 por ciento de lo previsto en el PER 2005-2010 y se espera un repunte en la implantación de estas aplicaciones, lo que prevé que los objetivos serán satisfechos ampliamente. Ver Figura 4.

2. Introducción

2.1. Antecedentes

La Junta de Castilla y León en 2007 comienza un trabajo de planificación de los recursos bioenergéticos de la región denominado Plan de la Bioenergía de Castilla y León. Es un ambicioso proyecto en el que se definen las estrategias de promoción y planificación de la misma y donde se integran los tres organismos de la Administración regional implicados en su desarrollo; (i) Consejería de Medioambiente, (ii) Consejería de Agricultura y (iii) Consejería de Industria. Una vez más la transversalidad de la bioenergía exige el reto de integrar intereses dispares y definir políticas de estímulo comunes.

Una de las iniciativas puesta en marcha en el marco del Plan de la Bioenergía de Castilla y León ha sido la aplicación de la metodología WISDOM en el territorio de la región, con el ánimo de contrastar los resultados de una herramienta tan versátil e integrarlos en los módulos de decisión de la estrategia bioenergética en el medio plazo.

La entidad encargada de desarrollar la “Metodología de Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles (WISDOM) en colaboración con Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), ha sido el Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León (CESEFOR), que si bien es una entidad de marcado carácter forestal, mantiene, debido a su carácter multidisciplinar y su amplio rango de acción, un constante diálogo con los sectores Industrial y Agrícola. CESEFOR ha participado como Secretaría técnica en la elaboración del Plan de la Bioenergía de Castilla y León.

La metodología WISDOM ha sido implementada en distintos territorios, siempre con resultados positivos. Su versatilidad permite usar escalas de trabajo muy diferentes. Hasta el comienzo de este trabajo los principales casos tuvieron un enfoque nacional y supranacional, si bien su aplicación en Castilla y León ha supuesto una innovación al tratarse de un territorio subnacional.

2.2. ¿Qué es WISDOM?

WISDOM es una metodología que se aplica en el manejo y la planificación de los recursos leñosos de un territorio. Fue desarrollada por FAO en cooperación con el instituto de Ecología de la Universidad Nacional de México (UNAM). Su aplicación permite la identificación de áreas prioritarias, o “puntos calientes”, para el fomento y gestión de combustibles leñosos.

Hasta la fecha actual WISDOM ha sido aplicado en los siguientes lugares:

- Supranacional:
 - Costa Oriental de los países de África Central; Burundi, República Democrática del Congo, Egipto, Kenia, Ruanda, Somalia, Sudan, Tanzania, y Uganda.(FAO 2007)
 - Sueste Asiático; Camboya, Malasia, Laos, Tailandia, Vietnam y la provincia de Yunnan (China) (FAO, 2007)
- Nacional:
 - Eslovenia (FAO, 2006)
 - Italia (Drigo et al. 2007)
 - México (FAO, 2005)
 - Mozambique (FAO, 2006)
 - Senegal (FAO, 2004)
- Subnacional:
 - Comunidad Autónoma de Castilla y León (FAO, 2008)
 - Emilia Romagna (RENEWED, 2008)

WISDOM es una metodología construida sobre un Sistema de Información Geográfica (SIG), que ofrece la posibilidad de integrar información estadística y espacial tanto de la producción (oferta) como del consumo (demanda) de dendrocombustibles. Por lo tanto, ofrece, no sólo, presentar los resultados del análisis espacial de forma comprensible para todos los públicos, sino que además permite modelizar sobre el

territorio de trabajo, generando diferentes escenarios de decisión.

WISDOM se adapta a la información disponible, muchas veces dispersa, sea ésta directa (consumo de leña y sus tendencias, productividad sostenible, etc.) o indirecta (otras variables relacionadas con la oferta y demanda de energía y/o combustibles), proponiendo su integración, de manera que evite la necesidad de realizar una nueva y costosa recopilación de datos.

WISDOM es un instrumento de planificación estratégica para la programación y el desarrollo de la dendroenergía. Facilita el análisis espacial de la oferta y la demanda de combustibles leñosos, con la resolución deseada, bien sea; local, regional o nacional. Los resultados del análisis y la identificación de “puntos calientes” orientan en la definición de prioridades de acción.

WISDOM es un instrumento modular, abierto, adaptable a información heterogénea recogida por múltiples sectores interesados en la dendroenergía: gestores de bosques, industria energética, agricultura, asuntos sociales, etc. Mediante aplicaciones reiteradas de WISDOM a lo largo de los años, se podrá dar al análisis de la dendroenergía una congruencia cada vez mayor.

2.3. ¿Por qué se elige WISDOM para Castilla y León?

Ante la necesidad de conocer el punto de partida del potencial desarrollo de la bioenergía en Castilla y León se optó por la aplicación de la metodología WISDOM. Los motivos por los que fue elegida esta herramienta son:

- La capacidad demostrada de integración
- Versatilidad
- Herramienta contrastada
- La confianza de una metodología aceptada y promovida por FAO, aplicada en territorios dispares y siempre con resultados útiles e interesantes.

Además, como resumen, los principales beneficios del uso de WISDOM son los siguientes:

- Permite una visión global de los dendrocombustibles en todo el ámbito estudiado, ayudando a; determinar áreas prioritarias para intervenciones de manejo o restauración de recursos, promover nuevas iniciativas dendroenergéticas e identificar áreas de sobre competencia actual o futura.
- Aporta información esencial para complementar la formulación de planes de ordenación para un aprovechamiento sostenible de bosques u otras tierras arboladas dentro o fuera de los bosques.
- Puede utilizarse para promover el desarrollo de la dendroenergía, como energía localmente disponible y ecológica, y que puede contribuir a generar empleo y mejorar condiciones de vida.
- Ayuda a deslindar el rol de los sectores energético, forestal, agrícola y otros, en la provisión y suministro de dendrocombustibles, favoreciendo una más clara asignación de responsabilidades y contribuyendo a promover sinergias.
- Permite identificar carencias críticas de datos, de manera que se pueden diseñar acciones específicas para subsanarlas.
- Integra información fragmentada y favorece la colaboración interinstitucional, contribuyendo al desarrollo de los sectores involucrados.

2.4. Objetivos del proyecto

Los principales objetivos de WISDOM Castilla y León (GDGP/INT/001/SPA) fueron; (i) describir y cuantificar el consumo y la producción de biomasa leñosa con potencial energético en la Comunidad Autónoma de Castilla y León, (ii) evaluar y cartografiar el potencial dendroenergético, (iii) capacitar a profesionales y técnicos de CESEFOR en la aplicación y utilización de WISDOM, (iv) la adaptación de la metodología a zonas con mayor calidad de información forestal, y (v) promover actividades de seguimiento, entre las que destacan; la planificación de los recursos biomásicos en Castilla y León y la planificación de los proyectos de instalaciones consumidoras de biomasa leñosa.

A efectos de este trabajo se entiende por biomasa leñosa con potencial energético, aunque en ocasiones nos refiramos a ella simplemente como biomasa leñosa, a aquellos productos y subproductos leñosos que tienen un precio accesible para su uso en la producción de energía. De este modo la biomasa leñosa con potencial energético cubre una paleta variable de productos y subproductos que puede incluir desde ramas

o raíces a madera de cánter o de sierra.

En el presente trabajo no se pretende establecer el alcance exacto de la biomasa con potencial energético, se incluyen aquellos productos leñosos que en el momento actual están al menos en el umbral de accesibilidad al uso energético, pudiendo ser accesible en unos casos y no en otros. Por ello se ha intentado dar la información con el desglose suficiente para que el lector pueda formar su propia composición. La definición, física y estable, y cuantificación de los productos es por tanto esencial para poder calcular oferta o balance de biomasa leñosa con potencial energético, no es suficiente hablar de biomasa, hay que definir la composición de la biomasa. Cuando no se especifique otro criterio se incluye como biomasa con potencial energético, oferta o productividad la correspondiente a los siguientes productos, siempre en unidades de peso de materia seca (ms):

- Ramas y madera de trituración de especies con aprovechamiento comercial, como pinos o chopo.
- Ramas y fuste completo, excepto madera de sierra o superior, de especies con escaso aprovechamiento comercial por ausencia de demanda, como encina, rebollo o sabina.
- Ramas y madera de trituración de especies con aprovechamiento comercial disperso y escaso, como cerezo o aliso.

El producto fue definido como una base de datos geoestadística en la cual la producción y el consumo de biomasa leñosa y sus potencialidades puedan ser visualizados en mapas, cubriendo la Comunidad Autónoma de Castilla y León a nivel de municipio, con una visión general a nivel nacional analizada al nivel de provincia. El año base de análisis (2003) fue determinado a partir del año de referencia de la revisión del mapa forestal y el trabajo de campo del Inventario Forestal Nacional

Estos mapas y bases de datos servirán como herramientas para:

- La elaboración y formulación de estrategias de dendroenergía / bioenergía a corto y medio plazo
- El análisis de impactos técnicos, económicos, ecológicos, medioambientales y sociales
- La planificación sostenible de los recursos naturales para la producción de materia prima para biocombustibles.

Se establecieron unos requisitos. Los datos empleados en la evaluación tienen que proceder de una fuente periódica, de modo que se pudiera actualizar el análisis en el futuro. La información tiene que estar por supuesto georeferenciada, pero además con suficiente definición geográfica que permitiera análisis a escala comarcal, además de la regional. Los datos debían tener la mayor precisión posible, con especial énfasis en la desagregación de los datos y el tratamiento diferenciado de los diferentes productos. Por último, versatilidad, de modo que el sistema pudiera ser aplicado en otras regiones usando fuentes de información diferentes, de modo que el sistema de entrada sea lo más abierto posible.

2.5. Marco institucional del proyecto

La Junta de Castilla y León a través de un programa técnico de colaboración abre una línea de trabajo y transmisión de conocimiento con FAO para la elaboración de WISDOM en el territorio de Castilla y León.

La Junta de Castilla y León propone al CESEFOR, centro tecnológico dependiente de esta, como la entidad responsable de desarrollar WISDOM y captar el conocimiento de su aplicación.

La información obtenida mediante la aplicación de la metodología WISDOM al territorio de Castilla y León será integrada en los módulos de diagnóstico del Plan de la Bioenergía de Castilla y León.

2.6. Actividades

La asistencia de FAO se realizó en dos fases, consistentes en dos visitas de trabajo (misiones) del Consultor Principal, Rudi Drigo, a CESEFOR, Soria. La primera fue realizada del 15 al 29 de Julio de 2007 y la segunda entre el 3 y el 17 de Febrero de 2008. Además, durante los días previos a la celebración de la Feria EXPOBIOENERGÍA 2008 en Valladolid (14 al 16 de octubre de 2008), con motivo de la presentación del proyecto WISDOM Castilla y León, se revisaron diversos elementos del módulo de la oferta con la incorporación de nuevos datos. Como resultado se avanzó considerablemente en el análisis de la oferta sostenible y su localización geográfica.

El principal objetivo de la consultoría fue ayudar a la implementación de un estudio WISDOM para la Comunidad Autónoma de Castilla y León, que proponga una planificación sostenible de los recursos de biomasa leñosa y del desarrollo bioenergético.

La principal contraparte ha sido el área de Investigación, Desarrollo e Innovación de CESEFOR, con colaboración también de las áreas Forestal, Industrial y de Tecnologías de la Información.

Las personas participantes, que forman el grupo de trabajo del proyecto, están listadas en el Apéndice 1.

2.6.1. Actividades de la fase I

Los principales objetivos de la primera fase de la asistencia de FAO fueron; (i) presentar el ámbito y la estructura de la metodología WISDOM, (ii) discusión de su posible estructura en el contexto de Castilla y León, (iii) proveer asistencia en la definición/identificación de mapas temáticos necesarios para el desarrollo de los módulos de oferta y de demanda y su tratamiento inicial, y (iv) proveer asistencia en el establecimiento de sinergias inter-institucionales.

La mayor parte del tiempo de la primera misión fue dedicado a decidir las principales áreas temáticas de los módulos de la Oferta y la Demanda. Se trabajó en la definición de las variables clave que deberían ser recogidas y en las fuentes de información. Se mantuvieron diversas reuniones en CESEFOR, cuyo objetivo fue la definición del producto a obtener y la creación de vínculos inter-institucionales para el intercambio de información. También se plantearon las formas de colaboración y discusiones técnicas acerca de los datos disponibles y de cómo estos datos podrían ser usados en el ámbito del análisis WISDOM.

2.6.2. Actividades de la fase II

Los objetivos de la segunda fase, que consistió en una misión de dos semanas a CESEFOR del Consultor FAO, eran; (i) analizar e interpretar la información derivada de la implementación de WISDOM, para evaluar las áreas con excedencia o déficit de biomasa leñosa, considerando el potencial actual de oferta y el nivel de consumo y (ii) colaborar y tomar parte en reuniones técnicas para la presentación y discusión de los resultados del proyecto.

Finalmente, todo el tiempo de la misión fue dedicado al procesamiento, armonización e integración de la información obtenida por CESEFOR.

El análisis realizado permitió la primera evaluación discreta espacial de los potenciales de biomasa leñosa, los consumos actuales y el balance oferta/demanda para Castilla y León.

3. Metodología de WISDOM Castilla y León

3.1. Principales características

Como comienzo del proyecto, se realizó una descripción de WISDOM y una presentación en CESEFOR basada en los detalles del proyecto de Eslovenia, con breves referencias a otros ejemplos de aplicación de WISDOM como Méjico, Senegal, Argentina e Italia. Durante este ejercicio comparativo, se plantearon las bases del futuro desarrollo de la aplicación en Castilla y León.

Es necesario resaltar el carácter nacional/geográfico de los análisis WISDOM, que dota a la metodología de una especial a la vez que plantea la necesidad de ser rediseñada para cada contexto geográfico dependiendo de las prioridades específicas de cada unidad geográfica y de la disponibilidad de datos.

La Figura 5 presenta una visión general de los pasos analíticos y de los principales mapas temáticos que han sido utilizados en WISDOM CyL. Esta parte siempre es exclusiva de cada implantación de WISDOM, dado que dependiendo de la oferta de cartografía accesible y veraz existente, se definen soluciones a medida para el territorio de trabajo.

Se ha seleccionado el nivel municipal como el nivel administrativo mínimo de análisis, ya que proporciona suficiente detalle y es el nivel básico de las estadísticas disponibles.

La resolución espacial de los análisis SIG y de los mapas *raster* se ha fijado en 100 m. Todos los mapas generados en el análisis WISDOM presentan esta resolución, con lo cual, cada celda del mapa representa una hectárea.

Considerando los mapas base así como la disponibilidad de estadísticas, se asigna como año de referencia el 2003 para el análisis WISDOM (fecha de referencia del Tercer Inventario Forestal Nacional elaborado tras la última revisión del Mapa Forestal Español, MFE3)

Tras una definición preliminar del proceso analítico general y de los mapas temáticos, se pasó a identificar las fuentes de información y las características de los datos disponibles relacionados con el desarrollo de los módulos de Oferta y de Demanda. Entre ellos se identificaron datos útiles existentes entre los recopilados y elaborados por CESEFOR. El resto del tiempo de la primera misión se empleó en identificar y verificar nuevas fuentes que completaran las necesidades del proyecto.

Los gráficos de la Figura 6 y la Figura 7 describen la integración de los mapas temáticos para el desarrollo de los módulos de Oferta y Demanda al nivel de municipio, para Castilla y León y a nivel de provincia para el resto de España

El Apéndice 2 contiene un resumen de los mapas temáticos principales, las variables y las fuentes de información.

La geodatabase que contiene los parámetros para WISDOM al nivel de municipio (CyL_03.mdb) se ha creado basándose en el mapa administrativo de municipios (municipio_E50. shp) y actualmente contiene parámetros de consumo doméstico, producción industrial y consumo de biomasa leñosa, además de varios parámetros relacionados con la producción extraídos de los análisis SIG. Los atributos asociados a cada municipio se listan en el Apéndice 9 y están descritos en la siguiente sección.

La unidad de medida de producción y consumo de biomasa leñosa es la tonelada de materia seca (t ms). La conversión a unidades de energía (julios o toneladas equivalentes de petróleo) se realizó distinguiendo con mucha claridad entre contenido de energía nominal y energía útil.

La energía útil depende no sólo de la energía contenida por el combustible (biomasa) sino que tiene una influencia determinante las tecnologías de conversión específicas y el producto obtenido, es decir, el rendimiento en energía disponible para su consumo, que puede triplicarse de un sistema a otro.

Por ello en el presente trabajo se ha usado la energía nominal, de modo que para una aplicación específica es necesario aplicar el rendimiento que proceda. Los factores de conversión usados, detallados en el Apéndice 6, fueron los empleados por FAO en los anteriores estudios WISDOM excepto cuando se encontraron factores locales fiables.

Selección de la base espacial

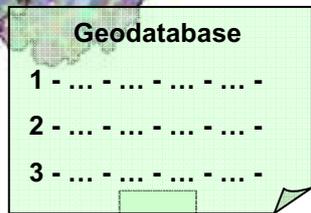
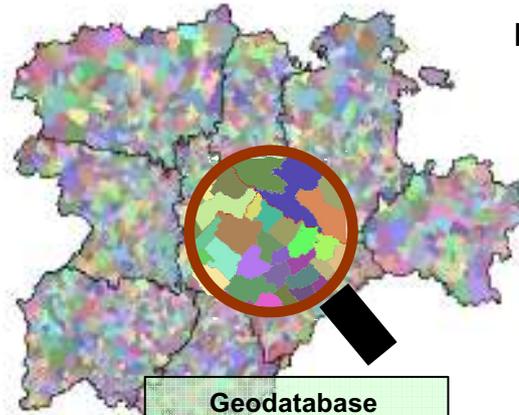
- Municipio
- Provincia
- Pueblos
- Raster (100 m pixel)

Módulo de demanda

- consumo en hogares por municipio
- consumo industrial
- datos demográficos
- distribución de las industrias de la madera
- consumo de biomasa leñosa en otros sectores (comercial, público)
-

Módulo de oferta

- mapa forestal (MFE)
- datos de parcelas del inventario forestal nacional (IFN3)
- datos de cortas
- datos de cambio de uso de suelo
- biomasa leñosa agrícola
- residuos leñosos de industrias de la madera
- accesibilidad física (distancia y pendiente) y legal (áreas protegidas)



Módulo de integración

- Total de biomasa leñosa accesible potencial
- Potencial accesible con el régimen de cortas actual
- Balance oferta/demanda por municipio
- Balance de oferta/demanda por píxel de 1 ha
- áreas de superávit y déficit
-

Áreas prioritarias

Por unidad, por píxel y por contexto local

Oferta comercial potencial

- Formaciones forestales productivas
- Areas apropiadas para producción de biomasa
- Potencial de producción comercial
- Competencia de recursos con industria de tableros

Bio-districtos

- Accesibilidad de recursos alrededor de zonas específicas
- Análisis de oferta y demanda
- Mapas de zonas de suministro

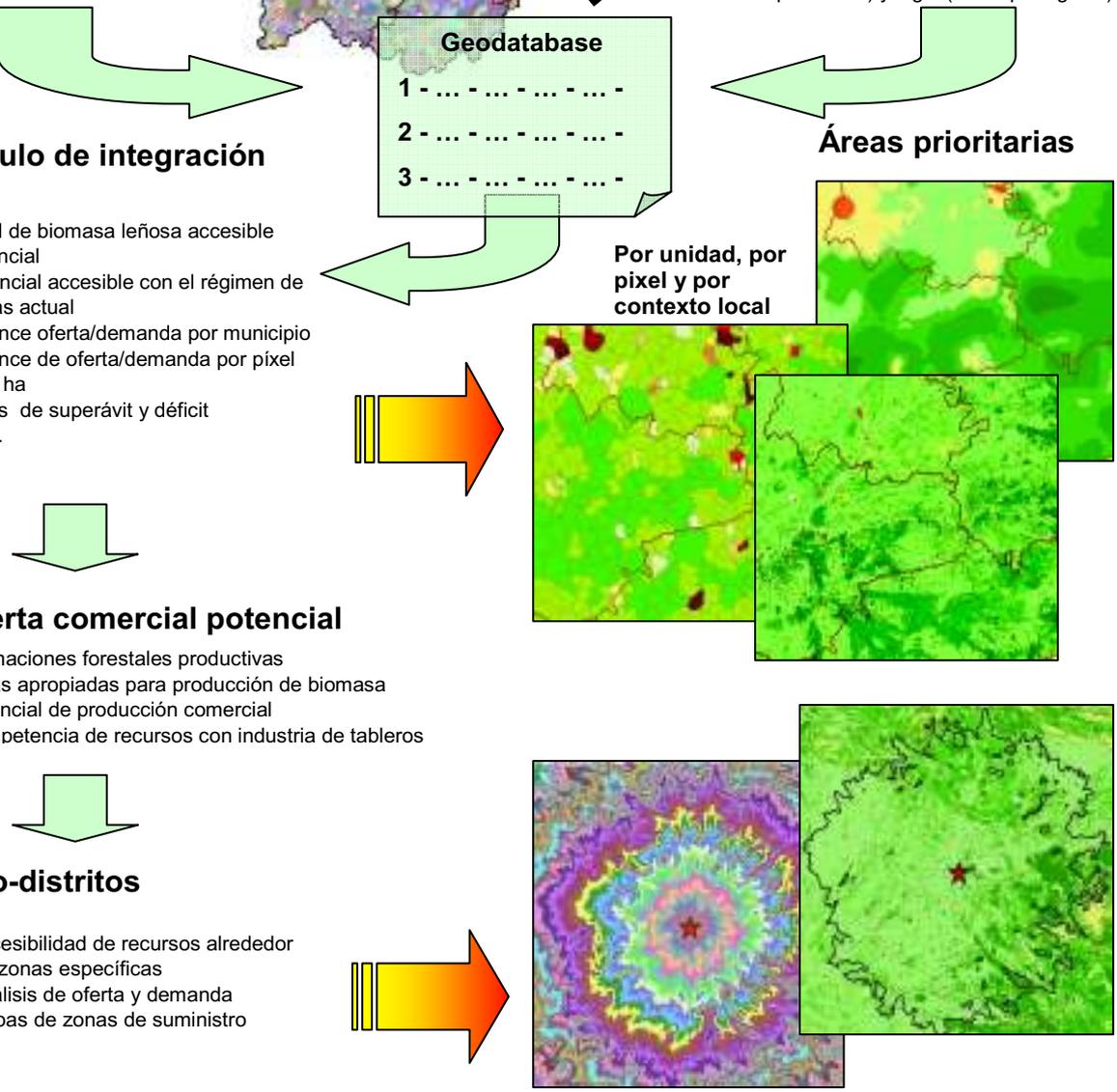


Figura 5. WISDOM CyL. Diagrama de flujo del proceso analítico y principales capas temáticas.

Fuente: Propia

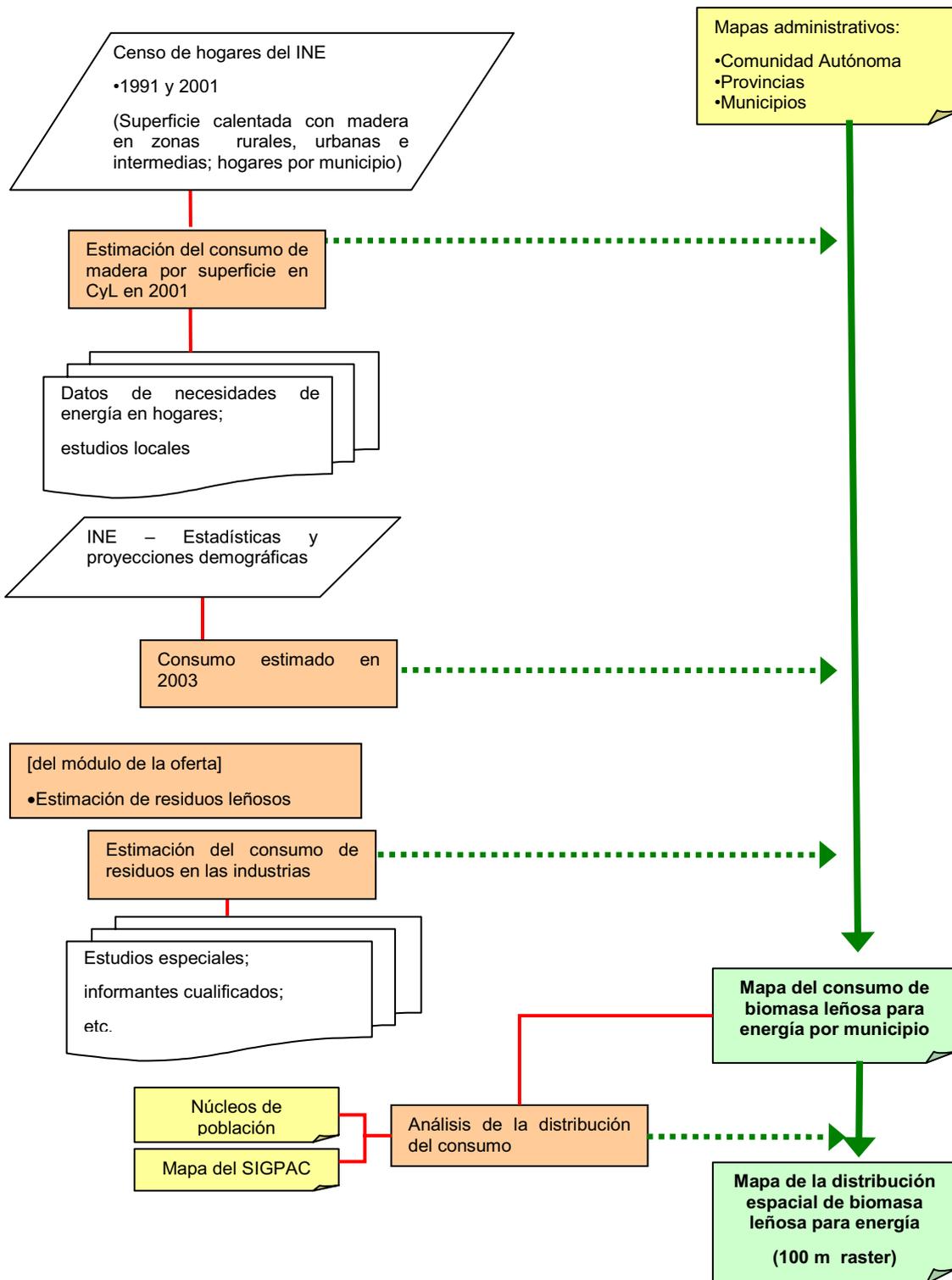


Figura 7. WISDOM CyL. Diagrama de flujo. Módulo de la demanda.

Fuente: Propia

3.2. Base cartográfica

3.2.1. Base cartográfica administrativa del análisis

El análisis para Castilla y León se realiza a nivel de municipio. Hay 2 248 municipios en Castilla y León, los cuales ofrecen una alta resolución espacial de análisis (8 113 municipios en toda España)

Para representar con un mínimo de detalle el contexto nacional al que pertenece Castilla y León y para evaluar el consumo y la demanda potenciales fuera de Castilla y León, se deberá realizar un análisis a menor escala (a nivel de provincia). Hay 52 provincias en España, 9 de ellas forman Castilla y León.

La mayor parte de las estadísticas usadas en el análisis de Castilla y León estaban disponibles a nivel de municipio.

3.2.2. Otra cartografía

A continuación se detallan los principales mapas de usos del suelo, distribución de la población y otros que se han utilizado para cartografiar la accesibilidad de recursos y otras fases del proceso analítico:

- Mapa forestal (escala 1:50 000) incluyendo además, zonas agrícolas, urbanas y la red hidrográfica.
- Mapa de áreas urbanas
- Mapa de usos del suelo del SIGPAC (escala 1:50 000)
- Mapa de cultivos y aprovechamientos (MCA) (escala 1:50 000)
- Mapa de carreteras y principales vías forestales
- Corine Land Cover (mapa de usos de suelo a escala 1:200 000 disponible para toda España)
- Modelo digital del terreno (mapa raster con un tamaño de píxel de 25 m)
- Mapa de áreas protegidas (Red Natura 2000 y Red de Espacios Naturales)

3.2.3. Análisis raster

Considerando la resolución original de los datos de partida y el nivel de detalle esperado del análisis, el Grupo de Trabajo de WISDOM (ver Apéndice 1) acuerda que el análisis espacial de productividad y consumo potencial, accesibilidad y balance oferta/demanda fuera desarrollado con datos *raster* en un tamaño de píxel de 100 m. Todos los mapas *raster* generados en el proceso WISDOM presentan esta resolución espacial con la que cada celda cubre una hectárea de superficie.

La proyección geográfica usada es UTM, Zona 30 Norte.

4. Resultados y discusión de WISDOM Castilla y León

4.1. Módulo de la oferta

La oferta completa de biomasa para uso energético incluye una extensa gama de productos. FAO ofrece una clasificación de las fuentes de biomasa más comunes, cuyo resumen se puede ver en la Tabla 1 (UBET, FAO 2004). Se incluyen fuentes y tipos de biomasa usados o potencialmente disponibles para fines energéticos, entendiéndose por potencialmente disponibles aquellos que son relativamente abundantes y carecen de mercado o su precio es accesible al uso energético.

Tabla 1. Clasificación de fuentes de biomasa por diferentes características.

		Biomasa Leñosa	Biomasa herbácea	Biomasa de frutos y semillas	Varios (incluidas las mezclas)
Cultivo energético		WOODFUELS	AGROFUELS		
	Directos	- árboles de bosques energéticos - árboles de plantaciones energéticas	- plantas herbáceas energéticas - cultivos energéticos de cereales enteros	- cereales energéticos	
Subproductos		- subproductos de la selvicultura - subproductos del aprovechamiento	- subproductos agrícolas: - paja	- huesos, cáscaras, vainas	- subproductos animales - subproductos hortícolas - subproductos paisajísticos
	Indirectos	- subproductos de la industria de la madera - licor negro	- subproductos de la elaboración de fibras	- subproductos de la industria de la alimentación	- biolodos - subproductos de matadero
Materiales derivados de otros usos	De recuperación	- madera usada	- productos de fibra usados	- productos de frutas y semillas usadas	SUBPRODUCTO ORIGEN MUNICIPAL
					- desperdicios de cocina - fangos de aguas residuales

Fuente: adaptado de UBET (FAO 2004).

La clase "Subproductos" engloba también los llamados residuos, restos o deshechos, ya que al ser susceptibles de usarse en la producción de energía (calor y electricidad) se les dota de uso y precio, abandonando por tanto tal denominación.

Se consideran productos de cultivos energéticos aquellos, resultado del aprovechamiento de masas que no se aprovechan en la actualidad pero que tienen interés para el mercado energético, independientemente de que puedan ser utilizados en otros mercados, como el del papel o el del tablero. En este caso están las masas de rebollo.

Una propuesta de definición para cultivos energéticos es, la de aquellos cuyo producto de mayor valor tiene un precio accesible para el mercado energético. En este sentido los aprovechamientos de las masas forestales jóvenes pueden ser considerados o "subproductos", ya que habrá productos de mayor valor durante el desarrollo del "cultivo" selvícola, o bien productos de cultivo energético ya que éste destino dará el producto de mayor valor.

En el presente trabajo sólo se considera la biomasa leñosa. Sin embargo, es importante mencionar otras fuentes actuales o potenciales de biomasa no leñosa para considerar una futura extensión del análisis. Particularmente interesante es la incorporación de fuentes agrícolas no leñosas, que completan la producción primaria y en la que el presente equipo de trabajo ya ha presentado algunos avances.

No se ha considerado la biomasa leñosa procedente del aprovechamiento de arbustos y matorrales debido a la falta de datos para su estimación y a considerarse residual dentro de la oferta total de biomasa forestal de Castilla y León.

En el análisis que presentamos la oferta está compuesta por la oferta directa y la oferta indirecta. La oferta directa proviene de fuentes primarias, productos y subproductos en terreno forestal y subproductos en terrenos no forestales. La oferta Indirecta está constituida por los subproductos de la industria de la madera y por los productos de la industria de recuperación de materiales.

4.1.1. Oferta directa oferta directa sobre terreno forestal

La oferta directa sobre terreno forestal se calculó sobre la superficie definida como forestal en el Mapa Forestal Español (MFE3).

En el conjunto de Castilla y León, así como localmente en la mayoría de sus comarcas, la principal fuente de biomasa leñosa es la que obtiene en el aprovechamiento de árboles en terrenos forestales, por lo que el primer y más importante paso es la cuantificación de esta oferta. La estimación de la oferta leñosa forestal presenta claras ventajas respecto u otras ofertas, por ejemplo la agrícola leñosa, estas son: (i) la existencia de un inventario de fácil acceso (Inventario Forestal Nacional), homogéneo para todas las especies y superficies. (ii) Mayor estabilidad de los cultivos, por su turno y por la ausencia de subvenciones a especies concretas.

No obstante, también se presentaron al inicio de este trabajo algunos inconvenientes. El primer escollo con que nos encontramos es la falta de definición de productos en el inventario, siguiendo con la falta de resolución espacial en el mismo, dificultades en asignación espacial de los datos de parcelas y ausencia de experiencias anteriores que hubieran definido las variables necesarias. En los siguientes apartados se explica el proceso desarrollado así como, la forma en que se afrontaron estos problemas. El punto de partida tiene que ser un inventario forestal que recoja datos de existencias y crecimientos de los árboles.

4.1.1.1. Origen de los datos. El Inventario Forestal Nacional

Se ha elegido el Inventario Forestal Nacional como fuente de los datos de existencias y crecimientos debido a que es un inventario que cubre toda la superficie regional y proporciona datos homogéneos. La posibilidad de usar inventarios locales se desechó debido a la imposibilidad de cubrir una parte importante de la superficie, el esfuerzo que requiere su recopilación y uso, y a la heterogeneidad que implica.

El Inventario Forestal Nacional (IFN) tiene por objetivo principal suministrar información estadística sobre el estado y evolución de los montes españoles, centrándose principalmente en las masas arboladas. Lo realiza la Administración General del Estado con la colaboración de las Comunidades Autónomas, obteniendo con ello una homogeneidad entre Comunidades Autónomas y una continuidad temporal que facilita la comparación de los datos. Se trata de un inventario por muestreo, que se apoya en la medición de diversas variables dasométricas en parcelas distribuidas por los diferentes tipos de bosque de la región. En España se han realizado tres Inventarios Forestales Nacionales, para el proyecto WISDOM se han usado los datos pertenecientes al Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3) siendo 2003 el año de referencia. Desde el segundo (IFN2), las parcelas tienen carácter permanente y se sitúan en puntos de una malla UTM de 1x1 km. La remediación de los mismos árboles en el siguiente ciclo de inventario permite conocer los crecimientos.

Los objetivos generales de este inventario son los siguientes:

1. Suministrar una información estadística homogénea y adecuada sobre el estado y la evolución de los ecosistemas forestales españoles.
2. Servir como instrumento para la coordinación de las políticas forestales y de conservación de la naturaleza de las comunidades autónomas y del Estado.
3. Formar un sistema de datos de fácil acceso que posibilite la educación y la participación ciudadana en el ámbito forestal.
4. Constituir un elemento de la red europea de información y comunicación forestal, biológica y medioambiental.
5. Estudiar la evolución de los montes españoles mediante la comparación de las parcelas del IFN2 remedidas y de las que de éste se repetirán en el próximo ciclo

Las parcelas de muestreo son circulares de radio variable entre 5 y 25 m, en las que se miden todos los pies con un diámetro superior al establecido para cada corona. Cada una de las parcelas cuenta con un rejón enterrado en el suelo que permite confirmar su localización en cada ciclo de inventario. En las 16 302

parcelas muestreadas en el IFN3 de Castilla y León (ver Figura 8), se han medido un total de 252 480 árboles de diámetro superior a 7,5 cm (pies mayores) además de contabilizar los pies menores. En los pies mayores inventariados se miden las principales variables dendrométricas que caracterizan un árbol, así como su posición mediante rumbo y distancia al centro; se incluyen algunas variables cualitativas y otras de parcela, obteniéndose una buena descripción sistemática. A partir de las medidas individuales de cada uno de los árboles incluido en la parcela, se expanden dichos valores a la superficie de referencia (en este caso la hectárea) y se calculan las principales variables dasométricas, por especie y clase diamétrica, que caracterizan la superficie forestal. El IFN3 denomina a estas bases de datos, "Base de Datos Sig" y los archivos se pueden descargar de forma gratuita en la página web del banco de datos del Ministerio de Medio Ambiente (<http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad>) bajo la denominación de "Sig XX.zip", donde XX es el código de la provincia.

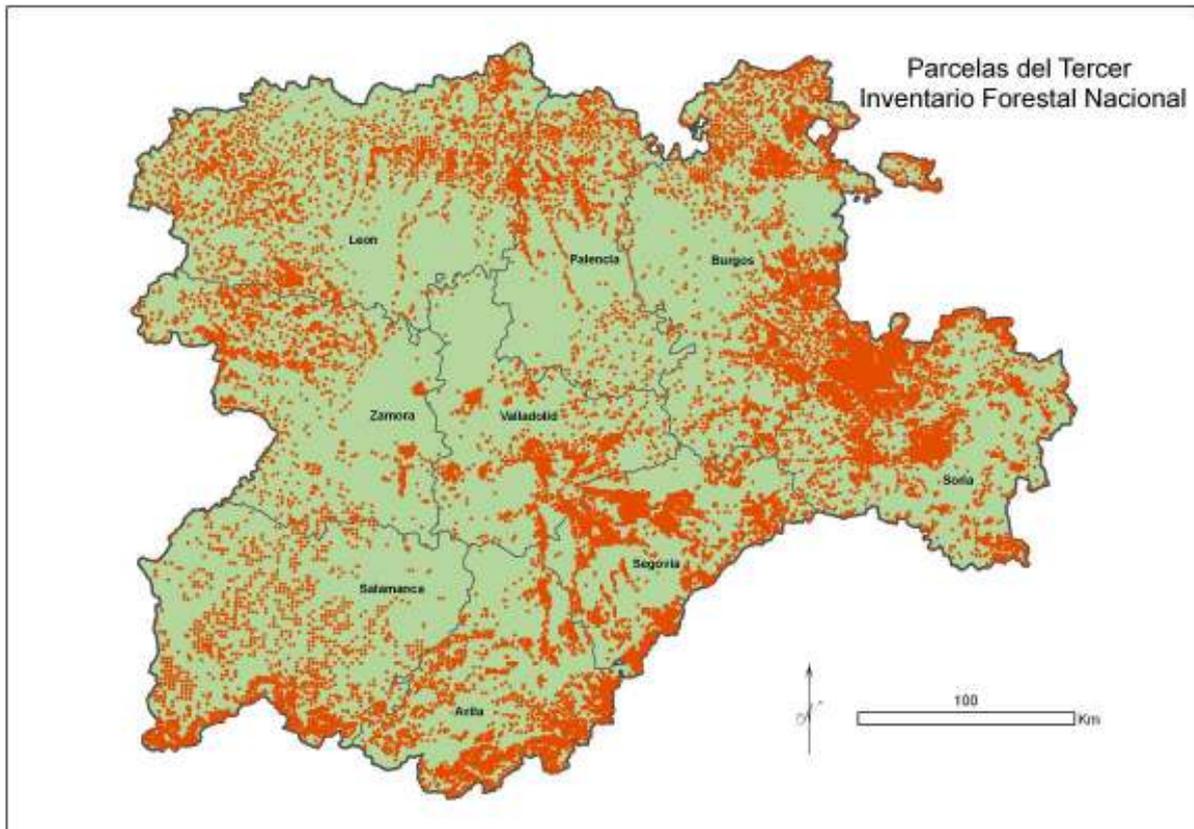


Figura 8. Parcelas del Tercer Inventario Forestal. IFN3.

Fuente: MARM

4.1.1.2. Cálculo de productos

El Inventario Forestal Nacional ofrece datos procesados de las existencias maderables sólo en términos de volumen total del fuste, con y sin corteza, normalmente hasta 10 cm en punta delgada. Sin embargo, el análisis de la oferta de recursos leñosos, sea cual sea el destino, necesita tratarse en términos de productos de madera, no de madera sin clasificación. Así, para estudiar el abastecimiento a un aserradero con producción principal madera estructural, el dato de metros cúbicos de madera hay disponibles no resulta suficiente, ya que en ese volumen hay madera de trituración, cánter o sierra en proporciones desconocidas; en cambio si cuantificamos las posibles cortas de madera de sierra y sierra gruesa, respondemos a la necesidad de la información.

En el presente trabajo interesa determinar la biomasa leñosa con potencial energético, es decir la de todos los productos que son accesibles al uso energético. Por lo tanto debemos conocer los volúmenes de los productos que componen esta biomasa, tales como ramas, raíces o madera de desintegración.

El primer paso es la definición de los productos leñosos, en la que distinguimos productos del fuste y productos de ramas y raíces, ya que el método de cálculo es diferente. Esta clasificación debe estar basada en características físicas fácilmente medibles, y lo más importante, que corresponda a un producto reconocido como tal por el mercado y que tenga un precio observable y uniforme en cada clase. Lo habitual

es usar las características dimensionales de las trozas (diámetro en punta delgada, en punta gruesa y longitud), y en ocasiones características morfológicas como rectitud o conicidad.

Existe una norma de clasificación de madera en rollo, la UNE 56.514:85 que puede resumirse en la siguiente tabla.

Tabla 2. Clasificación de madera en rollo según la norma UNE 56.514-85.

Producto	Diámetro mínimo (cm)	diámetro máximo (cm)	longitud mínima (m)
Desenrollo	15	160	0.6
Sierra	20	200	1.2
Postes	10	45	6
Desintegración	8	20	1
Apea	8	15	2.5

Fuente: norma UNE 56.514-85

Para ajustarse a la realidad del sector forestal de Castilla y León y cumplir los requisitos establecidos CESEFOR ha elaborado una clasificación propia para los productos del fuste que posteriormente se corroboró en la Mesa Intersectorial de la Madera de Castilla y León. Esta clasificación se basa en encuestas a los agentes del sector de primera y segunda transformación de la madera. Se presenta un resumen en la Tabla 3 y se puede descargar el documento completo de <http://www.cesefor.com/cubiFOR>.

Tabla 3. Clasificación de madera en rollo.

Producto	diámetros mínimo en punta delgada (cm) ¹	longitud mínima (m)	diámetro cubiFOR (cm)	diámetro normal (cm)
Desenrollo	≥ 40 ²	3	≥ 40	≥ 45 ²
Chapa plana	≥ 40 ²	3	≥ 40	≥ 45 ²
Sierra Gruesa	≥ 40	2,5	≥ 40	≥ 45
Sierra	≥ 25	2,5	≥ 25 y < 40	≥ 30
Cáñter	≥ 15 (≤ 28 pg)	2,5	≥ 15 y < 25	> 15 y < 30
Postes	≥ 15 (≤ 28 pg)	≥ 6 y ≤ 14	≥ 15 y < 25	> 15 y < 30
Apeas	≥ 6 y (≤ 16 pg)	1,8	≥ 6 y ≤ 13	≥ 7,5 y ≤ 15
Desintegración	≥ 5	1	≥ 5	≥ 7,5
Energía	-	-	-	Todos

No todas las especies tienen todos los productos.

Los diámetros de la columna cubiFOR son en punta delgada

Entre paréntesis se muestra el valor máximo de la troza en punta gruesa (pg).

En los chopos, el diámetro mínimo es de 20 cm y el diámetro normal de 25 cm.

Fuente: CESEFOR

Siguiendo los mismos principios se ha elaborado una clasificación para los productos leñosos que no provienen del fuste y que se resume a continuación.

- Ramillas y Hojas, ramas de diámetro inferior a 2 cm y hojas.
- Ramas Finas, ramas de diámetro comprendido entre 2 y 5 cm
- Ramas Gruesas, ramas de diámetro comprendido entre 5 y 7 cm
- Ramas Desintegración, ramas mayores de 7 cm
- Raíces

Sin embargo el IFN no proporciona volúmenes de los productos. Una opción es obtener una relación media de productos que se componen el fuste mediante datos estadísticos, pero la fiabilidad es muy baja, y este es un punto clave para evaluar la oferta. Por ello, utilizamos cubiFOR (Rodríguez et al., 2008), un complemento de Excel que nos permitió calcular con precisión los productos del fuste para los árboles inventariados en el IFN3.

CubiFOR es una herramienta para cubicar, clasificar productos de madera, calcular biomasa y CO2 en las principales especies maderables de Castilla y León (ver Figura 9). Consiste en un complemento de Excel que puede descargarse, de forma gratuita, en su página web (<http://www.cesefor.com/cubiFOR/>), y representa una actualización de MatDendro (Rodríguez y Rodríguez, 2000) y de Cubica (Rodríguez y Broto, 2003). CubiFOR ha sido desarrollado en el departamento de I+D+i de CESEFOR con financiación propia y

de la Junta de Castilla y León. En este proyecto ha colaborado la Universidad de Valladolid, el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria y algunas empresas del sector forestal como Agresta Soc. Coop. y Tecnosylva S.A., aportando datos en alguno de los casos y/o la elaboración de algunos de los modelos.



Figura 9. Pantalla de cubiFOR.

Fuente: CESEFOR

IFN_Productos - Microsoft Access												
Herramientas de base de datos												
Rige de datos												
VLE	CORTEZA	FUSTE	R>7	R2-7	R<2	FOLIAR	RADICAL	AEREA_INIA	TOTAL_INIA	RABERONCL	TRITURACH	
2,12924	4407,0210825	10,085661291	0,0200324957	2,3954313777	3,9437077589	2,975359017	4,1239272518	19,420188941	23,544116193	6,7925252105	51,580143	
7,75528	13648,783182	49,091302944	0,2280806298	9,2638361384	11,809601687	8,9094335676	18,384907394	79,302234966	97,687142360	2,7077700243	94,128118	
10,19759	25971,504238	80,472953437	0,6831499926	12,899147228	13,714983187	10,34650902	25,142928633	118,11680336	147,259732	1,4719564449	76,939251	
2,23874	1401,5772357	20,309402969	0,275199055	2,8683563416	2,6493389007	1,9986095435	7,2704567617	28,10090681	35,377363572	0,1710335323	5,9120518	
1,63547	753,82404542	16,384783063	0,3253283455	2,0860937018	1,7179731807	1,2959794358	5,8750387615	21,810757726	27,685796488	0,0724810419	2,09770471	
0,79828	141,308111	2,8816174795	0,0057235701	0,6844089574	1,1267736328	0,8501017096	1,1782649159	5,5486253494	6,7208902603	1,2871301708	9,7740326	
0,96086	196,123466447	6,849493397	0,031824139	1,2926283157	1,6478314209	1,2431767935	2,5603359498	11,065428283	13,60764233	0,3277981827	11,394995	
0,15038	3,3601746942	2,3324634705	0,0480374727	0,3679118557	0,3564128479	0	5,9662090760	3,1318344443	9,0980425209	0,0390006	1,9110	
2,82443	1969,9793587	20,118238162	0,1707874965	3,2247867752	3,4287457632	2,5886423545	7,2857320868	29,529200551	36,814932638	0,4041963866	21,127369	
0,89305	77,797017290	9,2343009464	0,3125770087	1,5124592719	1,2681379947	0	17,133463839	12,388206106	29,521669945	0,1846888	6,2794	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3,53657	2935,8328652	32,495045325	0,4403184957	4,5893702276	4,238942316	3,1977753261	11,642331024	44,961451690	56,603782715	0,2481199064	8,5766678	
1,41422	481,44349688	13,107825524	0,280262658	1,0693548435	1,3743784474	1,0367834754	4,7000306769	17,448604948	22,148635625	0,0579295989	1,6765647	
0,4231	53,062421158	4,8777226994	0,1337800453	0,5691903672	0,4251927000	0,3207452379	1,7619941608	6,3266310999	8,0886252637	0,0122120288	0,3247983	
0,86937	34,837143688	7,4827976619	0,7232793378	1,3187122904	0,8348912694	0	7,6900303435	10,373898847	18,069902391	0,122693	1,395	
0,32999	33,279390093	3,1119276468	0,1538073646	0,3351242081	0,2136421156	0,1611570209	1,2279577257	4,1756583560	5,4036160817	0,0046083287	0,1128506	
0,70518	83,019797538	6,9973896787	0,1381124037	1,1037354515	1,0692384317	0	17,898625354	9,3954993490	27,294124703	0,1917664	9,3903	
1,96886	486,92518777	23,085750915	0,7814424726	3,7811479429	3,1703447875	0	42,833650907	30,970313119	73,804170226	0,4667134	15,8683	
0,99401	34,75855888	10,089349031	1,2526748664	1,8094167501	1,0712388453	0	9,1031779388	14,236974871	23,340152810	0,122555	1,393	

Figura 10. Nuevas variables incorporadas en las parcelas del IFN3.

Fuente: CESEFOR

El volumen de los productos del fuste se obtiene mediante ecuaciones de perfil. Para los valores en peso, multiplicamos por la densidad básica (otras densidades proporcionan errores no despreciables) de la madera y de la corteza usando el porcentaje medio de corteza, de cada una de las especies (Rodríguez *et al.*, 2006). Para considerar el hecho de que parte de los productos no incluidos en la biomasa con potencial energético (como sierra o cánter) en realidad sí lo son, debido a la forma deficiente o ramosidad, se aplicó un coeficiente corrector a cada clase diamétrica de cada especie.

El resto de productos leñosos se obtienen con las ecuaciones desarrolladas por CIFOR-INIA (Montero *et al.*, 2005) directamente en peso. Para el cálculo de CO₂ se aplicó el porcentaje de carbono contenido en la madera (Vayreda y Ibañez, 2004) y la relación entre el peso molecular del carbono y el dióxido de carbono.

Una vez aplicado cubiFOR a la totalidad de árboles inventariados, por especie y clase diamétrica, del IFN3 de Castilla y León se creó la nueva base de datos que incorporó, en un solo archivo, variables que hacían referencia tanto a los productos del fuste como a los productos no del fuste, tal y como muestra la Figura 10.

Para estimar la oferta forestal directa anual se utilizó el crecimiento anual como indicador, entendiendo que las cortas pueden acercarse, en el caso de aplicación efectiva de selvicultura, a los crecimientos; en apartados posteriores se hacen correcciones a este supuesto, para acercarse a la oferta real anual. Se calculó el crecimiento de cada uno de los productos de forma proporcional al crecimiento en volumen con corteza, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$IA_PRODUCTO_i = F_CRECIMIENTO_i * PRODUCTO_i$$

4.1.1.3. Expansión de los resultados a la superficie forestal

Los resultados son hasta el momento únicamente de los árboles inventariados, es decir que sólo disponemos de los datos de una parcela cada kilómetro. Para poder obtener la oferta de la superficie forestal tenemos que extender esta información a toda la superficie. Este es otro punto clave, ya que de ello depende en buena parte la fiabilidad de los resultados. El método utilizado ha sido el cálculo por estratos.

Para el presente trabajo se han definido estratos a partir de las distintas teselas (polígonos que definen las distintas formaciones forestales) del Mapa Forestal Español (MFE3). Los estratos son zonas que presentan una composición forestal homogénea en cuanto a:

- **Especie** principal y dos secundarias
- **Ocupación** de la especie principal de la tesela: grado de presencia (0-10) en comparación con las otras dos especies descritas en la tesela
- **Estado de desarrollo** de las diferentes especies de la tesela: Fase de desarrollo de las poblaciones regulares de la especie (Replado, Monte bravo, Latizal o Fustal)
- **Fracción de cabida cubierta** de toda la vegetación arbórea de la tesela (de 0 a 100%)
- **Tipo estructural:** tipo de formación vegetal (Apéndice 3)

Todas las teselas del MFE contienen esta información que puede ser representada en mapas como el de la Figura 11.

A partir de la combinación de las variables en el mapa forestal, se definieron 92 estratos forestales que abarcan toda Castilla y León que y se pueden consultar en el Apéndice 10.

El método de cálculo por estratos utilizado considera que toda la superficie del estrato tienen los mismos valores por hectárea para los productos antes mencionados, por especie y clase diamétrica. A cada estrato, para cada producto, se le asigna el valor promedio de todas las parcelas localizadas dentro del mismo. Es decir para un estrato con N parcelas, para cada clase diamétrica de cada especie, cada producto tendrá un valor (VP) será:

$$Spi\ CDj: VP\ estrato = (VP\ parcela1 + VP\ parcela2 + \dots + VP\ parcelaN) / N$$

Para realizar los cálculos se utilizó *f*-Evaluación de Recursos (*f*-ER), que es una herramienta diseñada por CESEFOR y desarrollada por INCA basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

f-Evaluación de Recursos es un SIG que necesita tres tipos de información:

- Mapa de parcelas con una tabla asociada con los valores por hectárea de valores de producto, por especie y clase diamétrica
- Mapa de estratos forestales
- Mapa con las distintas zonas para las que se quieren los resultados (Provincias, Municipios, Montes, etc.)

f-Evaluación de Recursos ofrece los siguientes resultados:

- Mapas, para cada variable, de sus valores por unidad de superficie
- Existencias y crecimientos de cada variable por estrato y por zona, valores totales y valores por hectárea
- Superficies de cada variable y de cada estrato

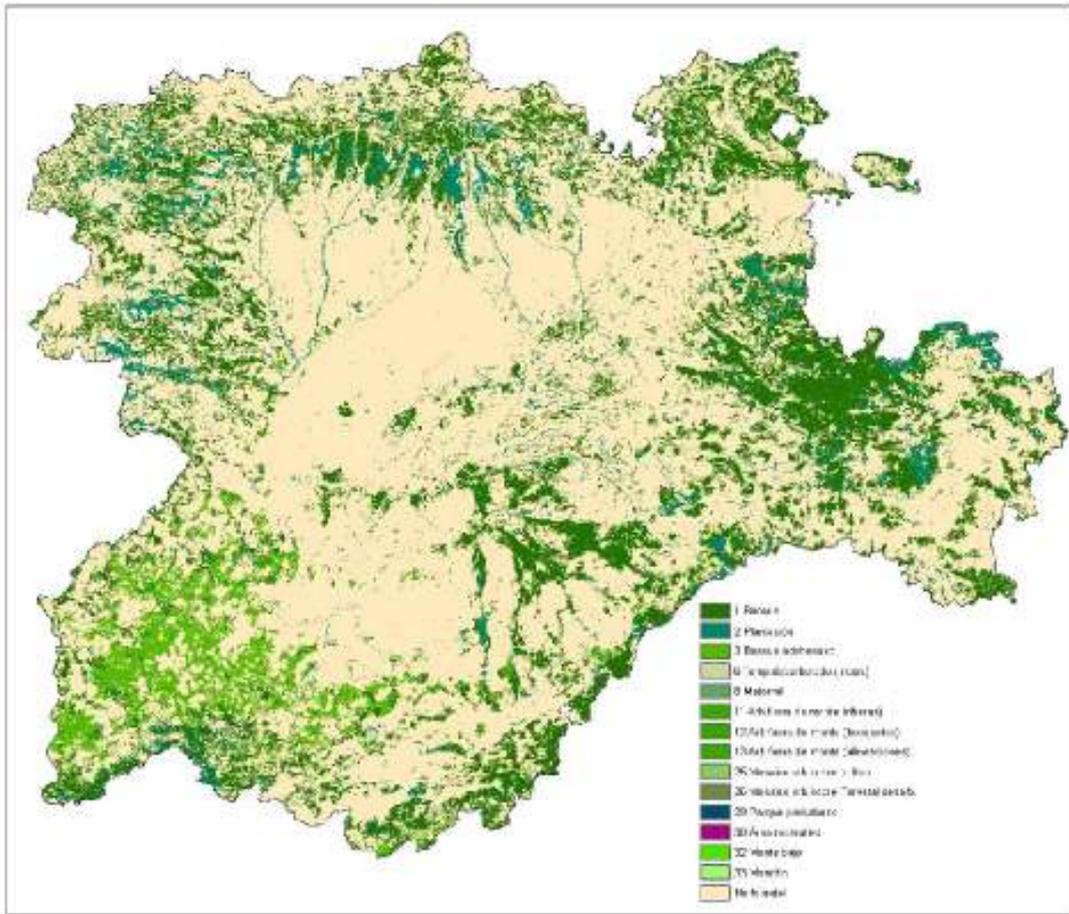


Figura 11. Mapa Forestal, Representación de la variable “Tipo de Estructura”.

Fuente: MARM

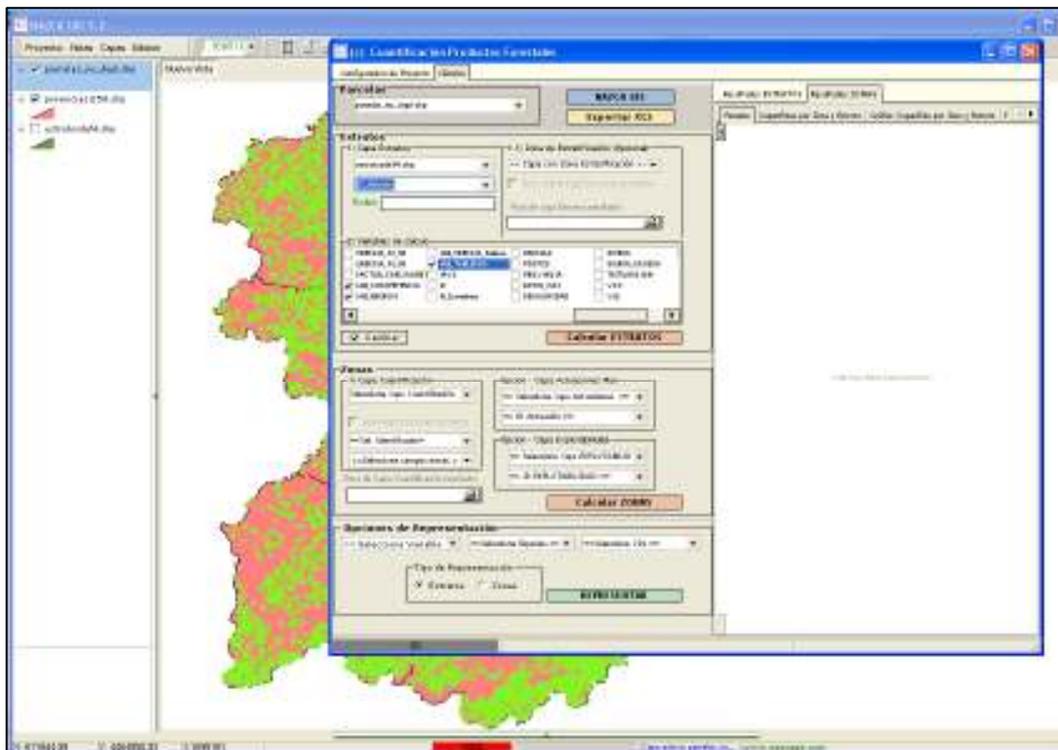


Figura 12. Evaluación de Recursos.

Fuente: INCA/CESEFOR

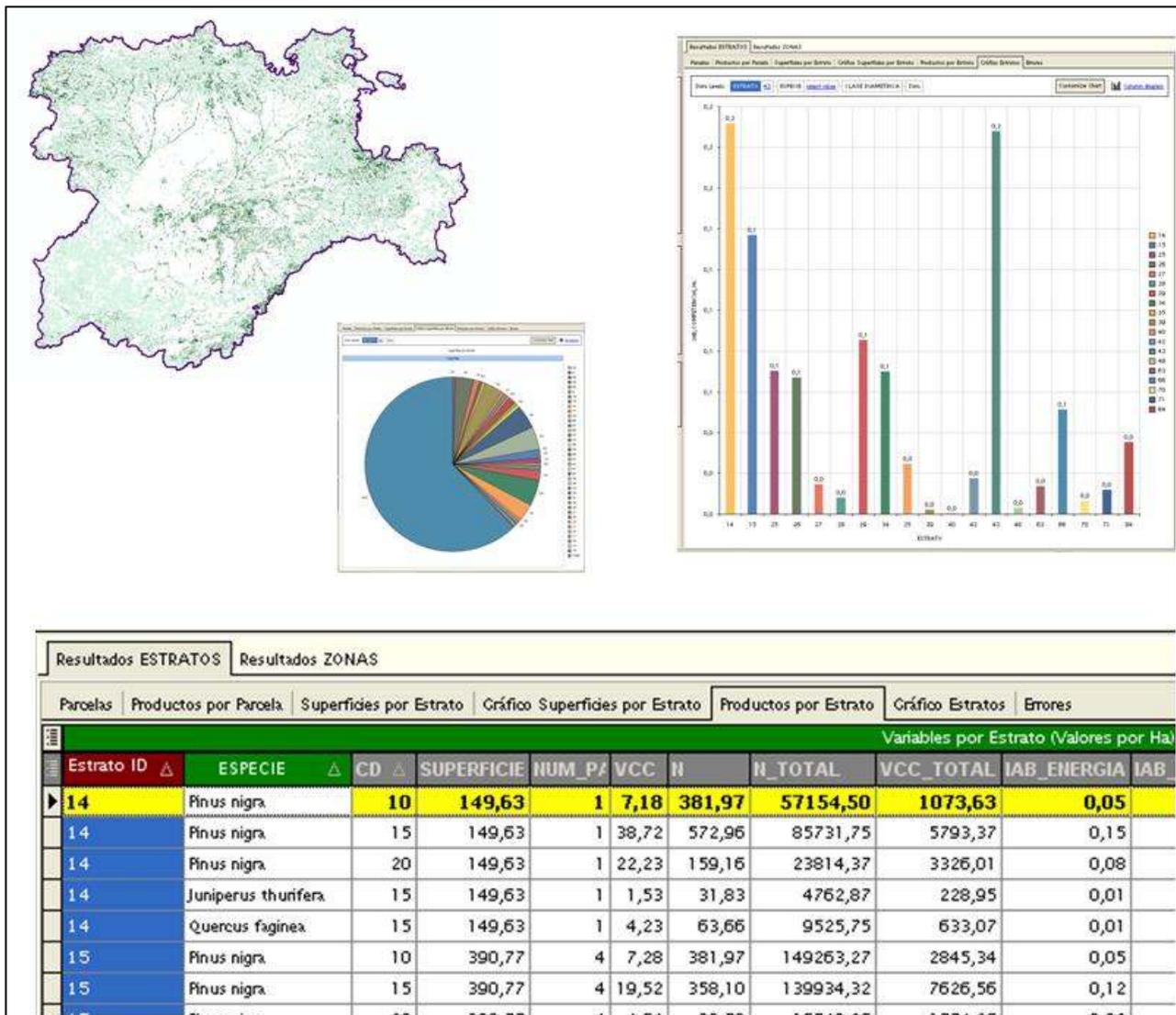


Figura 13. Resultados que se obtienen con f-Evaluación de Recursos.

Fuente: INCA/CESEFOR

Para la elaboración de los análisis posteriores, los mapas creados con f-Evaluación de Recursos se transformaron en mapas *raster* donde cada celda, de superficie una hectárea, tiene el valor de productividad, definido en toneladas de materia seca por año y expresado para cada una de los diferentes productos.

Sumando o restando estos mapas se obtienen las distintas ofertas de biomasa que se explican más adelante así como los balances. El primer resultado se muestra en la Figura 14. Se muestra la productividad forestal de la biomasa con potencial energético, que constituye la oferta directa en terreno forestal. Como en todo el trabajo, el resultado es materia seca o anhidra (ms).

Como se puede apreciar el potencial productivo de las diferentes comarcas de Castilla y León queda perfectamente delimitado. Además ya se identifican áreas prioritarias en el diseño de estrategias de promoción de iniciativas bioenergéticas. Hay que destacar que, la distribución de las zonas con mayor productividad forestal suele ajustarse al esquema topográfico que define Castilla y León. Una llanura interior rodeada de macizos montañosos, que funcionan como parapetos y retiene la mayor parte de las precipitaciones.

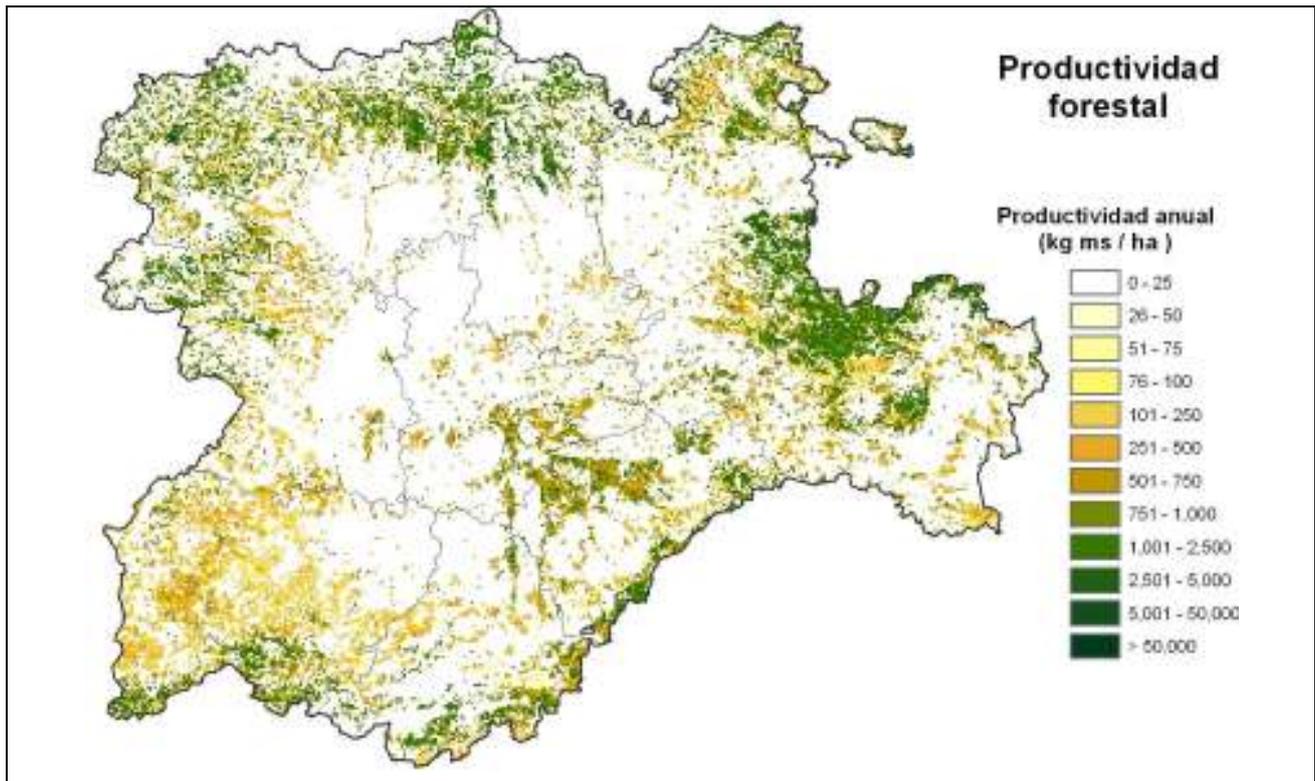


Figura 14. Oferta directa media anual sobre terreno forestal.

Fuente: Propia

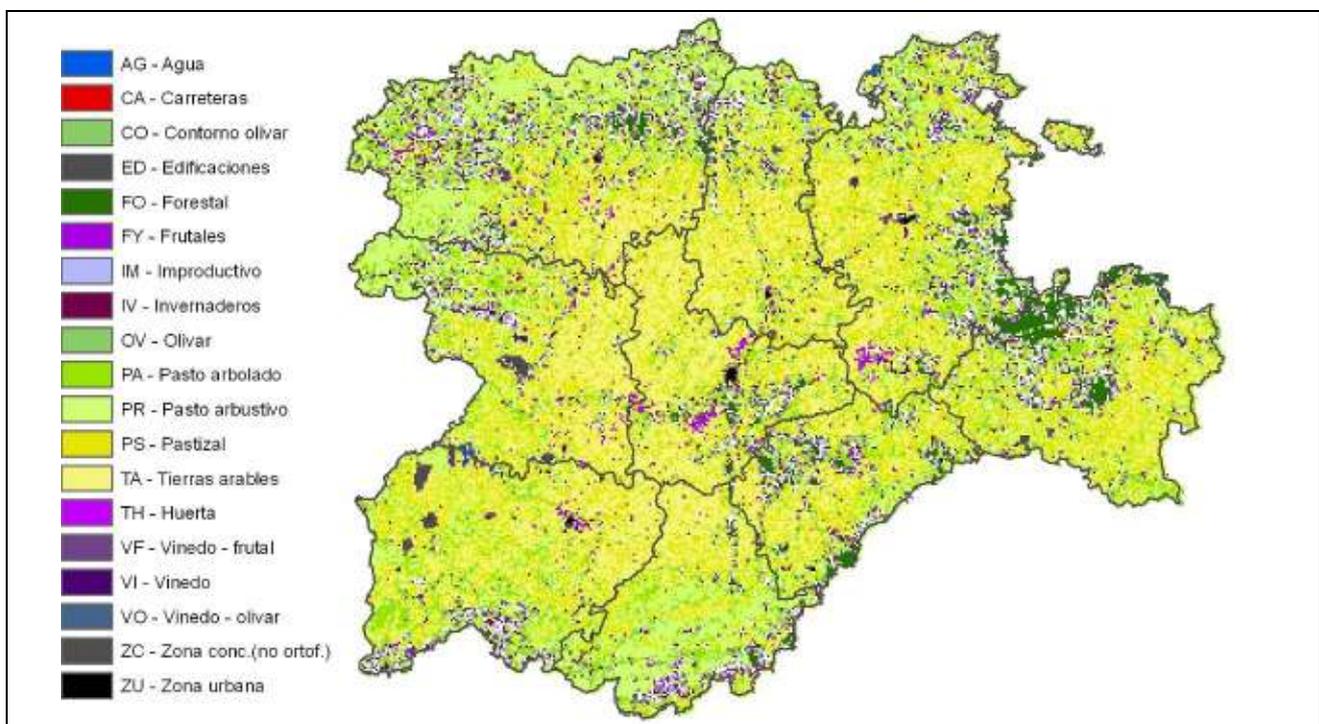


Figura 15. Mapa del SIGPAC., usado como referencia para la distribución espacial de las existencias y productividad anual de biomasa leñosa en zonas no forestales.

Fuente: MARM

4.1.2. Oferta directa sobre terreno no forestal

La superficie declarada como no forestal por el Mapa Forestal Español, que está reflejada en el mapa de la Figura 15 presenta una oferta leñosa no despreciable, tanto de subproductos de cultivos leñosos como de productos y subproductos de especies forestales intercaladas entre los cultivos.

La oferta potencial de árboles fuera de bosque y en tierras de cultivo se estimó usando como base el SIGPAC que ofrece una clasificación no muy detallada pero gran resolución espacial. El método de cálculo es similar al terreno forestal: formación de estratos, cálculo de valores medios, obtención de la productividad. Para la formación de los estratos, se usaron los tipos de usos del suelo del SIGPAC que se muestran en el mapa de la Figura 15 y que aparecen en la lista de la Tabla 4. La presencia de un estrato denominado Forestal es debida a la no concordancia entre el Mapa Forestal y SIGPAC de las superficies forestal y no forestal.

Tabla 4. Estimaciones de productividad de biomasa leñosa para usos de suelo no cubiertos por el mapa forestal.

Clase	Mín	Med	Máx	Referencias
Agua		0		
Carreteras		0		
Contorno olivar	1,5	2,25	3	Ninguna referencia en CyL. Ref. APAT 30/2003, Italia
Edificaciones		0		
Forestal		0,242		Valor medio de $f\text{-ER}$ para el tipo de estructura "bosque adehesado"
FS				Código sin explicación. Al estar situado en áreas agrícolas, se le asigna el mismo valor que a "tierras arables".
Frutales		0,4		La referencia de ITACYL indica 0,4 t /ha y año procedente de podas (valor aparentemente muy bajo, APAT, en Italia, indica 3 t /ha y año).
Improductivos		0		
IS				Código sin explicación. Al estar situado en áreas agrícolas, se le asigna el mismo valor que a "tierras arables".
Invernaderos		0		
Olivar	1,5	2,25	3	Ninguna referencia en CyL. Ref. APAT 30/2003, Italia
Pasto con arbolado		0,216		Valor medio de $f\text{-ER}$ para el tipo de estructura "cultivo arbolado"
Pasto arbustivo		0,19		Valor medio de $f\text{-ER}$ para el tipo de estructura "herbaza"
Pastizal		0,061		Valor medio de $f\text{-ER}$ para el tipo de estructura "prado"
Tierras arables		0,08		Ninguna referencia en CyL. $f\text{-ER}$ ofrece una media de 0,163 t para "agrícola" y "prados artificiales" pero no es representativo. Valor provisional: 0,08 t/ ha año
Huerta		0,4		Mismo valor que para "Frutales"
Viñedo – frutal		2,13		Valor medio de "Frutales" y "Viñedo"
Viñedo		3,86		La referencia de ITACYL indica 3,6 t /ha de poda más 7,8 t cada 30 años (rotación)
Viñedo – olivar		3,06		Valor medio de "Olivar" y "Viñedo"
Zona concentrada	0,06	0,08	0,09	Ninguna referencia en CyL. Provisional (WISDOM Italia)
Zona urbana	0,06	0,08	0,09	Ninguna referencia en CyL. Provisional (WISDOM Italia)

En Referencias se explica el método utilizado para asignar el valor medio al estrato.

Fuente: CESEFOR

Para los cultivos agrícolas leñosos no existe inventario de árboles que nos permita calcular la productividad en terreno no forestal, pero a cambio la producción de biomasa leñosa es mucho más homogénea, por lo que se puede acudir a valores medios estadísticos. Se ha contado con la colaboración del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL) para obtener datos precisos de productividad de biomasa leñosa de los cultivos agrícolas. Para los casos en que no se encontró referencia, se asignó un valor provisional procedente de valores usados en el estudio de WISDOM Italia para condiciones similares.

Para obtener una estimación precisa de la contribución actual y potencial de cultivos agrícolas a la bioenergía, se requieren estudios específicos que no pueden llevarse a cabo dentro de los plazos de tiempo del proyecto WISDOM CyL. Sin embargo, es probable que dichos estudios se lleven a cabo a medio plazo dentro del Plan de la Bioenergía de Castilla y León. Cuando esta información esté disponible, puede ser usada para actualizar y mejorar la *geodatabase* de WISDOM CyL.

El resultado obtenido ha sido un mapa *raster*, tamaño de píxel una hectárea, con los valores de productividad de biomasa leñosa, que configura la oferta directa sobre terreno no forestal de la biomasa con potencial energético. La información se muestra en la Figura 16.

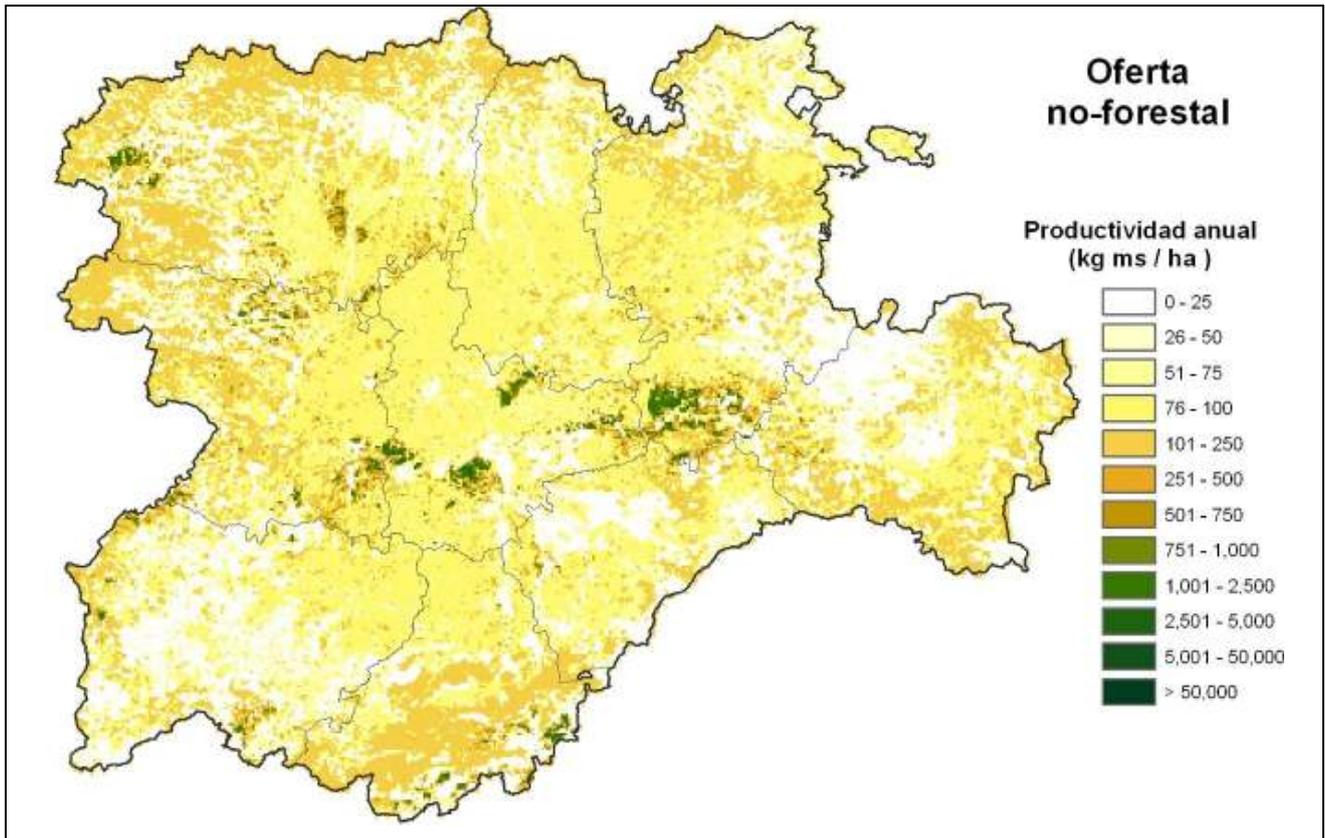


Figura 16. Oferta directa media anual sobre terreno no forestal.

Fuente: Propia

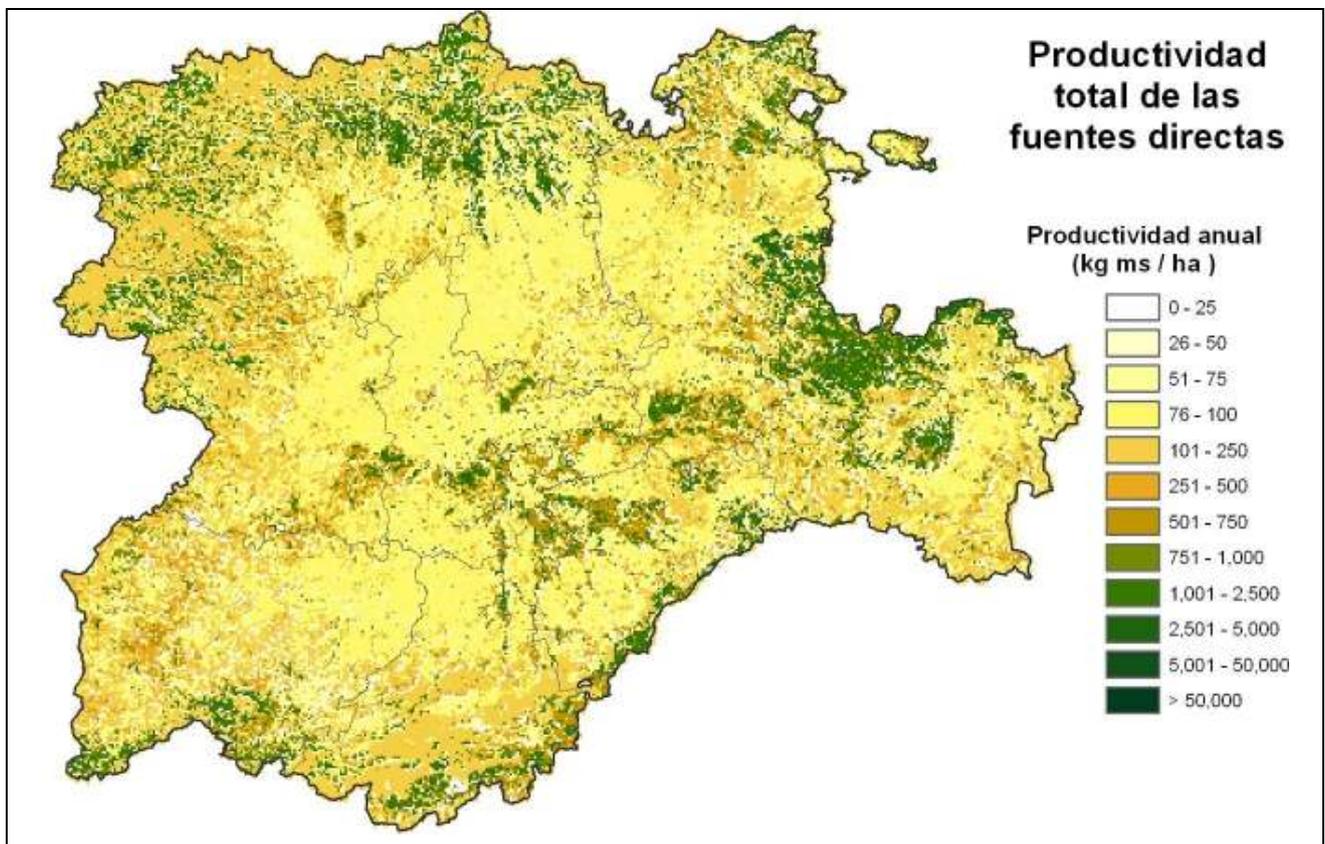


Figura 17. Oferta directa total, media anual, de biomasa leñosa con potencial energético.

Fuente: Propia

4.1.3. Oferta directa total

Sumando la información de ambos mapas, Figura 14 y Figura 16, se obtiene la oferta bruta total de biomasa leñosa con potencial energético estimada para Castilla y León, en la Figura 17.

4.1.4. Accesibilidad. Corrección a la oferta directa

El análisis de la accesibilidad, que sintetiza la probabilidad de acceso al aprovechamiento de los productos forestales, es imprescindible. Hasta ahora se ha considerado la producción de las masas forestales, sin considerar restricciones a su aprovechamiento. Para iniciar un análisis realista de la oferta es necesario introducir las limitaciones que existen para aprovechar los bosques. Los cálculos se han realizado sobre la oferta total, aunque la oferta no forestal no se ha visto modificada. La evaluación de la accesibilidad, el primer paso, presenta dos componentes: física y legal.

La accesibilidad física recoge el efecto que la pendiente del terreno y la existencia de vías de acceso tienen sobre la posibilidad de aprovechamiento de una masa forestal. Cuanto mayor es la pendiente menos rentable es su aprovechamiento, y más improbable en un escenario de exceso de oferta, hasta ser inviable por encima de una pendiente. Al mismo tiempo, la falta de acceso viario encarece las operaciones, al obligar a construir los accesos al adjudicatario y disminuye la probabilidad de ser aprovechado el monte. Del mismo modo, a partir de una distancia, se hace inviable el aprovechamiento. La accesibilidad dependiente de la distancia puede ser modificada por la actuación de la Administración, y por tanto debe ser revisada para nuevos estudios. La influencia de la pendiente no es esperable que se vea modificada.

La accesibilidad legal evalúa la reducción de aprovechamientos que se puede producir por la protección de diversas áreas para la conservación de sus valores naturales.

El conjunto de los dos factores evalúa la fracción de la oferta disponible, calculada en función de la probabilidad de ser aprovechados. El resultado es la oferta accesible, obtenida tras aplicar un porcentaje a la oferta total, porcentaje directamente proporcional a la probabilidad de aprovechamiento.

4.1.4.1. Accesibilidad física

Para la definición de la accesibilidad física se han considerado dos componentes: (i) pendiente y (ii) distancia a las vías de transporte y a los núcleos urbanos. El mapa de pendientes se creó a partir del Modelo Digital del Territorio-MDT (píxel de 25 m) y el mapa final de accesibilidad se basa en un análisis *cost distance* que combina pendiente (coste), red de vías de transporte y distancia a núcleos urbanos (a menor distancia mayor probabilidad de acceso), con una resolución de 100 m por píxel.

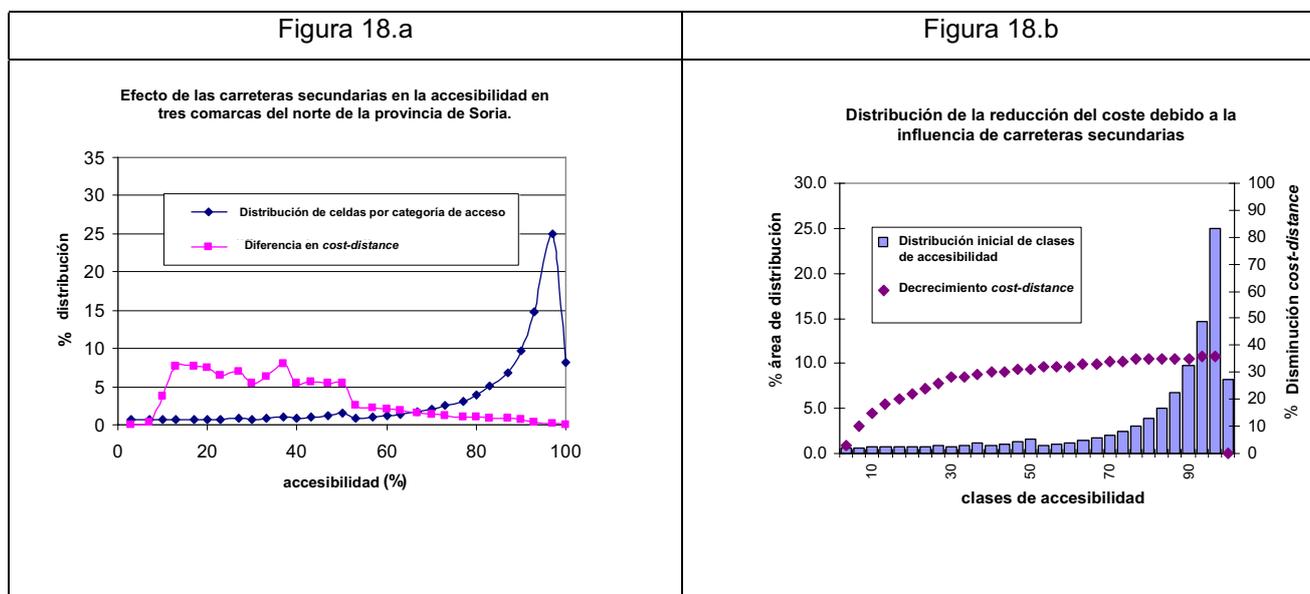


Figura 18. Distribución de las clases de accesibilidad y de los valores reducidos de "cost distance" efecto de vías no cartografiadas.

(18a) Reducción real causada por las vías secundarias en las tres comarcas montañosas del norte de Soria.

(18b) Reducción asumida del "cost distance" en Castilla y León.

Fuente: Propia

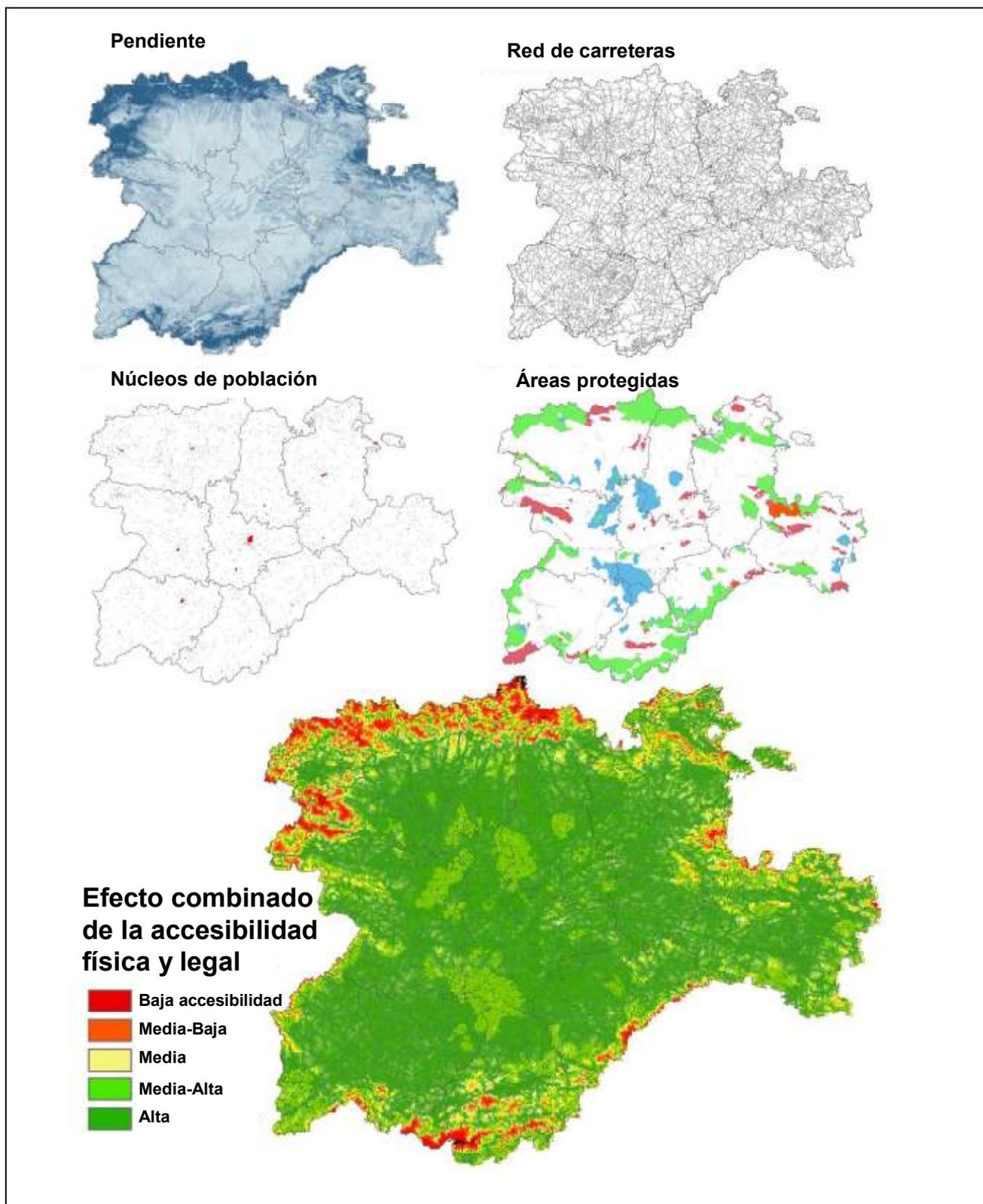


Figura 19. Análisis de la accesibilidad física y legal. Principales elementos analíticos y resultado final.

Fuente: Propia

El mapa disponible de carreteras incluía todas las carreteras asfaltadas y las vías forestales principales, pero no las secundarias, que son también aptas para vehículos. Para considerar la contribución a la accesibilidad de estas pistas no presentes en los mapas, se ha realizado un análisis en tres comarcas del norte de la provincia de Soria en las que está disponible el mapa de la red viaria total. En estas áreas se

calculó la contribución de las vías secundarias con el algoritmo del *cost distance*. El resultado fue una reducción del coste total de aproximadamente el 25 por ciento en el conjunto de las tres comarcas. Se ha aplicado, por tanto, una reducción general del 25 por ciento al *cost distance* en toda la superficie de Castilla y León, pero no homogéneamente, para tener en cuenta la diferente probabilidad de que una vía secundaria mejore la accesibilidad. Los píxeles con un valor muy alto de *cost distance* tienen poca probabilidad de mejorar su acceso con la red de pistas secundarias. La distribución de la reducción del *cost distance* se realizó como se muestra en la Figura 18b, de acuerdo al efecto real sobre cada intervalo de las pistas adicionales en las tres comarcas montañosas analizadas (Figura 18a).

La pendiente se usó, además de para estimar la accesibilidad a través del *cost distance*, para establecer las zonas no aptas para el aprovechamiento forestal, aunque dispusieran de vías de acceso. Se aplicó un umbral del 40 por ciento, debido a la dificultad para realizar aprovechamientos mecanizados por encima de dicha pendiente. Se asignó un valor de 0 para todos los productos en las zonas con pendiente superior al umbral.

4.1.4.2. Accesibilidad legal

Con respecto a la accesibilidad legal, los valores a aplicar deberían referirse a las limitaciones en el uso de recursos efectivamente determinadas por los documentos de regulación de las Áreas Protegidas y sus restricciones específicas. Sin embargo, las limitaciones de uso nunca son homogéneas sobre el total de la categoría protegida, imponiendo sólo limitaciones muy localizadas y a menudo relacionadas con procesos estacionales. Por lo tanto, considerando que la productividad asumida está dentro de niveles sostenibles y en ausencia de factores limitantes explícitos, se asume una limitación general del 25 por ciento que se ha aplicado en todas las áreas protegidas. En la práctica esta consideración es una buena aproximación aunque ligeramente conservadora, más aun si tenemos en cuenta que el impacto de la accesibilidad legal es menor del esperado debido a que muchas de las zonas protegidas son de accesibilidad física reducida. Es decir, las zonas protegidas, en muchos casos, tienen una reducida aportación real debido a las dificultades de acceso, que ya han sido consideradas en la reducción de la oferta al aplicar. Por tanto la determinación precisa de la reducción por protección no es muy relevante, ya que se aplica sobre una oferta ya reducida.

La Figura 19 muestra los principales elementos temáticos considerados en el análisis de accesibilidad así como el resultado final, el mapa de accesibilidad de Castilla y León.

4.1.5. Oferta indirecta

En este apartado de la oferta se recoge la oferta leñosa que no se deriva de una producción primaria sino fruto de una actividad industrial, y es por tanto una oferta indirecta, relativamente desvinculada de la producción forestal. Esta oferta se genera en la transformación del resto de productos de madera no considerados hasta ahora, como madera de sierra, en la fabricación de productos de madera, como puertas o muebles, y procedente de la actividad de recuperación de productos de madera. Las dos fuentes más importantes son la primera transformación de la madera, relativamente relacionada con la oferta directa forestal, y la recuperación de madera, completamente desvinculada de cualquier variable forestal.

Esta aportación son productos (astillas provenientes de molinos de trituración de madera) y subproductos (serrín, astillas y recortes) de la industria, siempre accesibles, y en general muy solicitados por varias industrias y empresas de servicios, y productos de la recuperación, que debido a su bajo coste están accesibles en cualquier punto de la comunidad y con escasa competencia.

Toda la oferta indirecta se considera accesible.

4.1.5.1. Oferta indirecta de las industrias forestales

Este apartado, conceptualmente, incluye todos los productos y subproductos de las industrias forestales. Sin embargo parte de los subproductos son consumidos por la propia industria para la producción de energía, que deberían ser considerados tanto en esta oferta como en la demanda. Debido a la dificultad de estimar este dato se ha trabajado con oferta neta, la biomasa que las industrias ofrecen al mercado una vez descontada la biomasa leñosa auto consumida; del mismo modo no está contabilizada en la demanda, por lo que a efectos prácticos de balance el resultado es adecuado, aunque se enmascare una demanda interna.

Otra componente de la oferta indirecta que puede resultar confusa es la oferta de productos procesados por molinos para madera, principalmente astilla. La materia prima en estas industrias son las leñas recogidas en el monte y los subproductos de aserrío, costeros esencialmente. Puesto que ambos productos, leñas y subproductos de aserrío, están contabilizados en oferta directa e indirecta respectivamente, y es difícil contabilizar la parte que se dirige a los molinos de desintegración, no se ha desglosado esta parte de la

oferta para evitar duplicar datos. Un parte de la oferta indirecta queda pues enmascarada en oferta directa.

La estimación de la oferta de las industrias forestales se realizó a partir de cuatro fuentes: el Instituto Nacional de Estadística, información recogida por CESEFOR en industrias de primera transformación, encuestas en empresas de segunda transformación y el estudio desarrollado en el norte de Italia (APAT 2003) que propone una relación entre el número de empleados y los subproductos generados.

El Instituto Nacional de Estadística ofrece la información de las empresas, clasificadas por código CNAE, situadas en cada municipio, con el número de empleados. El resto de fuentes se usaron para obtener la relación entre el número de empleados y los subproductos de una industria forestal. Se ha calculado de forma independiente la relación subproducto por empleado en empresas de primera y segunda transformación, ya que los valores son muy diferentes en ambos casos, y la proporción entre ambos tipos de industria condiciona más el resultado que la producción de cada instalación. Para la primera transformación se emplearon datos de Castilla y León, mientras que para la segunda transformación se emplearon datos de Italia corregidos por los datos de Castilla y León.

El procedimiento presenta el problema de la posible falta de actualización del dato del número de empleados, pero es necesario tener en cuenta esta oferta indirecta, y en el futuro se puede ir a fuentes más directas, o incluso acceder al consumo de materia prima que puede tener una relación más directa. Sin embargo, para las industrias de primera transformación, las que aportan la mayor parte de esta oferta (el 70% a escala regional, aunque en provincias como Valladolid la situación es inversa) los datos presentan una dispersión razonable y se comprobó el resultado mediante el cálculo del rendimiento (cociente entre subproductos y materia prima).

La oferta indirecta está agregada por municipios; se ha distribuido espacialmente dentro del territorio ocupado por los cascos urbanos del municipio, asumiendo que las industrias de este tipo están localizadas alrededor de ciudades y pueblos en proporción a su tamaño.

4.1.5.2. Oferta indirecta de recuperación

El producto de recuperación de madera puede ser una parte de la oferta indirecta muy importante puesto. Aunque la oferta potencial es elevada, existe gran cantidad de residuo de madera, la oferta real, producto de la recuperación y selección, es mucho menor. Puesto que ya hay parte del residuo recuperado y seleccionado que no es usado por ninguna industria, no hay aliciente para aumentar la tasa de recuperación. La aparición de industrias de producción de energía con biomasa leñosa que demanden este producto, con un precio específico bajo que lo hace atractivo, provocaría un importante incremento de la oferta, con efecto prácticamente inmediato.

En España, según datos publicados por FEDEMCO, Federación Española del Envase de Madera y sus Componentes, sobre residuos de envases y embalajes de madera, quedaron sin valorización efectiva casi 850 000 t de materia seca (ms) en 2007. Se utilizaron en la industria aproximadamente 630 000 t ms, el 90 por ciento en la industria del tablero y el resto entre uso energético y camas de ganado. Para uso energético se estima que sólo se emplearon 50 000 t ms, dato que contrasta con los más de 3 millones de t ms usadas en Alemania, país en el que el uso energético supera al de tableros para el recuperado de madera, de acuerdo con FEDEMCO.

La recuperación y valorización se produce en general en las zonas con mayor actividad económica, pero el transporte no suele ser un problema dado el bajo precio de este producto por kWh. Por tanto, aunque la oferta de recuperado no está situada geográficamente en el presente estudio, se puede considerar efectiva en cualquier punto de Castilla y León.

La industria del tablero es en la actualidad el principal y casi único consumidor de recuperado de madera. Aproximadamente el 20 por ciento del consumo de productos de madera en la industria de tableros en España es madera recuperada. Este porcentaje se mantiene en Castilla y León, con un consumo de más de 150 000 t ms en 2008, el 90 por ciento de ellas importadas de fuera de la Comunidad.

Una cantidad similar, 150 000 t ms podría ser usada fácilmente por nuevas plantas de producción de energía a partir de biomasa leñosa comprando en el mercado nacional. Este dato es, considerando únicamente la recuperación de envases y embalajes de madera; existe además una enorme cantidad de residuos de madera procedentes de muebles o demoliciones, por ejemplo. Puesto que las exigencias de la industria de producción energética sobre la materia prima son mucho menores que en el caso de tableros, tendría acceso a una gran cantidad de recuperado de madera sin entrar en competencia real con la industria del tablero, y a un precio muy accesible.

En conclusión, existe una importante bolsa de oferta, no contemplada en el presente análisis, pero que está disponible para la producción de energía. Esta oferta no está sujeta a competencia real, es por tanto un dato interesante que debe ser tenido en cuenta en el análisis regional.

4.1.6. Oferta total

La suma de la oferta indirecta y la oferta directa constituye la oferta total. Esta oferta total, reflejada en el mapa de la Figura 20, recoge toda la oferta accesible que ha sido geo-referenciada. No está incluida la oferta indirecta de recuperación puesto que aunque es accesible a cualquier instalación de producción de energía no es posible asignarle una posición geográfica en Castilla y León; esta oferta sólo es considerada en el análisis global. Hay que reseñar que la oferta indirecta no tiene un reflejo significativo en los mapas a pesar de ser una fuente importante, debido a que está concentrada en puntos y no en superficies.

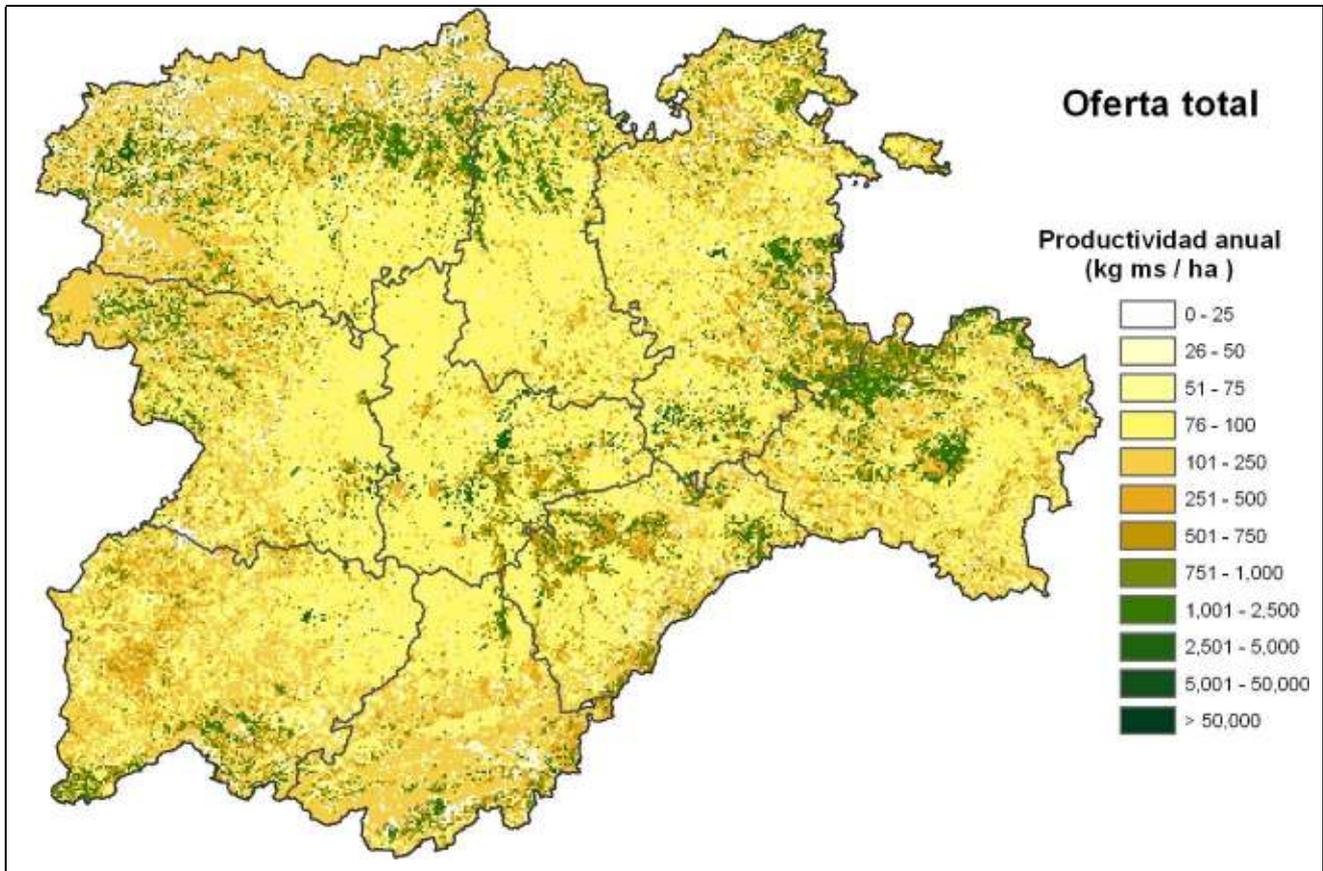


Figura 20. Oferta total de biomasa leñosa con potencial energético, media anual, precedente de fuentes directas accesibles y de fuentes indirectas.

Fuente: Propia

4.1.7. Corrección comercial a la oferta total. Oferta comercial

La oferta total tiene en cuenta la accesibilidad al recurso y por tanto están eliminadas o reducidas zonas que presentan una baja probabilidad de ser aprovechadas. Pero existen otras zonas que aun cuando son accesibles no es probable que se aprovechen debido a la escasa producción por unidad de superficie. Esta baja concentración de producto encarece los costes de recogida hasta hacer el aprovechamiento inviable si la concentración es muy baja.

En este apartado se realiza la corrección de la oferta total considerando este factor en toda la superficie. Esta corrección tiende a subestimar la oferta real ya que al trabajar con valores medios por estrato se eliminan superficies enteras en las que una parte es comercialmente aprovechable. Particularmente remarcable es el caso de la oferta sobre terreno no forestal. Sin embargo esta desviación no es importante en la práctica, aun cuando la cifra para el conjunto de Castilla y León no sea despreciable, ya que al ser aprovechamientos muy dispersos no tienen una influencia real sobre ninguna instalación concreta.

En el caso de la oferta indirecta no se ha realizado corrección, aunque hay instalaciones industriales que no generan suficientes subproductos como para que sea rentable su recogida. Sin embargo son casos aislados ya que la mayoría de las veces se almacena el subproducto en silos esperando la recogida y suministrando por viaje, aunque espaciados en el tiempo, suficiente cantidad para rentabilizarlo.

4.1.7.1. Umbral de viabilidad económica

La fracción de recurso total accesible cuya extracción es económicamente viable es difícil de evaluar con precisión ya que los factores que influyen en ella son numerosos y a menudo complicados de predecir como son las variaciones de costes y precios. Por ejemplo, los costes de recogida y transformación están fundamentalmente influenciados por las fluctuaciones del precio internacional del petróleo, mientras que el precio de la biomasa leñosa para uso energético varía también con el precio del petróleo pero también con las políticas energéticas y la coyuntura económica. De cualquier manera, es importante intentar una distinción de primer nivel entre fuentes de biomasa viables y no viables porque sería un error considerar la el total de la oferta potencial como totalmente disponible y económicamente accesible.

Diversas consultas con empresas dedicadas a la extracción de biomasa leñosa para energía y otras consultas locales, indicaron que un valor de 25 t verdes de biomasa por hectárea, recogidas en el momento del aprovechamiento puede ser considerado como el umbral entre fuentes de ofertas económicamente viables y no viables. Tras aplicar una corrección por pérdida de biomasa durante la recogida y la corrección para reducir el efecto de la minusvaloración de la densidad de producto forestal explicada anteriormente, se ha aplicado una cifra de 10 t ms por hectárea como umbral de viabilidad.

4.1.7.2. Oferta comercial

Para aplicar el umbral de viabilidad económica se ha calculado la productividad media acumulada estimada a partir de la productividad media anual y el periodo de rotación, tiempo que transcurre entre dos aprovechamientos consecutivos en una misma superficie. Mediante $f\text{-ER}$ se asignaron periodos de rotación a cada estrato forestal y se ha calculado la productividad acumulada entre aprovechamientos, comparándola con el umbral de viabilidad. Se eliminó la producción que no alcanzaba el umbral. Los periodos de rotación para cada estrato están listados en el Apéndice 10 y cartografiados en la Figura 21.

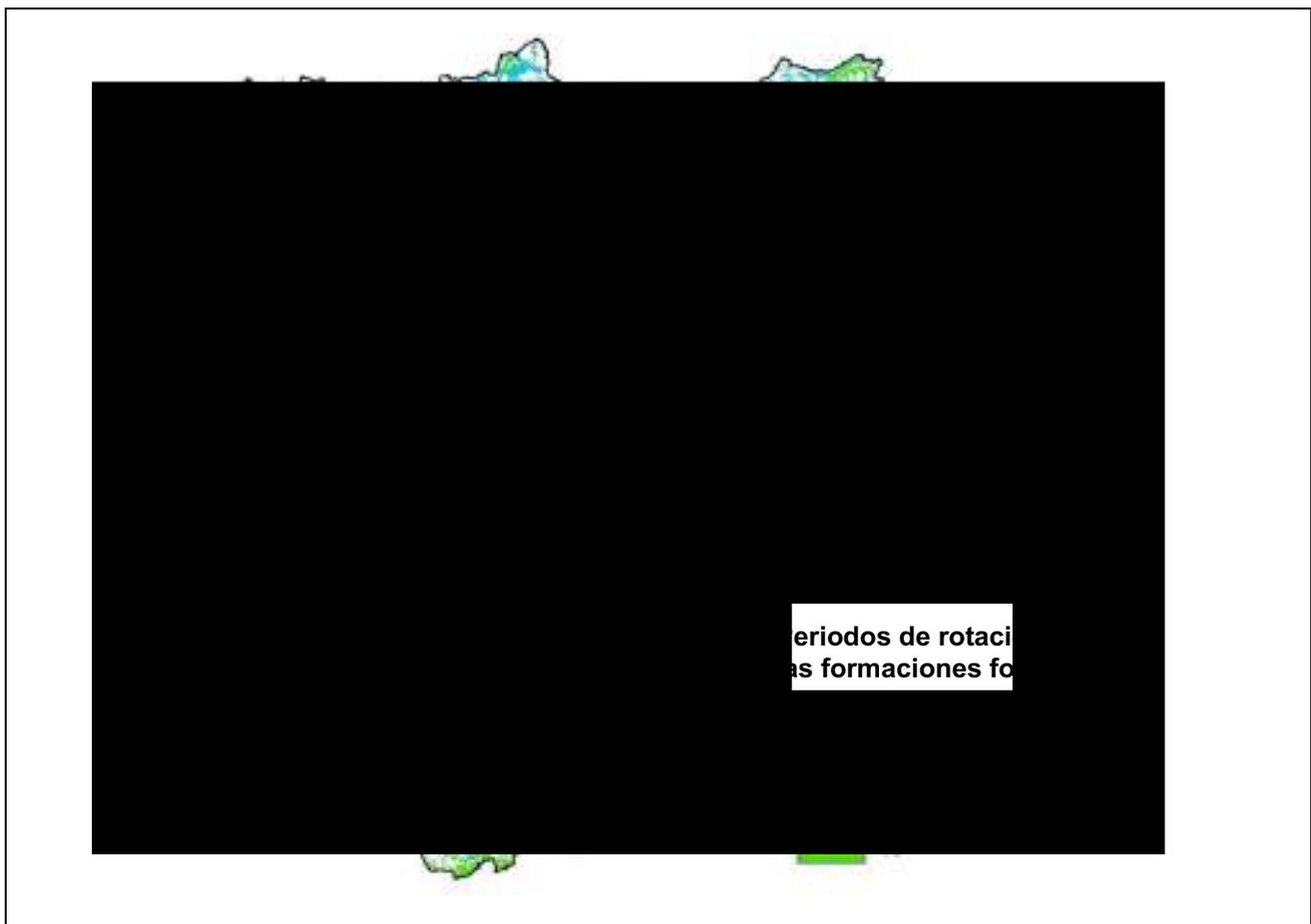


Figura 21. Periodos de Rotación aplicados a las formaciones forestales de Castilla y León.

Fuente: Propia

Se ha realizado un proceso similar a las áreas no forestales. En este caso, se ha considerado oferta comercial, la producida en cultivos donde la extracción de biomasa leñosa es sistemática, independientemente de la cantidad producida y del posible uso. Es decir, la oferta en aquellos cultivos en lo

que es necesaria la recogida y extracción, o eliminación, de subproductos leñosos, cualquiera que sea el coste. Los usos incluidos son viñedos, huertos frutales, olivares y áreas urbanas. El resto de oferta se ha considerado no comercial.

La oferta comercial es la suma de las ofertas comerciales sobre terreno forestal y sobre terreno no forestal, además de toda la oferta indirecta sin ninguna corrección. El mapa de oferta comercial se muestra en la Figura 22.

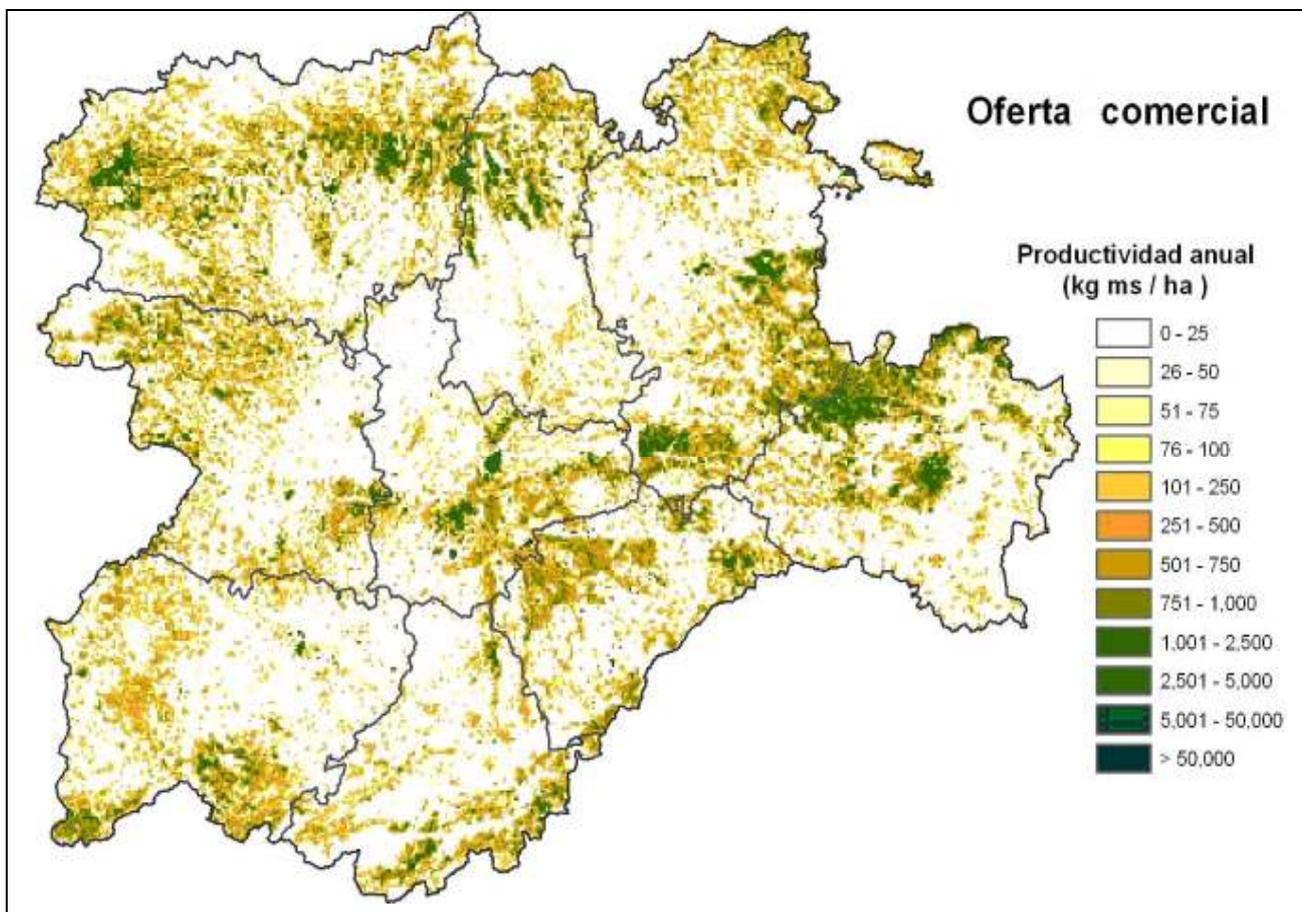


Figura 22. Oferta total de biomasa comercial leñosa accesible para la producción de energía.

Fuente: Propia

4.1.8. Análisis de la competencia entre mercados

Para realizar el balance entre oferta y demanda de biomasa leñosa accesible al mercado energético, conviene evaluar cual es la competencia por la materia prima. La competencia es una nueva barrera para el acceso a la oferta. La competencia existente sobre el recurso modifica la cantidad de materia prima efectivamente accesible para uso energético. Es una consideración compleja, puesto que se trata de mercados con funcionamiento complejo, ciclos independientes y precios distintos. Éstos, se construyen con factores completamente diferentes e incluso con efecto opuesto (por ejemplo el precio del petróleo influye con signo opuesto en el precio que se puede pagar para energía y para tableros). Describir a grandes trazos el escenario de competencia, puede ayudar a clarificar el acceso a la oferta.

En un escenario con demanda baja respecto a la oferta, donde la materia prima está sujeta a fuerte competencia con otras industrias, una parte importante de la oferta puede ser considerada no disponible, con un futuro de inestabilidad donde interviene también las variaciones de los mercados competidores. Por otra parte, conviene saber la influencia que el aprovechamiento energético pueda tener sobre otras industrias ya instaladas en la región, y si puede crear inestabilidades graves. La cuantificación de la competencia, determinar que tipo de escenario existe en Castilla y León, puede permitir aliviar algunas tensiones que se producen en ocasiones entre industrias. En este capítulo se ofrece una visión general de la competencia actual que clarifique el tipo de escenario en que nos encontramos y los posibles problemas que pueden surgir.

4.1.8.1. Caracterización de la oferta forestal directa en función del mercado de destino

La industria del tablero, y particularmente del tablero de fibras, representa el principal competidor de la dendroenergía en lo que se refiere a oferta forestal directa y oferta indirecta, ya que no hay industria papelera en Castilla y León que consuma madera. Esta competición se dramatiza a menudo y, por lo tanto, es importante clarificar los términos reales de tal competición y promover desarrollos en el sector dendroenergético que son respetuosos con otras necesidades no energéticas. Por esto es necesario estimar con la mayor precisión posible la oferta real y sus características en términos de adecuación para usos energéticos y/o de la industria del tablero. No toda la oferta de biomasa para uso energético es apropiada para la industria del tablero. En este apartado nos vamos a centrar en la oferta forestal directa, puesto que la indirecta siempre es adecuada y prioritaria para la industria del tablero, mientras que la oferta directa no forestal es difícilmente apta para dicha industria.

La biomasa leñosa que se produce en los bosques de Castilla y León y que constituye la oferta accesible y comercial se ha desagregado en consideración a su adecuación como materia prima para la industria del tablero. La adecuación se ha determinado de acuerdo con la especie y el producto.

Las especies se han agrupado en tres categorías, denominadas con numeración arábiga;

- Clase 1; recoge las especies que tienen aprovechamiento comercial generalizado, como pinos y chopo.
- Clase 2; corresponde a especies con escaso aprovechamiento comercial actual debido fundamentalmente a la ausencia de demanda pero no a las características de la especie o las masas, como la encina, el rebollo o la sabina.
- Clase 3; incluye especies con escaso o muy específico aprovechamiento que se deriva de su valor ambiental, su escasez o su falta de aptitud para la obtención de productos excluido el energético, como las especies que aparecen en riberas, serbales o arces.

Para el producto forestal definido en apartado 4.1.1.2, y que son usados por f-ER, se han establecido también tres clases, denominadas con letras minúsculas;

- Clase a; corresponde a productos que no pueden ser usados por la industria del tablero, ramas y partes del fuste de entre 2 y 5 cm.
- Clase b; incluye productos que aunque técnicamente son aptos para el uso en tableros, producen un rendimiento no excesivamente satisfactorio, y está representado por ramas entre 5 y 7 cm.
- Clase c; contiene el resto de productos que ofrecen buen rendimiento a la industria del tablero, y que corresponde al producto Trituración.

Tabla 5. Clases de la oferta directa forestal adecuada para la industria del tablero.

	Especies industria y tableros (Pinos, chopos, etc.) 1	Especies potenciales para tableros (Quercus sp., Sabinas) 2	Especies no industriales ni tableros 3		
a	a1	a2	a3	No uso para tableros	Crecimiento anual de ramas 2-5 cm*
b	b1	b2	b3	Posible uso para tableros	Crecimiento anual de ramas 5-7 cm**
c	c1	c2	c3	Uso preferido para tableros	Trituración**

	Sólo energía (probabilidad baja)
	Sólo energía (probabilidad alta)
	Interfase energía / tableros
	Prioridad tableros

**Incluye las ramas entre 5 y 7 cm y trituración de *Juniperus thurifera*, así como los árboles cuya conformación no permite un uso industrial

** Excepto de *Juniperus thurifera*. Trituración Incluye los productos de diámetro superior al de trituración pero que provienen de árboles que calidad que no permite otro uso

Fuente: Propia

A partir de las nueve combinaciones de especie y producto que se reflejan en la Tabla 5 y por agrupación de ellas, se han establecido tres clases para la oferta directa forestal.

- **Solo energía;** corresponde a la parte de la oferta solo utilizable para uso energético, y que se ha dividido a su vez en dos subclases en función de la probabilidad de ser aprovechadas; probabilidad alta y probabilidad baja.
- **Interfase energía/tableros;** incluye la fracción que puede ser usada tanto para energía como para tableros, pero que es una prioridad de segundo orden para éstos, debido al menor rendimiento, y que por tanto la energía está en mejor posición para competir.
- **Prioridad tableros;** recoge la parte de la oferta que es de mayor valor para la industria del tablero y en la que la aparición de otros usos más prometedores podría producir variaciones en la industria del tablero.

Las clases así definidas se han usado para elaborar la información que describe el escenario de Castilla y León, y establecer categorías de competencia con la industria del tablero, tal como se expone en el siguiente apartado.

4.1.8.2. Escenarios de oferta de biomasa leñosa para usos energéticos

La estimación de la oferta real atraviesa varias fases de análisis en el cual la capacidad total de las fuentes de oferta se va recortando debido a restricciones de varios tipos. La secuencia del análisis descrito en las secciones anteriores se muestra en la Figura 23.

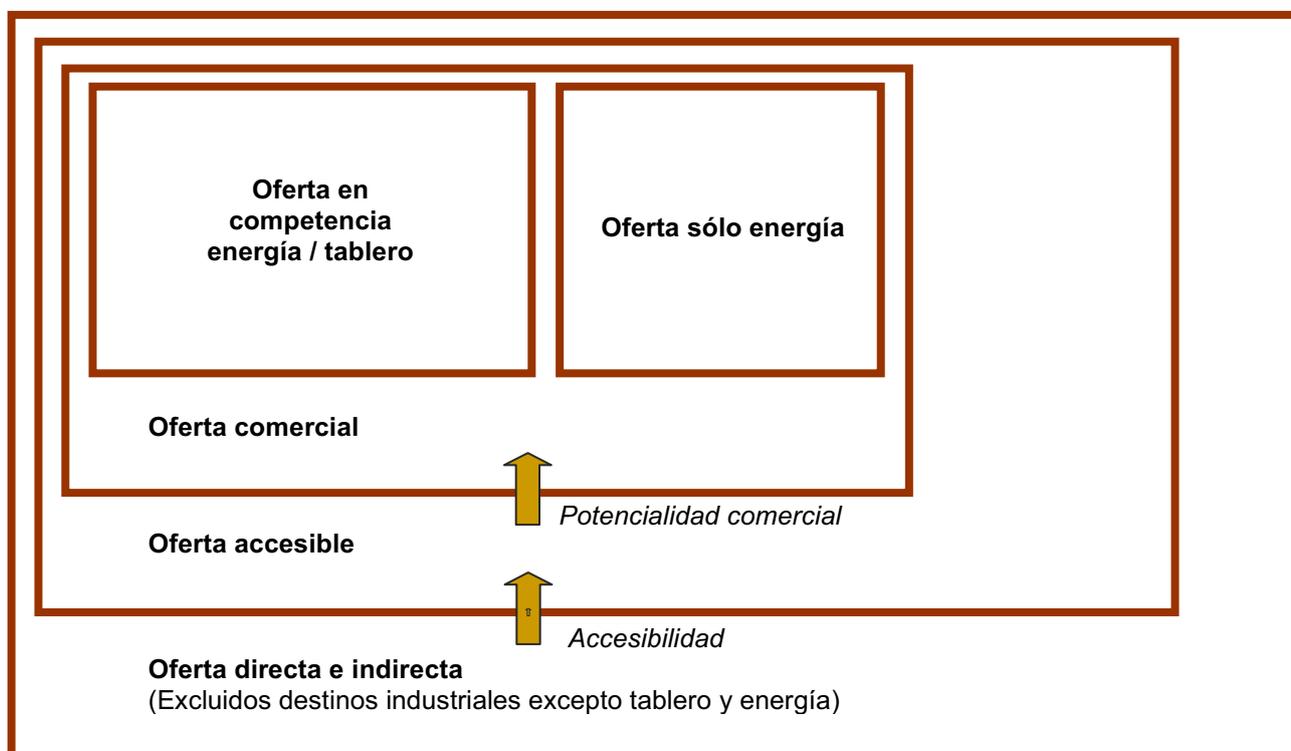


Figura 23. Diagrama de flujo del cálculo de la oferta.

Fuente: Propia

Es interesante conocer la composición de la oferta comercial por las categorías de nivel de competencia con la industria del tablero. Estas categorías, que están representadas en la Figura 24, están formadas por las clases que componen la oferta directa forestal, descritas en el apartado anterior e identificadas en cursiva, y por las ofertas directa no forestal e indirecta. La oferta comercial está compuesta por dos grandes grupos, la oferta que sólo es apta para energía, debido a sus características físicas, y la oferta que es apta para energía y para la industria del tablero, y que por tanto es una oferta en competencia entre ambos mercados.

La oferta sólo apta para energía está constituida por la oferta forestal directa *Sólo energía* descrita en el apartado anterior y la oferta directa no forestal. La oferta en competencia esta formada por *Interfase energía/tableros* de la oferta forestal directa, más la oferta prioritaria para tableros que constituye el objetivo fundamental para esta industria, y que comprende *Prioridad tableros*, de la oferta forestal directa, y la oferta indirecta de las industrias forestales.

La oferta indirecta de recuperación no está incluida en ninguno de los puntos anteriores pero, como se indicó en el apartado 4.1.5.2, tiene una influencia significativa en la industria del tablero y podría tenerla en la oferta para energía.

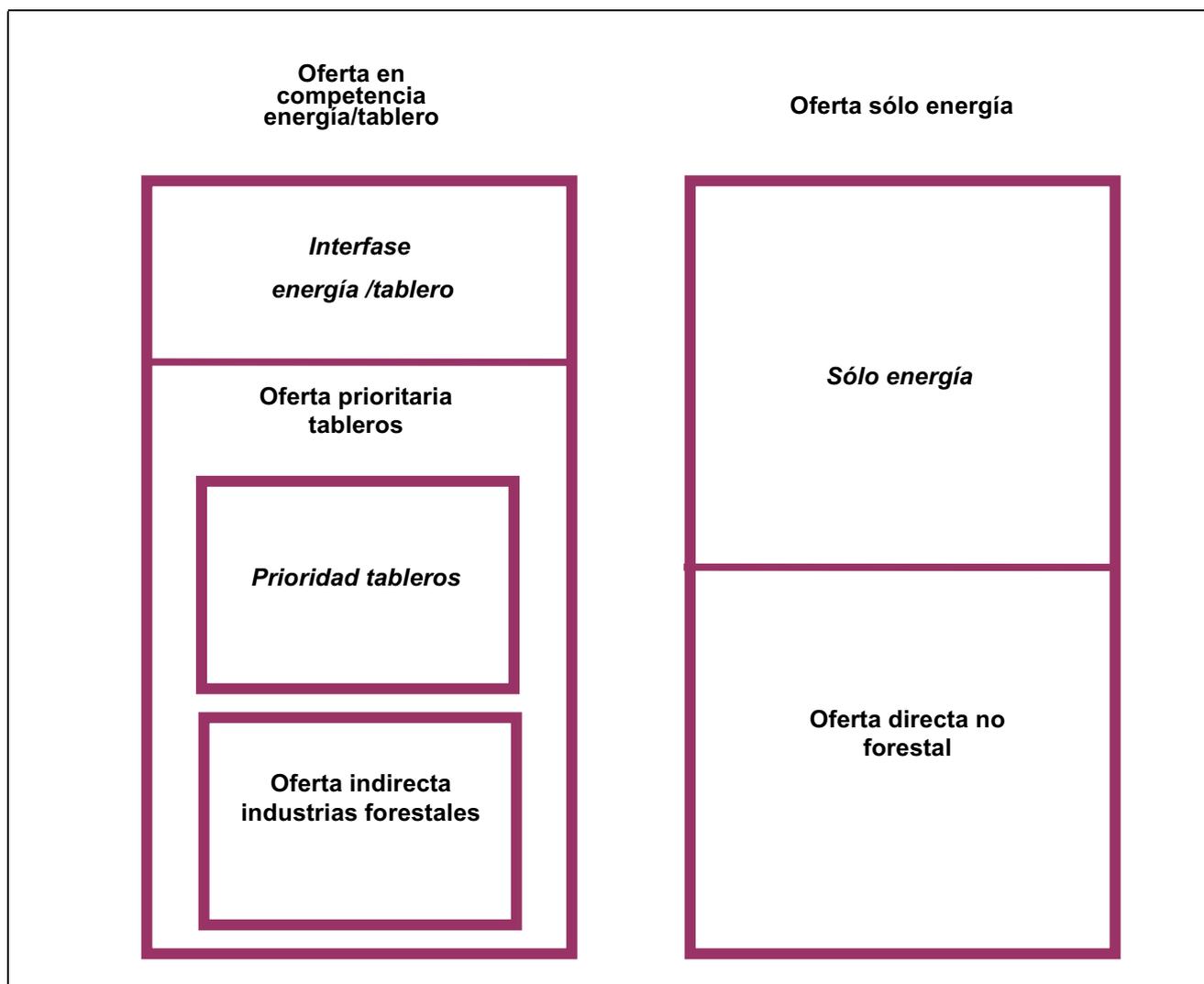


Figura 24. Descomposición de la oferta comercial en categorías de acuerdo a la competencia con la industria del tablero.

Fuente: Propia

Para el análisis del escenario tenemos que considerar la demanda actual de la industria del tablero en Castilla y León, que aparece en la Tabla 6, y que es fruto de las encuestas a los principales actores de la industria del tablero en Castilla y León.

Tabla 6. Consumo de la industria del tablero en Castilla y León en 2008.

(Unidades en t ms)	Madera en rolo	Consumo subproductos industrias forestales	Consumo de recuperación	Total
Castilla y León	240 416	334 500	14 718	589 634
Externo	0	89 646	138 260	227 906
Total	240 416	424 146	152 978	817 540

Fuente: Propia

Del análisis de las Tabla 6 y Figura 24 la primera circunstancia que podemos resaltar es que la industria del tablero consume en la práctica la totalidad de la oferta indirecta de las industrias forestales, poco más de 19 mil toneladas quedan sin aprovechamiento, probablemente de localidades alejadas o de industrias con poca producción de subproductos que no rentabilicen un transporte, y de las ventas para otros usos como camas de ganado. Ésta es, por tanto, una fuente de suministro que no parece accesible al mercado de la energía, ya que incluso hay una parte del suministro que procede de fuera de la Comunidad.

Un incremento en esta oferta presumiblemente sería absorbido por las industrias del tablero, pero el panorama actual es más bien de disminución de la producción de las industrias que de incremento. Sólo podría pensarse en ocupar una parte de esta oferta si la instalación energética se situara en una posición más cercana a las industrias que generan los subproductos; pero analizando la distribución de la oferta de subproductos y la localización de las plantas de tableros (ver Figura 25), no parece fácil que esto pueda suceder. Sólo en el caso de León hay una posibilidad de competir en ventaja en una cantidad importante, pero como veremos más adelante no es necesaria esta competencia.

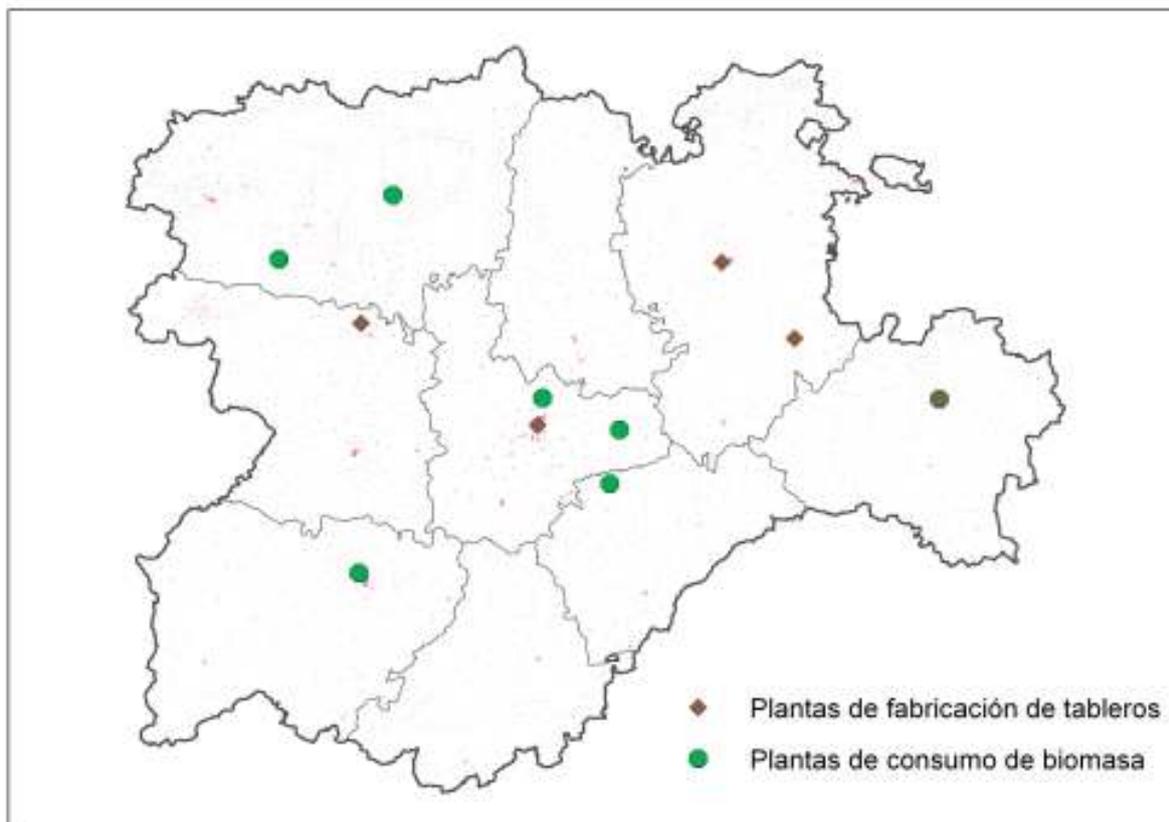


Figura 25. Industrias de tablero y plantas de producción energía con biomasa en Castilla y León.

Fuente: CESEFOR

Si comparamos el consumo de madera en rollo de las industrias del tablero con la parte de la oferta forestal directa *Prioridad tableros* podemos comprobar que existe un exceso en la oferta de más de 200 mil toneladas de materia seca, prácticamente la oferta dobla a la demanda.

Por lo tanto, podemos deducir que la industria del tablero podría abastecerse exclusivamente con estos productos y dejar el resto de productos para el mercado energético, que además dispondría de las mencionadas 200 mil toneladas de productos de mayor dimensión, que probablemente pudiera explotar en aprovechamiento de árbol completo, económicamente más rentable.

Si bien es cierto que la industria del tablero no va dejar de comprar productos en apariencia menos rentables pero que pueden compensar su interés con proximidad a la planta, esto hace suponer que en las zonas más alejadas de las plantas de tableros habrá disponible mayor cantidad de biomasa correspondiente a *Prioridad tableros* y mayor posibilidad del aprovechamiento de árbol completo; el aprovechamiento de árbol completo además permite alcanzar el umbral de comercialidad en una superficie mayor, dado que se podrán compensar la reducción de los costos de extracción con el aumento en los costos del transporte. León, Palencia y Segovia muestran potencial en este aspecto.

La oferta de sólo energía representa una parte muy pequeña y que apenas justificaría la instalación de plantas energéticas de consumo de biomasa, excepto algunas de muy baja potencia, como era de esperar, puesto que es inviable pensar en instalaciones que sólo se suministren con ramas menores de 5 cm y especies no comerciales.

Sin embargo, si consideramos la oferta de madera en rollo en competencia entre energía y tableros (aceptamos la hipótesis de nula disponibilidad de oferta indirecta de industrias forestales), y deducimos el consumo de madera en rollo de las industrias de tableros, queda prácticamente un millón de toneladas de materia seca de madera en rollo sin competencia en Castilla y León, algo menos de un millón y medio si se suma la oferta de sólo energía. El consumo de la industria del tablero es sólo el 20 por ciento de la oferta de madera en rollo susceptible de ser utilizada en tableros, y sólo el 50 por ciento de los productos prioritarios.

Particular interés tiene considerar la parte de la oferta que corresponde con las especies de tipo 2, aquellas con escaso aprovechamiento comercial debido a la ausencia de demanda, y en particular lo productos b2 y c2 de Interfase energía/tablero, es decir, ramas de mayores de 5 cm y madera de trituración.

Esta oferta alcanza la cifra de más de 500 000 (de las 750 000 con baja competencia con tableros) toneladas de materia seca sin aprovechamiento, con singular importancia en algunas provincias, y puede ser la fuente principal de abastecimiento de algunas plantas.

Parte de la oferta de Castilla y León se dirige a otras Comunidades, por ejemplo a Industrias del papel en Navarra y Euskadi, por lo que el superávit real en la oferta es menor del mostrado por este estudio.

Sin embargo, dada la magnitud de las cifras, el efecto no puede ser significativo, y en parte se ve compensado por posibles "importaciones" de comunidades vecinas como La Rioja o Galicia, siempre que la industria se desarrollara más rápido en Castilla y León que en otras comunidades.

Hay que considerar que no todo el crecimiento accesible podrá ser aprovechado en cortas, y menos aún en muchas de las zonas que corresponden a repoblaciones que están en desarrollo. Por tanto, es lógico que estas zonas estén capitalizando y se corte bastante menos del crecimiento.

Sin embargo, las cifras son de tal magnitud que se puede deducir que el nivel de competencia que puede existir entre la industria del tablero y la dendroenergía es bajo y que la industria del tablero no debe sentirse amenazada si se efectúa un desarrollo planificado y una distribución de las instalaciones ajustada a la oferta directa.

Hay un margen significativo de desarrollo para ambos usos y no hay competición real, por lo menos desde un punto de vista cuantitativo. Sin embargo, una implantación de industrias energéticas sin planificación puede producir una fuerte competencia en algunas zonas que se encuentran ya muy aprovechadas, mientras que zonas con gran potencial quedarían sin aprovechamiento. En este sentido siempre hemos entendido que existe una sinergia clara entre las industrias existentes de tablero y los promotores de iniciativas bioenergéticas a gran escala. La biomasa es un recurso complejo de manejar y quien mejor que las industrias que llevan varios años trabajando con él para formar parte los proyectos hinciales.

El uso de especies de tipo 2 es particularmente interesante para la determinación de la ubicación de plantas de producción energética a partir de biomasa, así como el aprovechamiento de la oferta no forestal.

Una última reflexión hace referencia a la oferta indirecta procedente de recuperación. La industria del tablero emplea más de 150 mil t ms de esta oferta. Existe una importante oferta en este apartado que podría ser aprovechado por las industrias energéticas, y que podrían suponer una cantidad no despreciable del suministro de estas instalaciones, que fácilmente podría llegar al 20 por ciento del mismo.

Aunque la oferta indirecta procedente de reciclado está relacionada con la actividad económica e industrial y por tanto el origen es mayoritariamente externo a la Comunidad Autónoma (circunstancia que se refleja en el abastecimiento de la industria del tablero), hay también una importante correlación con la preocupación de la administración por la promoción y financiación de la recuperación y el estímulo de la iniciativa privada.

Si se genera una oferta de recuperación de madera, puede suponer un estímulo para la instalación de centrales energéticas y una fuente de estabilidad para ellas. Además se aliviarían los problemas de almacenamiento de este subproducto que de otra forma se ría considerado residuo.

Tabla 7. Oferta de biomasa leñosa con potencial energético en Castilla y León.

Provincia	Oferta accesible	Oferta Comercial	Oferta sólo energía	Oferta competencia energía/tabletero	Oferta prioritaria tableros	Oferta directa Prioridad tableros	Oferta indirecta industrias forestales	Oferta comercial (b2+c2)	Oferta competencia energía/tabletero (rollo)	Oferta baja competencia con tablero	Oferta directa Comercial
Ávila	239,802	153,182	29,130	112,819	72,852	24,360	48,492	30,164	64,327	39,967	93,457
Burgos	512,709	395,279	77,240	292,780	152,939	75,600	77,339	105,730	215,441	139,841	292,681
León	556,851	398,971	78,760	299,226	143,061	89,930	53,131	125,930	246,095	156,165	324,855
Palencia	210,462	143,842	17,380	117,699	54,512	48,520	5,992	49,246	111,707	63,187	129,087
Salamanca	286,647	173,087	27,600	126,505	38,997	16,020	22,977	107,190	103,528	87,508	131,128
Segovia	225,215	166,995	14,030	140,362	80,175	43,580	36,595	25,426	103,767	60,187	117,797
Soria	413,909	322,479	17,870	281,805	180,869	110,290	70,579	66,731	211,226	100,936	229,096
Valladolid	212,897	154,867	66,600	75,860	45,097	14,910	30,187	7,341	45,673	30,763	112,273
Zamora	279,780	180,830	63,570	104,898	35,120	26,500	8,620	58,108	96,278	69,778	159,848
TOTAL	2,938,272	2,089,522	392,180	1,551,954	803,622	449,710	353,912	575,864	1,198,042	748,332	1,590,222

Oferta directa forestal Sólo energía											
Oferta directa forestal Prioridad tableros											
Oferta directa forestal Interfase energía/tableros											
Oferta directa no forestal											
Oferta indirecta ind. forestales											

Composición por provincia y por categorías de competencia con la industria del tablero.
 Los componentes de la oferta que forman las categorías están resaltados debajo de la tabla principal.
 Unidades: t ms
 Fuente: Propia

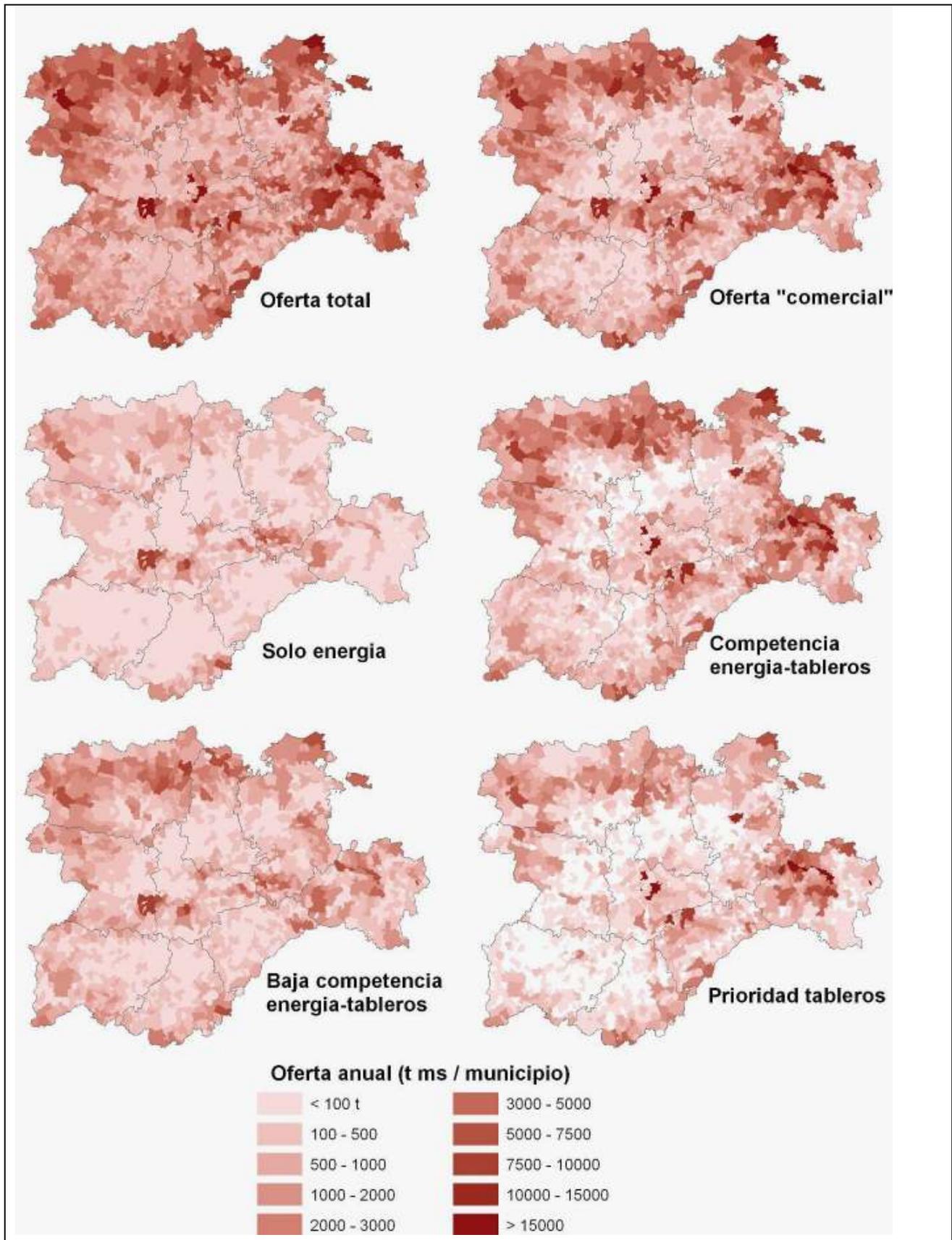


Figura 26. Mapas de oferta de biomasa leñosa con potencial energético por municipio y por categorías de competencia con la industria del tablero.

Fuente: Propia

4.2. Módulo de demanda

El objetivo de este módulo es estimar y cartografiar la biomasa leñosa consumida para energía al nivel de municipio y distribuirla espacialmente en mapas *raster* de tamaño de celda de 100m.

El consumo total por municipio se ha obtenido por la suma del consumo en el sector residencial y, preliminarmente, en el industrial, evaluados de forma independiente. Existen otros consumos, de menor importancia, de la biomasa leñosa en el sector comercial (panaderías, restaurantes, etc.) pero la falta de datos de referencia han impedido su consideración.

4.2.1. Información existente relacionada con el uso de biomasa para energía

El elevado nivel de incertidumbre en la estimación del consumo de dendrocombustibles y de carbón en España a través de estadísticas internacionales y regionales se aprecia en los gráficos de la Figura 27, que muestran los valores de las estadísticas forestales de FAO para dendrocombustibles y carbón, basados en datos proporcionados por corresponsales nacionales (FAOSTAT) y estimados mediante el *Global Forest Product Outlook Study Model* (GFPOS).

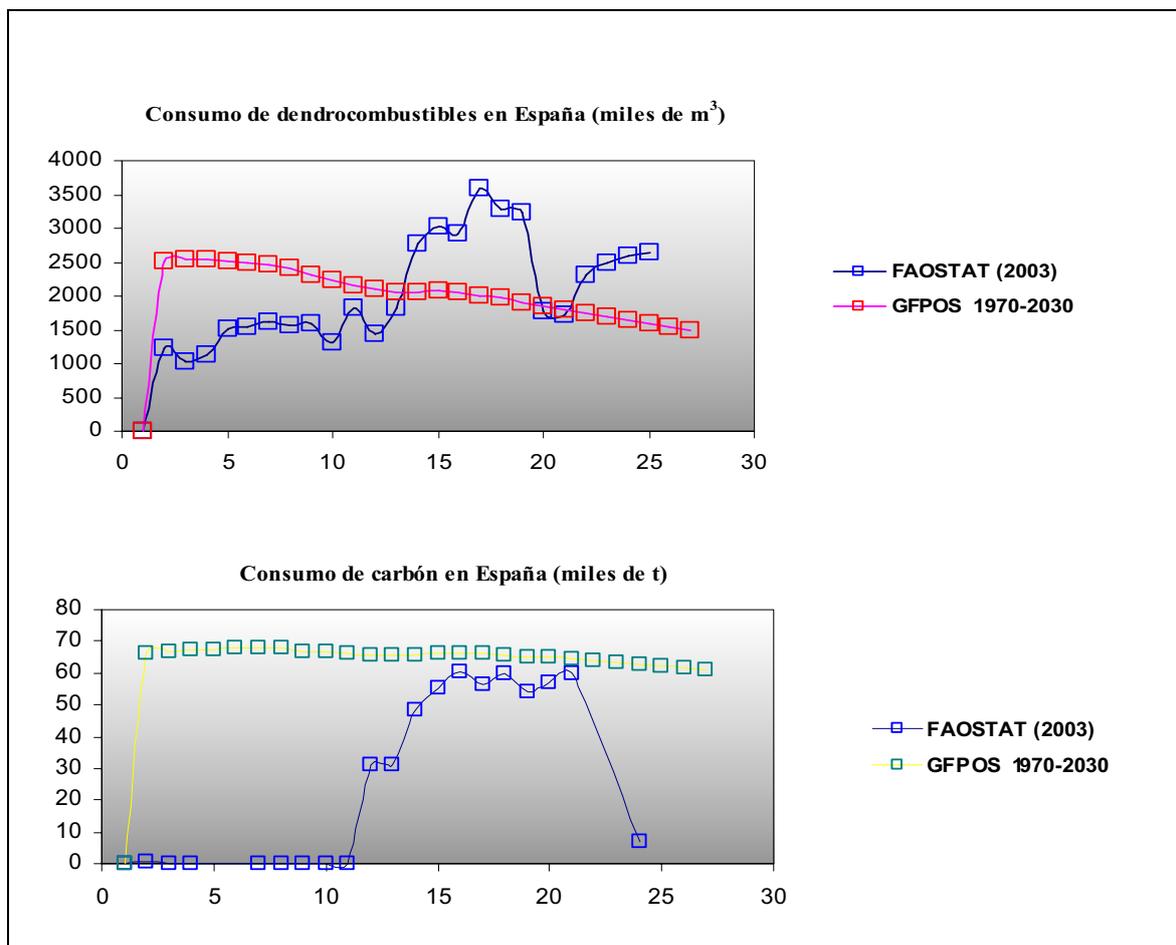


Figura 27. Consumo de dendrocombustibles y carbón en España.

Fuente: i-WESTAT (FAO 2005)

Investigaciones en las diferentes fuentes de datos e información de Castilla y León y de España comprobaron que no existen estadísticas de consumo de biomasa clasificadas por el tipo de usuario y localización geográfica, que son parámetros básicos necesarios para el desarrollo del módulo de la demanda.

Las estadísticas del balance energético nacional no representan el consumo actual de dendrocombustibles ya que una importante cantidad de dicho consumo está fuera del circuito comercial. Sin embargo, se pueden generar algunas estimaciones de consumo de dendrocombustibles usando estadísticas del censo de hogares como se describe más adelante.

Se han solicitado datos de consumo industrial (por ejemplo, de industrias siderúrgicas y metalúrgicas, de centrales térmicas para la producción de electricidad con carbón, o cementeras) de carbón y dendrocombustibles al Instituto Nacional de Estadística pero no se ha recibido ninguna información útil.

Hasta el momento, el consumo municipal ha sido evaluado, preliminarmente, sólo para la industria de la madera, como se muestra a continuación.

4.2.2. Consumo de biomasa leñosa en la producción industrial de energía

El consumo de biomasa leñosa para producción industrial de energía es todavía muy bajo en Castilla y León, tal y como se aprecia en la Tabla 8, en la que no se considera los consumos que se están realizando, a modo de pruebas, en las diferentes centrales térmicas. Los datos de consumo son muy modestos y tienen una muy escasa influencia en el balance regional.

Tabla 8. Consumo de biomasa leñosa para producción industrial de energía en 2007.

Provincia	Localización	Consumo anual (t)
León	León	350
León	Tabuyo del Monte	1 600
Salamanca	Villamayor	0
Segovia	Cuellar	3 000
Soria	Soria	16 000
Valladolid	Cigales	275
Valladolid	San Bernardo	143

Fuente: CESEFOR

4.2.3. Consumo de dendrocombustibles en el sector residencial

La evaluación y cartografía del consumo de biomasa leñosa en el sector residencial se ha basado en los siguientes datos;

- Censo actual con estadísticas de población rural/urbana por municipio (obtenido de las estadísticas publicadas en la página web del INE)
- Censo de Población y viviendas 2001 (y 1991). Este censo contiene información del tipo de combustible usado para la calefacción de hogares así como la superficie de los mismos y otras variables en cada uno de los 2 248 municipios de CyL. La Tabla 9 resume los datos del censo.

Las variables consideradas útiles en la estimación del consumo doméstico y su distribución geográfica se identificaron a partir de los cuestionarios utilizados para las encuestas de los censos de 1991 y 2001.

Se consideraron particularmente relevantes tres variables:

- Sistema de calefacción
- Combustible usado en la calefacción
- Superficie útil de la vivienda

El consumo de dendrocombustibles en el sector doméstico fue estimado para los años 1991 y 2001 basado en;

- Las estadísticas del INE (ver Tabla 9).
- Los requerimientos de calefacción predominantes de la región (aproximadamente 100 kWh/m²/año).
- La cantidad de madera necesaria para producir ese calor en condiciones de eficiencia "normales" (en el caso de Eslovenia, fue estimado en un 65 por ciento de eficiencia).

El Apéndice 8 recoge los parámetros usados y un resumen de los resultados del consumo de dendrocombustibles en el sector residencial en CyL en 1991 y 2001.

Los resultados preliminares del análisis del consumo doméstico en 1991 y 2001 se muestran en las; Figura 28, Figura 29 y Figura 30.

Los mapas de saturación (proporción de hogares que usan biomasa leñosa respecto al total) y consumo estimado muestran claramente el rápido descenso de consumo de dendrocombustibles en el sector residencial en la última década.

Tabla 9. Estadísticas INE del uso residencial de combustible para calefacción en CyL en 2001.

<i>Combustible usado para la calefacción Censo 2001</i>	<i>Nº de hogares</i>	<i>%</i>
<i>TOTAL</i>	<i>889 275</i>	<i>100</i>
<i>Gas</i>	<i>274 857</i>	<i>30.9</i>
<i>Electricidad</i>	<i>103 517</i>	<i>11.6</i>
<i>Petróleo o derivados</i>	<i>294 709</i>	<i>33.1</i>
<i>Madera</i>	<i>70 338</i>	<i>7.9</i>
<i>Carbón o derivados</i>	<i>74 513</i>	<i>8.4</i>
<i>Otros</i>	<i>4 508</i>	<i>0.5</i>
<i>No es aplicable</i>	<i>66 833</i>	<i>7.5</i>

Fuente: INE

La pregunta a responder es si esta tendencia descendente se sigue dando o, como ocurre en muchas partes de Europa, la tendencia se está invirtiendo debido al elevado precio del petróleo y a la mejora de las tecnologías de conversión de dendrocombustibles.

A partir de estimaciones propias se cree que hay un pequeño repunte en el consumo de biomasa leñosa, pero todavía muy escaso y fundamentalmente con biocombustibles elaborados tipo pellet, que no influye en la evaluación.

El uso de astilla se encuentra todavía en una fase de expansión muy temprana, aunque en el futuro puede ser un factor de la demanda importante, y que debe ser tenido en cuenta en el análisis regional y en la planificación de instalaciones industriales.

Otro aspecto a considerar en este apartado, es la influencia que el aumento mantenido de las temperaturas medias durante el invierno está teniendo. Los últimos 10 años en España han marcado una clara tendencia con temperaturas máximas y mínimas más extremas, pero con temperaturas medias en general más elevadas. Esto provoca una necesidad menor en calor y por lo tanto un descenso en el consumo de materias primas energéticas.

También cabe añadir la lenta implantación que las nuevas formas de bioenergía doméstica están experimentando en España. Si bien todos los indicadores de mercado auguran un incremento exponencial, la realidad es que son los usos más tradicionales, los que engrosan la mayoría de estos números. No encontramos aún un mercado de astillas y pellets continuo a lo largo de toda la geografía de Castilla y León.

Por todos estos conceptos arriba explicados entendemos que los datos demuestran una tendencia ligeramente a la baja, si bien parece fruto de macrovariables de ambiente y mercado, y sí que asumimos que está ocurriendo una deriva hacia el uso de dendrocombustibles en detrimento de los combustibles fósiles tradicionales.

Como bien se indica al inicio de este estudio, será necesario hacer un seguimiento de los datos obtenidos y evaluar sus variaciones futuras.

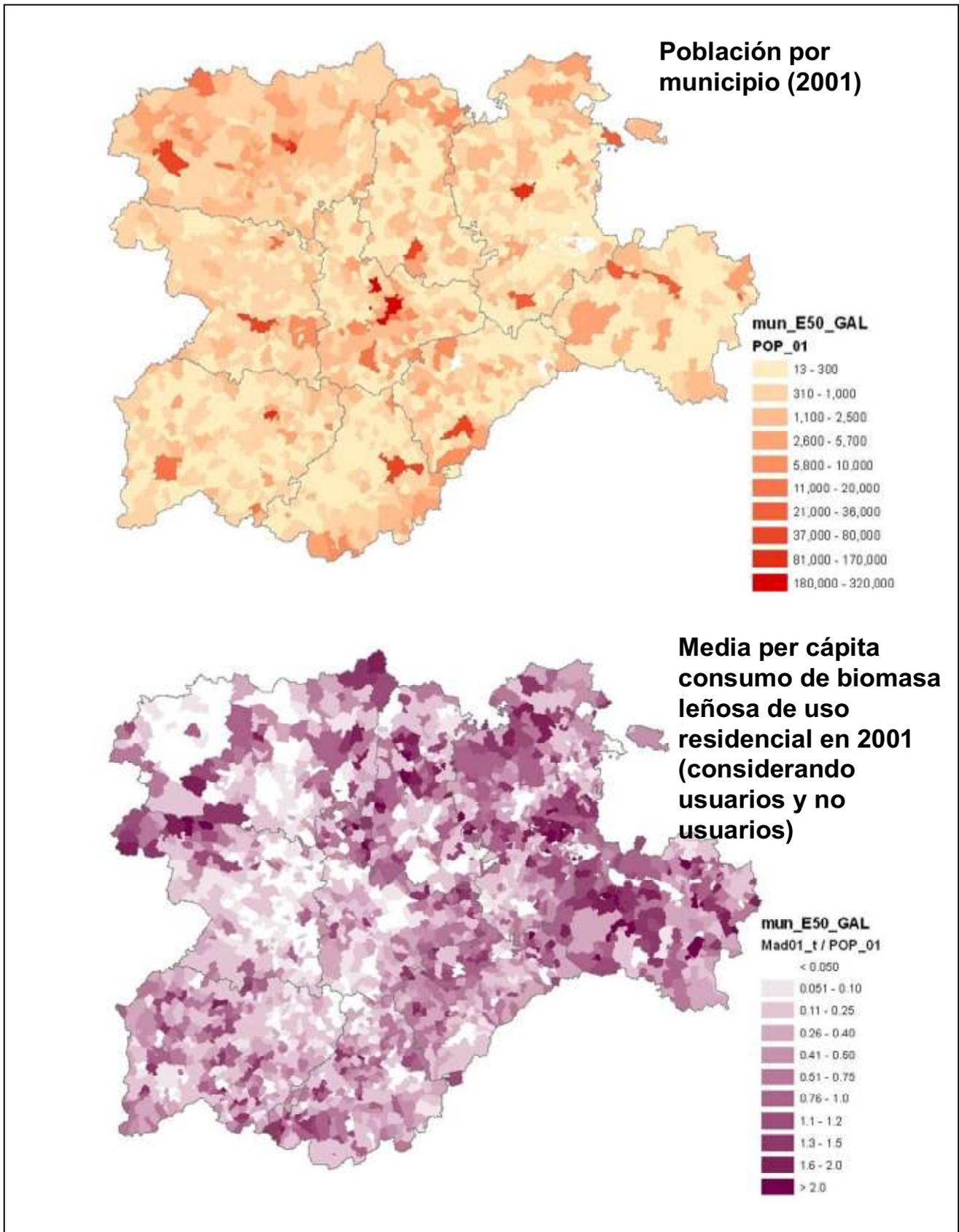


Figura 28. Población por municipio y consumo per cápita de biomasa leñosa en uso residencial estimado para 2001.

Fuente: Propia

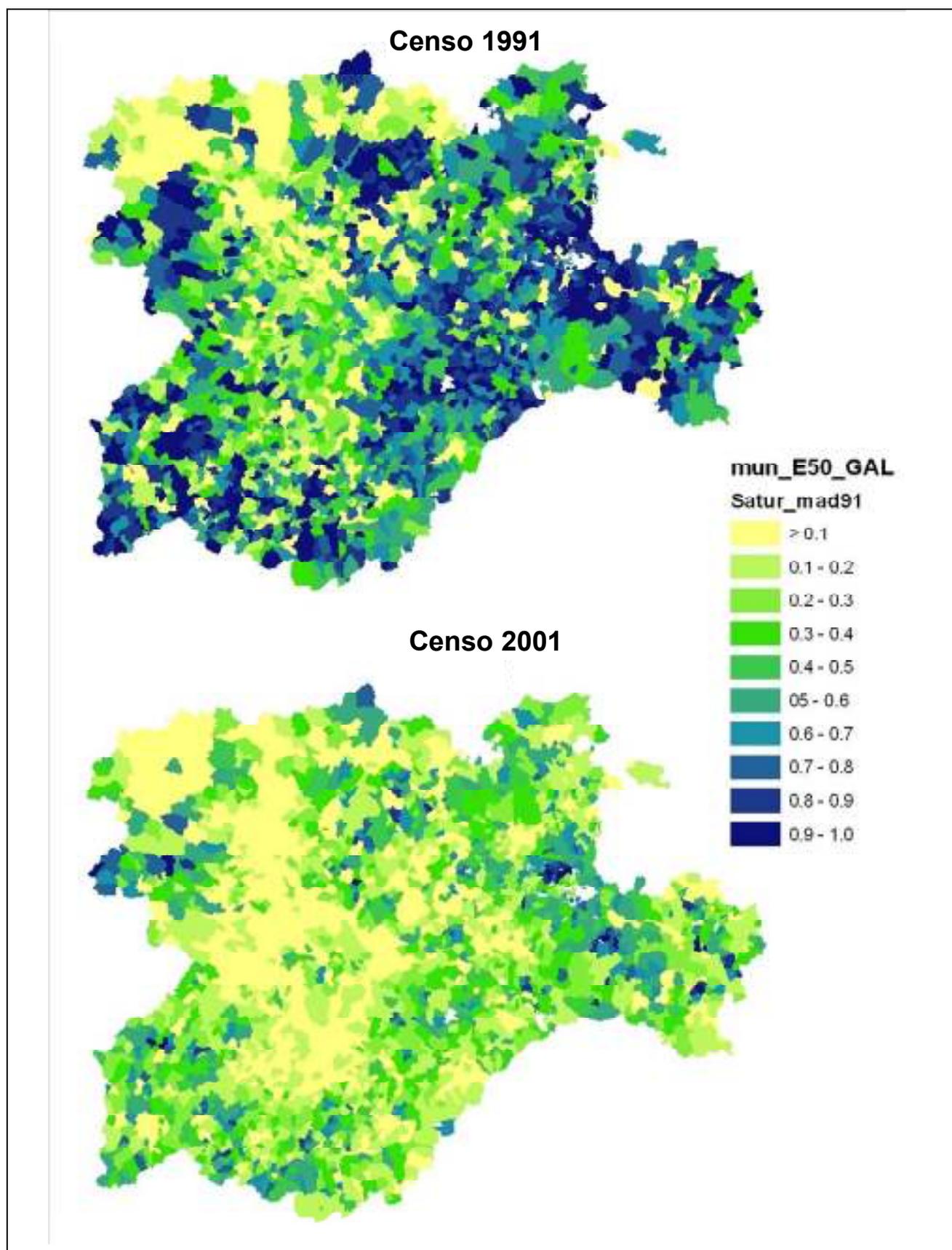


Figura 29. Saturación (fracción de hogares que usan madera como principal combustible).

Fuente: Propia

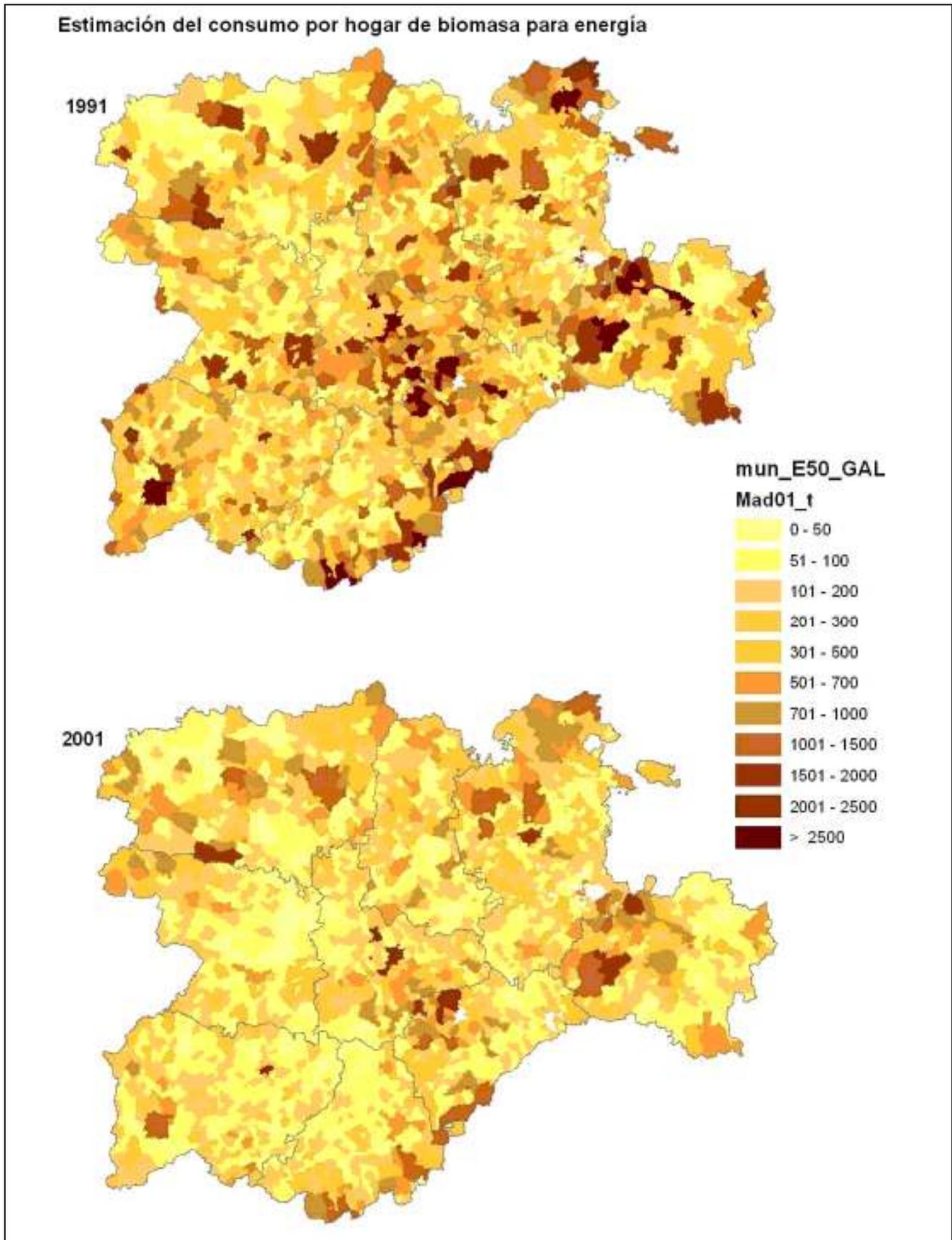


Figura 30. Consumo de dendrocombustibles en el sector residencial por municipio en 1991 y 2001.

Unidades en toneladas de madera de frondosas al 12% de humedad.

Fuente: Propia

4.2.4. Consumo de biomasa leñosa en otros sectores

El consumo de biomasa industrial incluye:

- Industrias forestales y de la madera que consumen parte de los residuos producidos durante sus procesos habituales
- Fábricas de cemento que usan una cantidad creciente de biomasa en sus procesos de clinker debido a las prescripciones del Protocolo de Kyoto y a las medidas de reducción de emisiones. Las cantidades usadas actualmente son despreciables pero este sector tiene potencial para convertirse en un importante consumidor de biomasa.

Los consumidores de biomasa del sector comercial incluyen principalmente restaurantes, panaderías y empresas agroalimentarias dedicadas por ejemplo a la elaboración de pimientos asados o embutidos ahumados. No existen (o no se pudieron encontrar) estadísticas fiables de su nivel de consumo ni de su distribución geográfica, aunque una pequeña prospección parece indicar que es de cuantía no muy importante.

4.2.5. Distribución espacial del consumo de biomasa leñosa

Los datos de consumo están mayoritariamente referidos al término municipal sin estar localizados dentro de su territorio. Para poder representar con mayor nivel de detalle geográfico los lugares donde se realiza el consumo, las cantidades estimadas para la totalidad del municipio se distribuyeron espacialmente usando el mapa de cascos urbanos como variable indicadora de la distribución espacial del consumo. El consumo municipal se repartió entre los cascos urbanos contenidos, con una asignación proporcional a la superficie de dichos cascos urbanos. La Figura 31 muestra el resultado de este proceso.

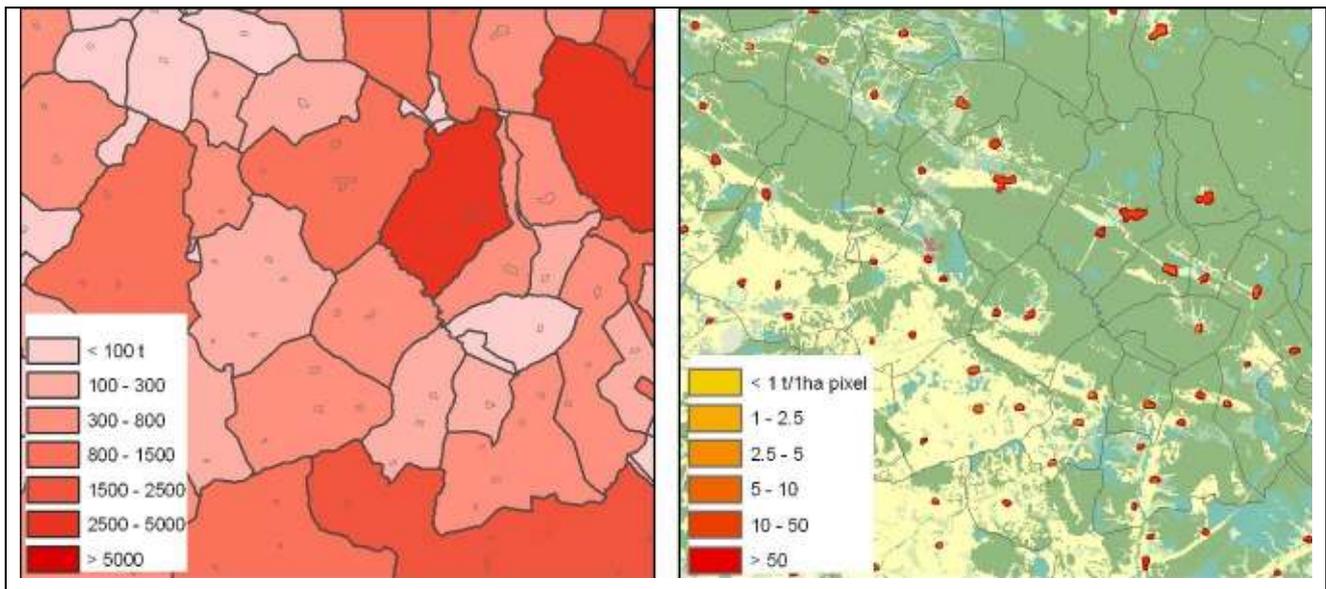


Figura 31. Consumo de biomasa leñosa por municipio y por hectárea de casco urbano.

Fuente: Propia

4.3. Módulo de integración

El objetivo del apartado es la comparación entre la oferta y la demanda descritas en capítulos anteriores. El balance oferta/demanda es, a la postre, el objetivo prioritario de este trabajo. Se han elaborado mapas y tablas que representan el balance y que permitirán entender mejor el potencial energético de Castilla y León así como identificar oportunidades y limitaciones. Para obtener un análisis más preciso y una aproximación más veraz a la realidad se han usado las clases y categorías descritas y calculadas en el módulo de oferta y los mapas de consumo creados en el módulo de demanda. Para facilitar el análisis el balance se descompone en varias categorías.

4.3.1. Balance total

El primer análisis de balance oferta/demanda se ha realizado considerando la oferta accesible, tal como se describe en el módulo de la oferta y que es considerada como la oferta total, y el consumo actual. El

resultado de este análisis muestra que el crecimiento es bastante mayor que los niveles actuales de consumo, como se muestra a nivel de píxel en la Figura 32 y a nivel de municipio en la Figura 35. Esta categoría de balance es positiva, con un superávit estimado de casi 2,5 millones de toneladas de materia seca. Todos los balances realizados se encuentran, con desglose provincial y división en categorías de uso, en la Tabla 10.

De todas formas, hay que recordar que la productividad considerada en esta categoría de balance es en buena parte teórica, ya que considera el crecimiento total (legal y físicamente accesible) y todas las formaciones forestales incluidas aquellas muy poco densas y con productividad baja.

Sin embargo hay, por otra parte, diversos factores que suponen un aumento de la oferta. Cada año se incrementa la superficie accesible, y por ende la oferta, debido a la construcción de nuevas infraestructuras viarias. Además el crecimiento y aprovechamiento de las masas forestales también están incrementándose debido al inicio de aprovechamientos en masas jóvenes procedentes de repoblación, a la corta final en repoblaciones más antiguas, y al esfuerzo de la Consejería de Medio Ambiente por acercar el aprovechamiento al crecimiento, dotando con más medios a los Servicios Territoriales. En los montes, especialmente en montes de gestión privada, pequeños y/o de productos de bajo valor (como los de destino energético hasta la fecha), no siempre hay una planificación de la gestión, por lo que el aprovechamiento es “de oportunidad” y se produce cuando un maderista necesita un determinado producto y adivina rentabilidad en el monte en cuestión; en estos casos el periodo de rotación es mucho mayor del considerado en los cálculos, y por lo tanto superficies no consideradas comerciales, en la práctica, lo son. Finalmente el aprovechamiento de árbol completo para energía permite alcanzar el umbral de productividad necesario para hacer comerciales un mayor número de aprovechamientos.

Otro factor a considerar es que el aprovechamiento para leñas con destino residencial muchas veces se realiza sin seguir el patrón de “comercialidad” expuesto. El aprovechamiento es muchas veces de escaso volumen, en el que se aprovecha las zonas de más densidad y más accesibles; aunque la media de la masa sea de baja densidad de biomasa y no llegue, en el valor medio, al umbral comercial, si lo es un aprovechamiento en una pequeña superficie, seleccionada por su densidad y accesibilidad, donde se consigue una concentración de producto suficiente para ser rentable. En otras ocasiones el aprovechamiento se realiza como consecuencia de otras circunstancias, como infraestructuras, concentración parcelaria o roturación, por lo que el umbral comercial no es aplicable. El periodo de rotación en aprovechamientos para leñas puede ser, en la actualidad, mucho más alto del considerado, ya que debido al exceso de oferta, el maderista puede seleccionar los montes más rentables y no se vuelve a ellos hasta que no tienen otra vez densidad o diámetro suficiente, se trata de nuevo de acciones “de oportunidad”, sin ninguna planificación. En el caso de que los vecinos aprovechen directamente las leñas, el umbral comercial es mucho más bajo y además no necesitan cortar todos los años. Por último hay razones económicas. El valor del producto leña para uso residencial tiene un valor superior al de la media de uso energético, el aprovechamiento se realiza muchas veces en pequeñas propiedades en las que el precio que se paga por el aprovechamiento es escaso o nulo (en el caso de leñas vecinales, montes comunales, montes propios) por lo que el empresario o el vecino únicamente tiene que cubrir el coste de su tiempo, que tiene un valor muy flexible, más aún si es una ocupación complementaria o a tiempo parcial, como sucede muchas veces.

En resumen, la oferta accesible se va incrementando y, aunque hay un desfase importante entre la oferta accesible y la comercial, este desfase es menor del aparente y se va reduciendo paulatinamente.

4.3.2. Balance comercial

Para poder ofrecer una percepción realista del potencial, la oferta se ha limitado a las fuentes que producen una cantidad económicamente viable de biomasa leñosa, bajo la consideración de que por debajo de una cierta cantidad el aprovechamiento puede ser poco viable, tal y como se vio en la Sección 4.1.7.1. La oferta considerada en este balance, que podemos llamar comercial aunque no hay una referencia real a los factores de mercado, supone aproximadamente el 71 por ciento de la oferta accesible total. El balance comercial es todavía positivo en todas las provincias, con un superávit total estimado de 1,6 millones de toneladas de materia seca, tal y como se muestra en la Tabla 10. El mapa del balance de esta categoría se muestra a nivel de píxel en la Figura 33 y a nivel de municipio en la Figura 35. Para un análisis a medio plazo es conveniente tener en cuenta las consideraciones del apartado anterior.

4.3.3. Categorías de balance y competencia entre el tablero y la dendroenergía

El sector de la dendroenergía y la industria del tablero usan, en buena parte, la misma materia prima. La percepción de una competencia por los recursos disponibles es usada a menudo como una limitación al desarrollo y expansión de las iniciativas dendroenergéticas. Por lo tanto es importante evaluar el balance

oferta/demanda relacionándolo específicamente con el tipo de biomasa leñosa preferida por la industria del tablero y evaluar los superávits y los verdaderos márgenes de desarrollo del sector de la dendroenergía. La competencia se produce especialmente con el tablero de fibras que compite por madera en rollo y subproductos de la industria de la madera, aunque el tablero de partículas tiene un fuerte consumo de la oferta indirecta en competencia con la energía, por lo que se realiza un análisis en conjunto, aunque luego se desglosará en particular la madera en rollo.

La consideración subyacente es que la dendroenergía puede usar cualquier tipo de biomasa leñosa, mientras que la industria del tablero tiene preferencia clara sobre ciertos tipos. Los componentes de la productividad considerados para este análisis están descritos en la anteriormente (Tabla 5 y Figura 24).

Basándose en estas consideraciones, las categorías de balance más significativas están resumidas por provincia en la Tabla 7. Los mapas de la Figura 32 a Figura 34, muestran la distribución, a nivel píxel, de las diversas categorías de balance, mientras que los mapas de la Figura 35 muestran las mismas situaciones a nivel de municipio. Las categorías de balance consideradas han sido las siguientes:

- **Balance en competencia con la industria del tablero.** Este balance considera el consumo total actual de biomasa leñosa calculado en el módulo de la demanda y la oferta de biomasa que es adecuada para la industria del tablero y que por tanto está en competencia con el uso energético. Esta categoría incluye la clase Interfase energía/tablero, de segundo orden en prioridad, además de los materiales actualmente preferidos, Prioridad tableros y la oferta indirecta de la industria forestal (subproductos). El balance oferta/demanda resultante muestra un superávit de alrededor de un millón de toneladas de materia seca, casi el doble de lo actualmente consumido por la industria del tablero entre madera en rollo y subproductos. La cantidad libre de demanda es medio millón de toneladas, que es prácticamente toda madera en rollo; este medio millón de toneladas es más del doble de la madera en rollo de lo que consume la industria del tablero. Es decir, el superávit es el doble del consumo, y las existencias el triple.
- **Balance con baja competencia con la industria del tablero de fibras.** Este balance considera el consumo total actual de biomasa leñosa y la oferta limitada a la biomasa que es menos adecuada para la industria del tablero. La productividad aquí considerada es la oferta total comercial menos los recursos preferidos por la industria del tablero, es decir, la clase c1 en la Tabla 5 y los subproductos de la industria de la madera. Para esta categoría, el balance oferta/demanda resultante muestra un superávit de 0,27 millones t ms. Esto significa que la biomasa leñosa marginal o que no interesa a la industria del tablero es más que suficiente para cubrir las actuales necesidades energéticas, y aún tiene un excedente no despreciable. Además hay que recordar que la industria del tablero sólo consume el 50 por ciento de la oferta de productos prioritarios, por lo que el resto está disponible, hasta alcanzar el medio millón mencionado en el apartado anterior. Así, de los recursos disponibles sin ningún uso, medio millón de toneladas, aproximadamente la mitad corresponde a productos prioritarios y la otra mitad a productos de baja competencia. El mapa de balance de esta categoría se muestra en la Figura 34.
- **Balance con recursos utilizables solo para energía (sin competencia).** Este balance considera el consumo total actual de biomasa leñosa y la oferta limitada a la biomasa que no es adecuada en absoluto para la industria del tablero. El balance, en este caso, da un resultado negativo, con un déficit de 79 000 t ms. El mapa de balance de esta categoría se muestra en la Figura 35. La realidad es que estos recursos de sólo energía no son aprovechados en la actualidad, por lo que están disponibles para un uso energético, ya que fundamentalmente se aprovecha para el consumo residencial la madera de trituración de especies poco comerciales (encina y rebollo) o de coníferas. Por ello se ofrece también el balance de productos sin o baja competencia, que incluye la baja competencia más la energía, y que da un superávit de 669 142 t ms que no tiene ningún aprovechamiento actual, que sumados a las más de doscientas mil de superávit en productos de alta competencia no usados, llegamos casi a 0,9 millones de t ms sin uso.

Esto significa que la dendroenergía necesita suministrarse con productos susceptibles de su uso en la industria del tablero, no puede contar solamente con material rechazado por los demás usuarios; hay un solape inevitable con la industria del tablero de la madera en lo que respecta a materia prima y a fuentes de suministro. Sin embargo, la mayor parte de la oferta adecuada para la industria del tablero no está siendo aprovechada, por lo que existe suficiente margen para el uso energético.

La instalación de las plantas debe tener en cuenta las zonas de suministro de la industria del tablero, y es necesaria una planificación de los recursos que evite la sobredemanda en unas zonas y que una parte importante de los productos sin aprovechamiento sigan sin uso. Así las provincias con mayor superávit de productos sin con baja competencia con la industria parecen los mejores destinos para el aprovechamiento energético, como son León, Burgos y Zamora.

Tabla 10. Resumen provincial del balance oferta-demanda de biomasa leñosa.

Provincia	Consumo energía residencial	BALANCES (OFERTA – DEMANDA) t ms						
		Balance total	Balance comercial	Balance con oferta en competencia energía / tablero	Balance con oferta en competencia energía / tablero (rollo)	Balance con oferta de baja competencia energía / tablero	Balance con oferta "solo energía"	Balance sin o baja competencia energía / tablero
Ávila	42,120	197,682	111,062	70,699	22,207	-2,153	-12,990	26,977
Burgos	80,710	431,999	314,569	212,070	134,731	59,131	-3,470	136,371
León	63,620	493,231	335,351	235,606	182,475	92,545	15,140	171,305
Palencia	28,970	181,492	114,872	88,729	82,737	34,217	-11,590	51,597
Salamanca	52,380	234,267	120,707	74,125	51,148	35,128	-24,780	62,728
Segovia	53,010	172,205	113,975	87,352	50,757	7,177	-38,980	21,207
Soria	61,790	352,119	260,689	220,015	149,436	39,146	-43,920	57,016
Valladolid	60,020	152,877	94,847	15,840	-14,347	-29,257	6,580	37,343
Zamora	28,750	251,030	152,080	76,148	67,528	41,028	34,820	104,598
TOTAL	471,370	2,466,902	1,618,152	1,080,584	726,672	276,962	-79,190	669,142
TOTAL – consumo tableros				490,950	486,256			

Fuente: Propia

Además hay que añadir aquellas que puedan ofrecer un superávit importante de productos prioritarios para tableros que no se estén utilizando, como puede ser Soria o incluso Palencia, además de Burgos y León. León destaca pues además está relativamente alejada de las plantas de tableros; en otras provincias, sus oportunidades dependerán del grado de saturación de la oferta por la industria del tablero y sobre todo de aprovechamientos más intensos, de varios productos a la vez, por ejemplo árbol completo, que permita alcanzar el umbral de rentabilidad, como es el caso de Ávila o Segovia, o el aumento de la accesibilidad.

Un factor adicional a ser considerado es la tasa actual de aprovechamiento, que indica la intensidad con la que se están efectuando los trabajos forestales. En general, parece que en los años recientes las cortas de madera sólo cubrieron alrededor del 25 por ciento del crecimiento total. Si la recolección de biomasa se va a hacer durante los trabajos forestales habituales, es poco probable que esa cantidad sea superada a corto plazo. Por lo tanto es importante reflejar este factor en el análisis del balance oferta/demanda para poder ofrecer una percepción más realista de la que pudiera ser la biomasa disponible en el contexto forestal actual. Puede ser útil distinguir las formaciones donde la intensidad es alta (pinares) y donde es baja (*Quercus* spp.) para poder identificar las áreas donde la producción de biomasa tiene un potencial de desarrollo más elevado.

4.3.4. Otros aspectos de la Integración

La geodatabase de WISDOM construida hasta ahora contiene solamente los parámetros básicos relacionados con la oferta y la demanda. A partir de aquí, el módulo de integración debe desarrollarse e incluir elementos socioeconómicos tales como la propiedad de los montes, y otros elementos como las áreas redes de suministro de gas, etc., hasta convertirse en un verdadero instrumento de planificación. Más específicamente, el módulo de integración ha de considerar aspectos de interés directo de la Junta de Castilla y León, incluyendo al menos, los siguientes:

- Mapas de edificios públicos que puedan convertir sus sistemas de calefacción a sistemas de biomasa y sus contextos de recursos disponibles.
- Sistemas de "District heating" existentes y localizaciones aptas para instalar nuevos en cada provincia.
- Localizaciones de las plantas industriales que se prevé empiecen a operar con el componente bioenergético más rápidamente.

Esto permitirá definir áreas prioritarias de intervención combinando varios factores independientes y permitirá tomar medidas políticas objetivas.

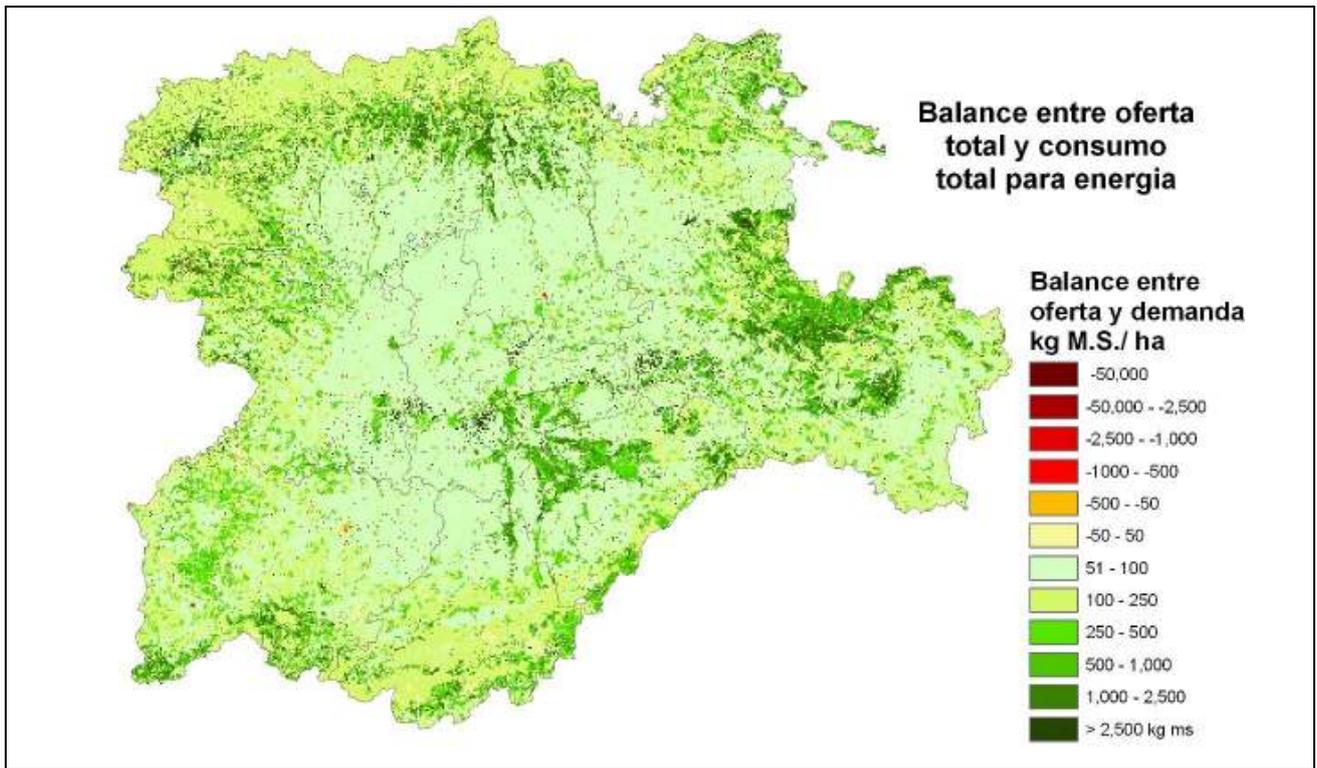


Figura 32. Balance por píxel entre la oferta total potencial accesible y el consumo actual.

Fuente: Propia

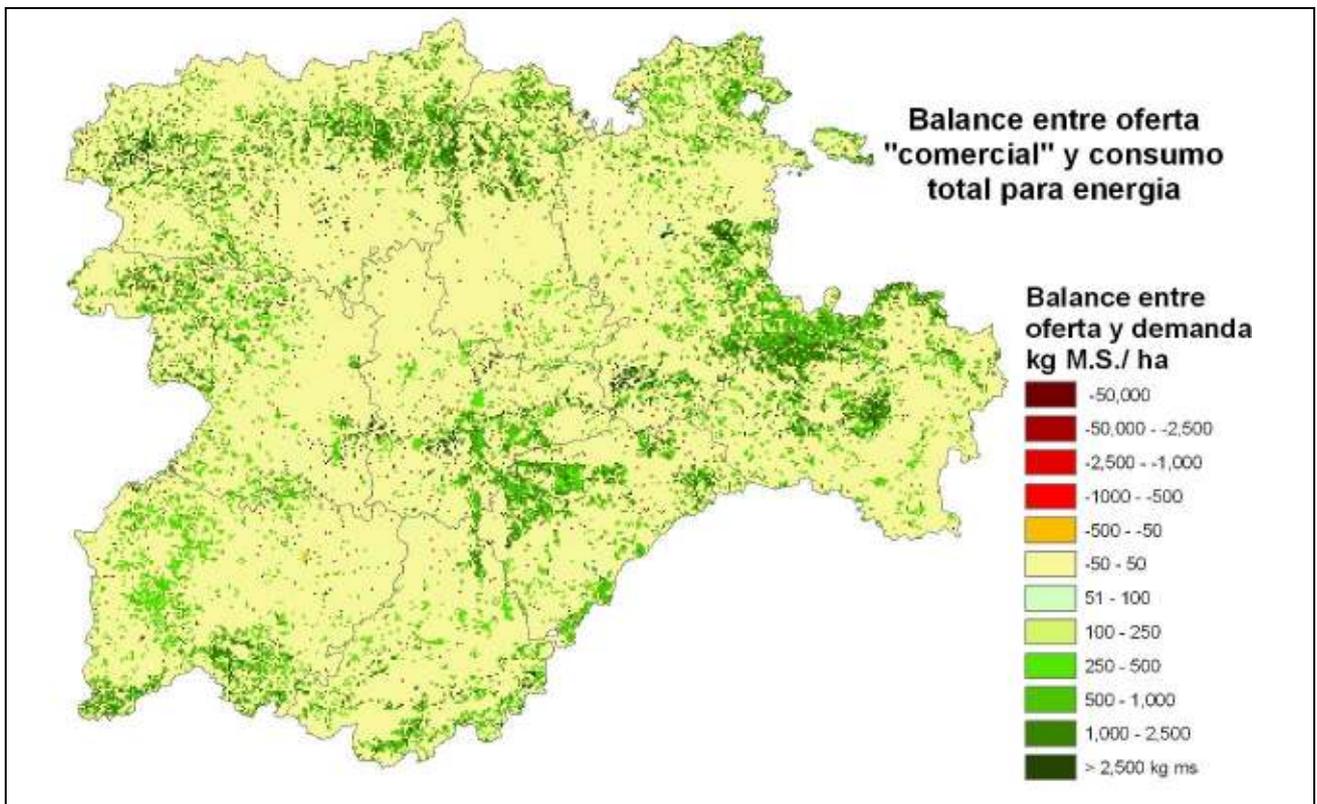


Figura 33. Balance por píxel de la oferta "comercial" potencial y el consumo actual

Fuente: Propia

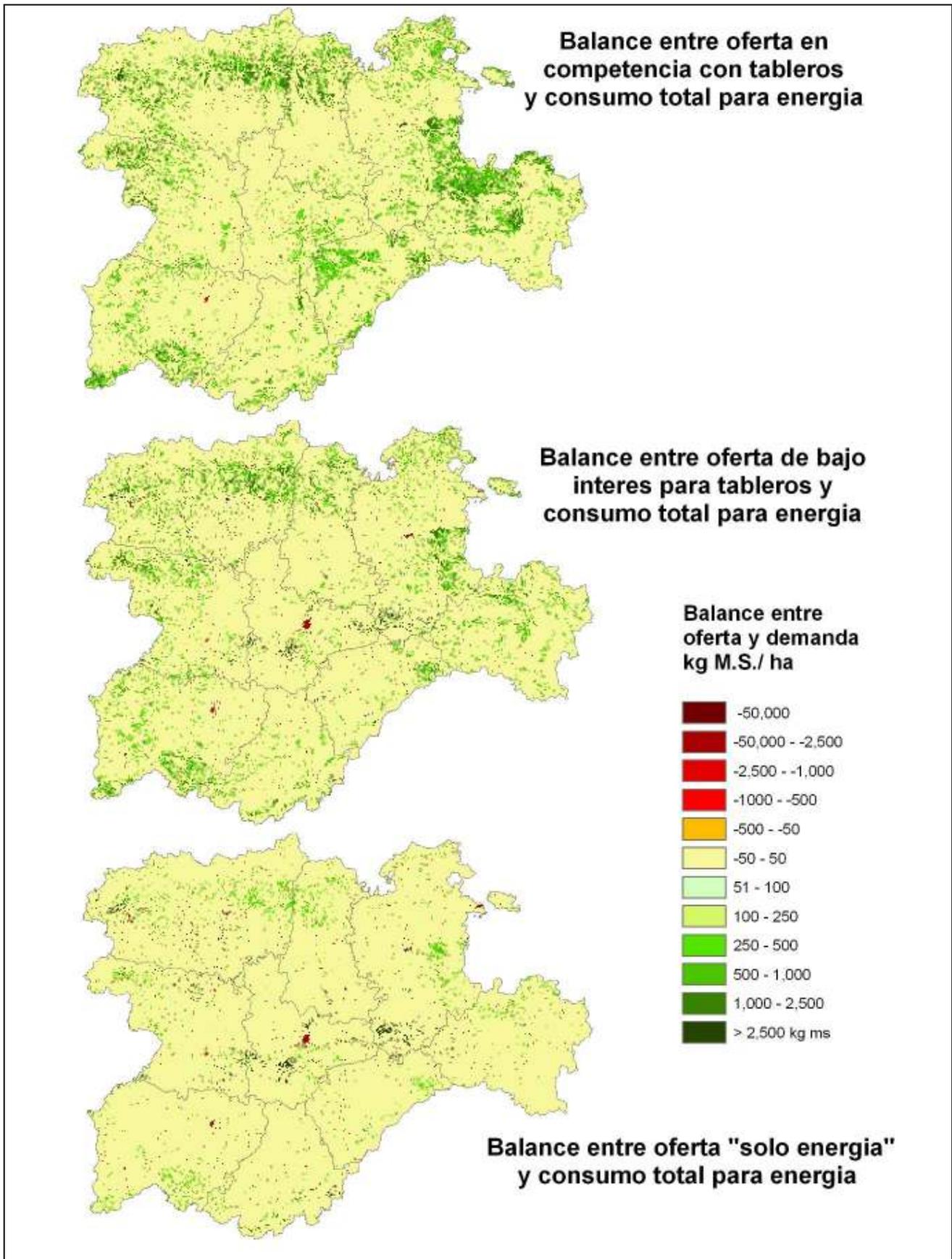


Figura 34. Balance por píxel de la oferta "comercial" y del consumo actual de:

Arriba: Biomasa adecuada tanto para energía como para tablero de fibras.

En medio: Biomasa de bajo interés para el tablero.

Abajo: Biomasa de ningún interés para el tablero de fibras.

Fuente: Propia

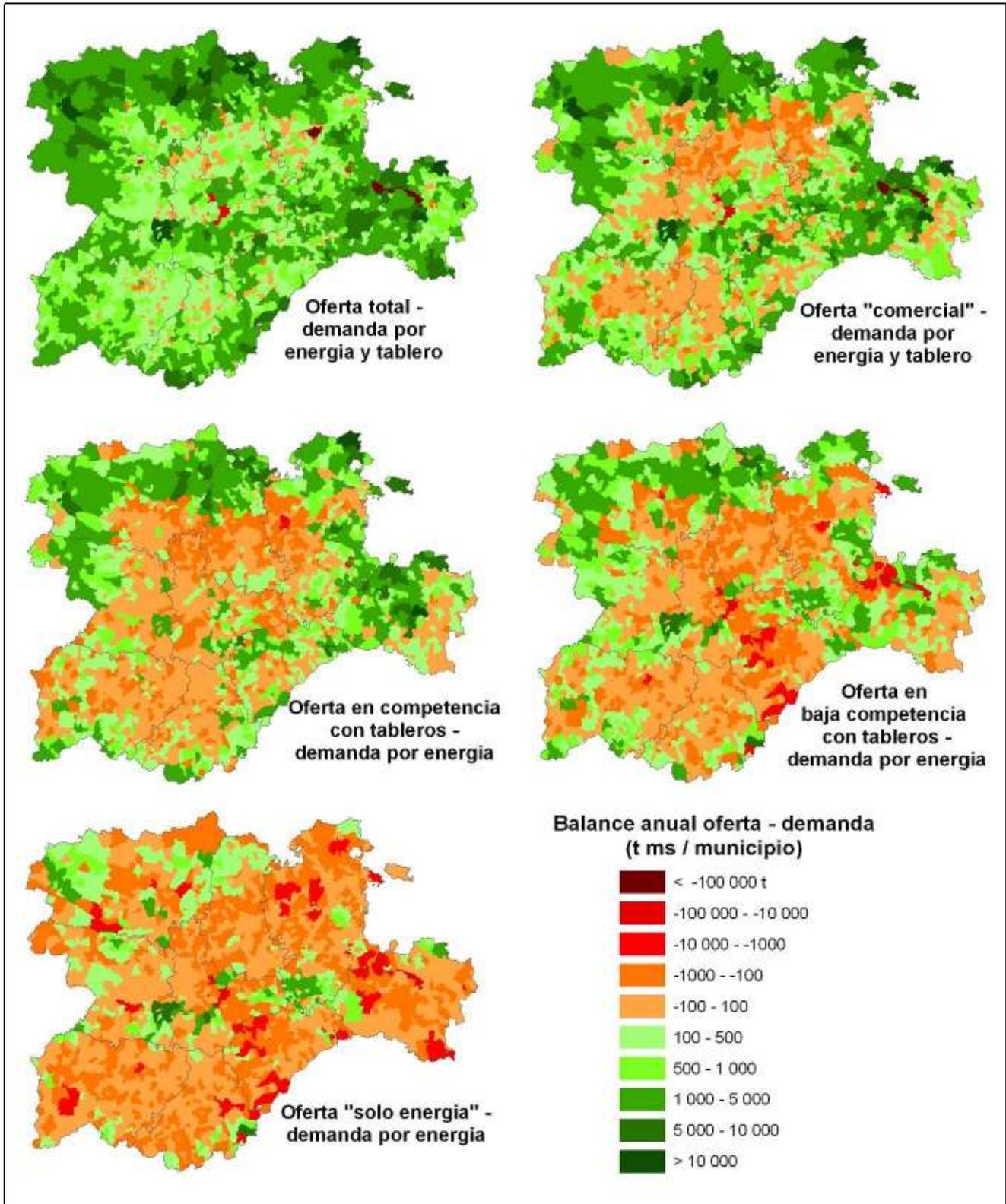


Figura 35. Balances de oferta/demanda por municipio.

Basados en distintos componentes de la oferta potencial y uso actual para energía y para la industria del tablero de fibras.

Fuente: Propia

4.4. Análisis de bio-districtos

Una aplicación importante de la geodatabase WISDOM es la posibilidad de definir la zona de suministro de una planta de consumo de biomasa. En un sentido amplio, la zona de suministro es el área de influencia de la instalación industrial, tanto en términos de recursos necesarios como de colaboradores socioeconómicos e institucionales. En paralelismo con el concepto de cuenca hidrográfica, la zona de ese tipo se ha llamado "woodshed", aunque en español se ha optado por la palabra bio-districto (FAO, 2009b).

Ciñéndonos a los recursos físicos, los factores que determinan el tamaño y forma de un bio-districto dependen principalmente de la relación geográfica entre la oferta sostenible de biomasa leñosa y la demanda de suministro, actual o prevista. En la consideración de la oferta es necesario definir las necesidades de suministro, los productos que pueden componer la cartera de suministro (ponderados en su caso), y el consumo de otras plantas o industrias. El conocimiento de los precios y costes es útil, aunque se puede inferir a partir del producto y la distancia, al menos en un primer planteamiento.

Bajo esta perspectiva general, los bio-districtos ofrecen su utilidad como herramienta de análisis en dos líneas principales: (i) Delimitación de bio-districtos buscando la definición de la zona de suministro sostenible de un centro (o centros) de consumo de ubicación definida(s), es decir se conoce el punto y se busca conocer el área de suministro. (ii) Definición de la planta de consumo de biomasa, localización y tamaño, más adecuada en relación a la distribución geográfica y a la accesibilidad de las fuentes de oferta de biomasa de una zona determinada, es decir, se conoce el área de suministro, al menos groseramente, y se desea definir la planta. En ambos casos, el factor esencial del análisis es la distribución espacial del superávit de biomasa, determinado a su vez por la productividad potencial, el consumo actual y los factores de accesibilidad (física, económica y legal).

A fin de explicar el procedimiento de análisis, se ha desarrollado como ejemplo la zona de abastecimiento de una hipotética planta de consumo de biomasa en la provincia de Burgos (ver Figura 36). La planta se ha dimensionado para un consumo de alrededor de 90 000 t ms anuales de biomasa leñosa. El ejemplo corresponde a la primera de las líneas de análisis descritas (i).

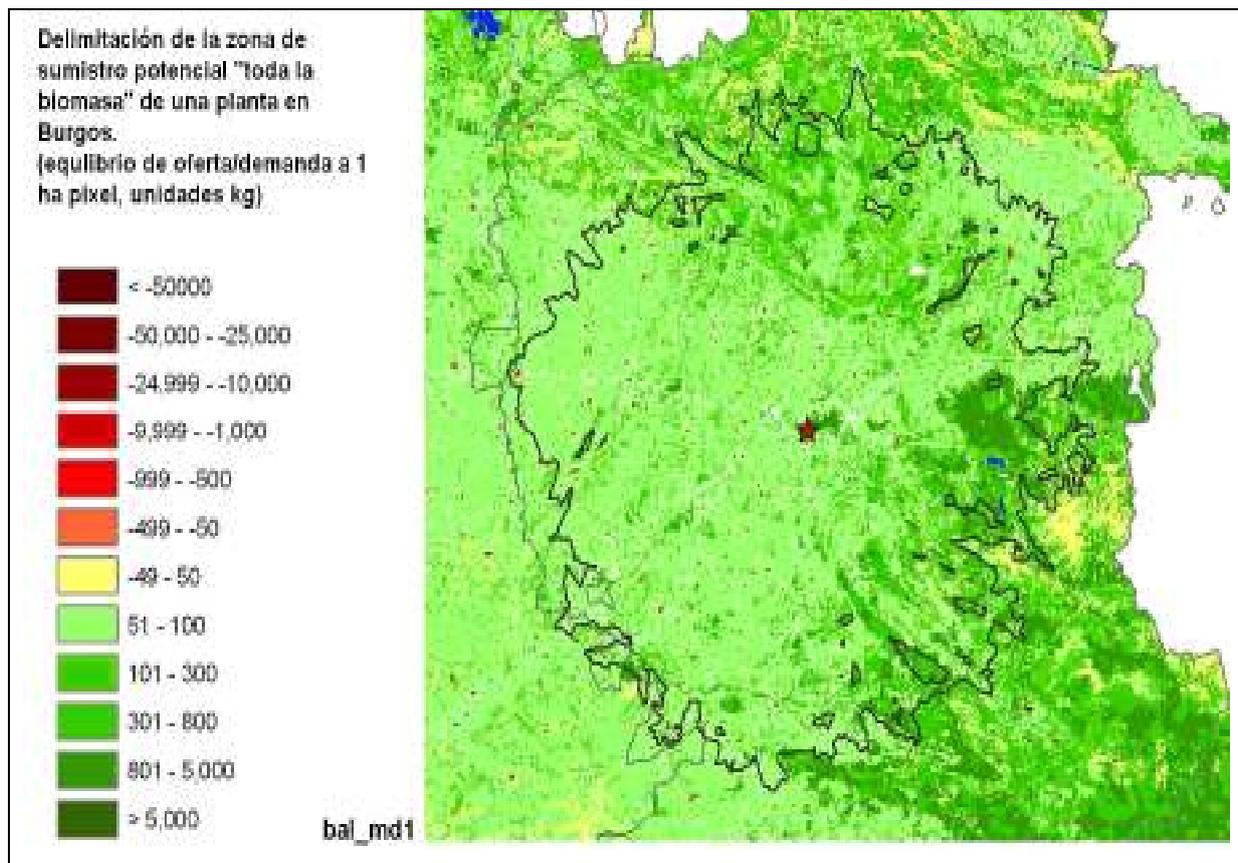


Figura 36. Ejemplo de bio-districto. Zona de suministro para una hipotética planta con un consumo anual de 90 000 t ms en Burgos.

Fuente: Propia

La zona de abastecimiento que se necesita para la planta seleccionada con biomasa forestal, teniendo en cuenta las actuales fuentes de abastecimiento y el patrón de oferta-demanda, que se muestra en la Figura 36, tiene una superficie de casi 5 000 km². El área de suministro está determinada por la porción de territorio en la cual la demanda de la planta y el modelo oferta-demanda alcanza un equilibrio.

El análisis comienza con la localización de la planta y añade progresivamente *buffers* de territorio accesible (a partir de una función *cost distance*), hasta que se alcanza la condición de equilibrio entre el consumo de la planta y los superávits y déficits de biomasa a nivel de píxel.

La zona de abastecimiento mostrada en la Figura 36, es probablemente subestimada debido al hecho de que los valores de equilibrio se calcularon sobre la capacidad de producción total de la cubierta terrestre, incluidos los que sólo puede ofrecer pequeñas cantidades de biomasa leñosa, repartidas en grandes áreas.

Es muy probable que cuando la capacidad de oferta se limita a la "comercial", la zona de fuentes de abastecimiento aumentará considerablemente, por lo que los recursos fuera de Castilla y León pueden resultar interesantes para la planta. Prospectivo que hace hincapié en la necesidad de realizar el análisis más allá de los límites administrativos.

Otro caso (ver Figura 37), se basa en el supuesto hipotético de que toda la materia prima del territorio es muy adecuada para la industria de fibra, pero no puede ser utilizado con fines energéticos. El "woodshed" en este caso, muestra un equilibrio basado en una alta oferta con escasa competencia, representando la zona de abastecimiento necesaria para satisfacer la demanda de energía cuando solo la biomasa menos adecuada para la industria de la fibra puede ser utilizada.

4.5. WISDOM en el contexto nacional

La relación geográfica entre producción de dendrocombustibles y sus lugares de consumo varía considerablemente en función de la naturaleza de éstos y de los mercados que satisfacen. Mientras algunas biomásas son consumidas cerca de los lugares de producción (leñas), otras, de mayor valor añadido, llegan a cualquier lugar del país e incluso son exportadas (pellets, briquetas o carbón vegetal), si bien la primera transformación se realiza mayoritariamente cerca de las zonas de producción primaria.

Castilla y León es una de las zonas forestales más importantes de España, y aunque hay una importante infraestructura industrial que procesa los productos forestales leñosos, una parte de su producción es consumida fuera de la comunidad; recíprocamente, la industria de la región consume recursos forestales de otras comunidades. Puesto que las unidades administrativas subnacionales, como la Comunidad Autónoma de Castilla y León, no disponen de un sistema de fronteras donde se registra el comercio de mercancías a través de sus límites, no se puede determinar la cuantía ni composición de los productos que entran o abandonan la comunidad. El análisis WISDOM que hasta ahora se ha presentado considera el territorio de Castilla y León como una isla, y no tiene en cuenta estos flujos. Aunque el análisis es esencialmente correcto, dada la potencia de la industria regional y la dificultad para transportar productos de bajo valor como leñas o subproductos industriales, la ampliación del enfoque a una unidad nacional puede aportar una información más completa.

El análisis a nivel nacional no pudo ser realizado en el contexto del presente trabajo debido a falta de información cartográfica y estadística así como a falta de tiempo. Sin embargo, se estableció la metodología y se desarrollaron los pasos analíticos para obtener la visión general a nivel nacional. El esquema se muestra en los gráficos de flujo, Figura 38 y Figura 39, para los módulos de la oferta y la demanda respectivamente.

Al contrario que la geodatabase WISDOM para Castilla y León, que está muy pormenorizada tanto en términos de estimaciones cuantitativas como en detalle geográfico, el análisis para el resto del país deberá realizarse a una mayor resolución en ambos términos. La base cartográfica serán las provincias (43 fuera de Castilla y León) mientras que la estimación del consumo y de los niveles de producción se basará en estadísticas a nivel de provincia de tipos de masas forestales, industrias, datos domésticos, y en el Mapa Corine Land Cover como base para la distribución espacial de las zonas de producción y consumo.

Considerando la escala de los datos de usos de suelo de referencia (1:200 000) y la necesidad de datos a nivel nacional manejables, el análisis espacial nacional podría ser realizado en formato *raster* con un tamaño de celda entre 300 y 500m.

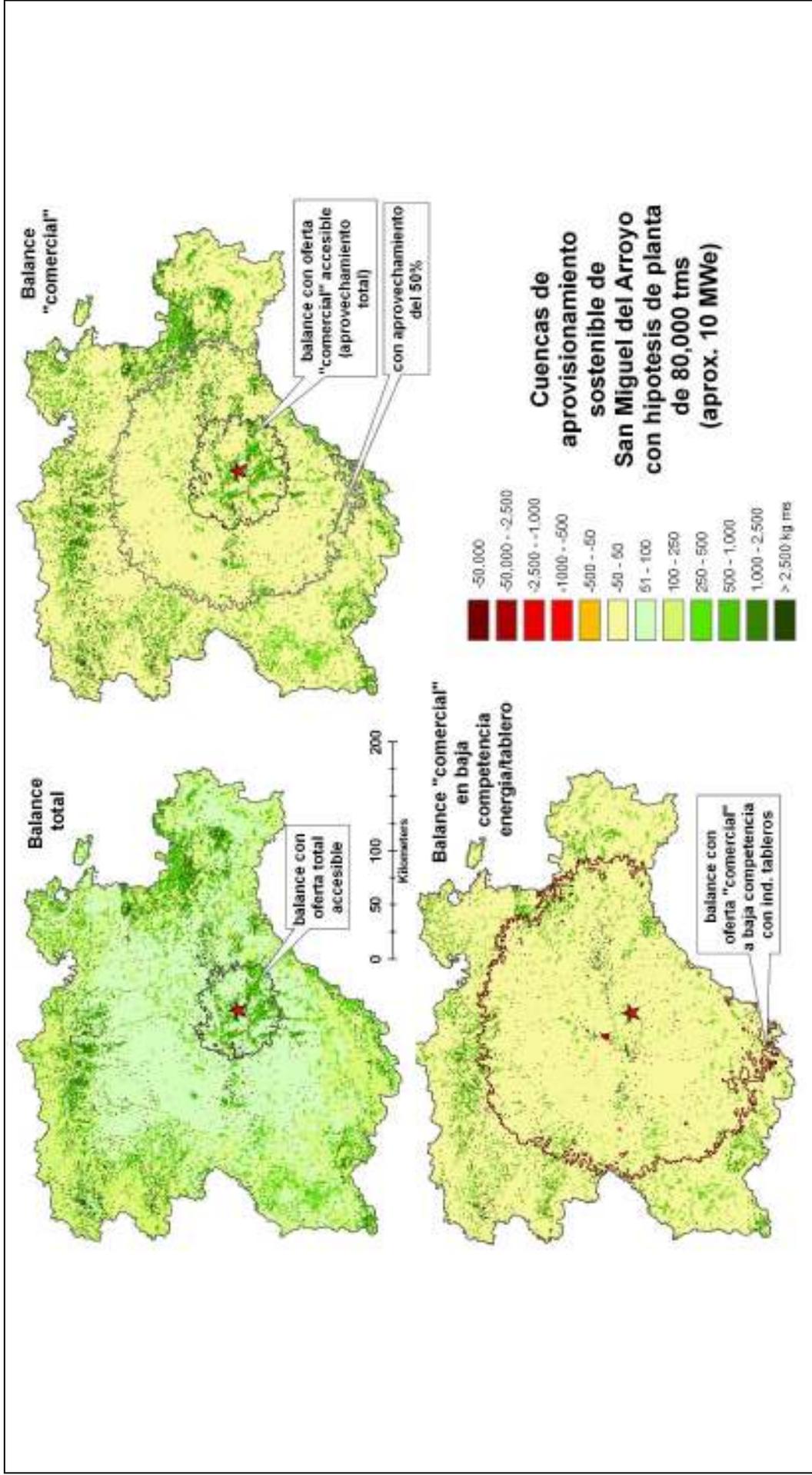


Figura 37. Ejemplo de definición de una zona de aprovisionamiento sostenible.

Caso de San Miguel del Arroyo, asumiendo una hipotética planta de 10 MWe, que consume 80 000 t ms/año y considerando diferentes escenarios de abastecimiento: total, "comercial" (intensidades de explotación altas y bajas) y "comercial" fracción no apta para la industria de fibra.
Fuente: Propia

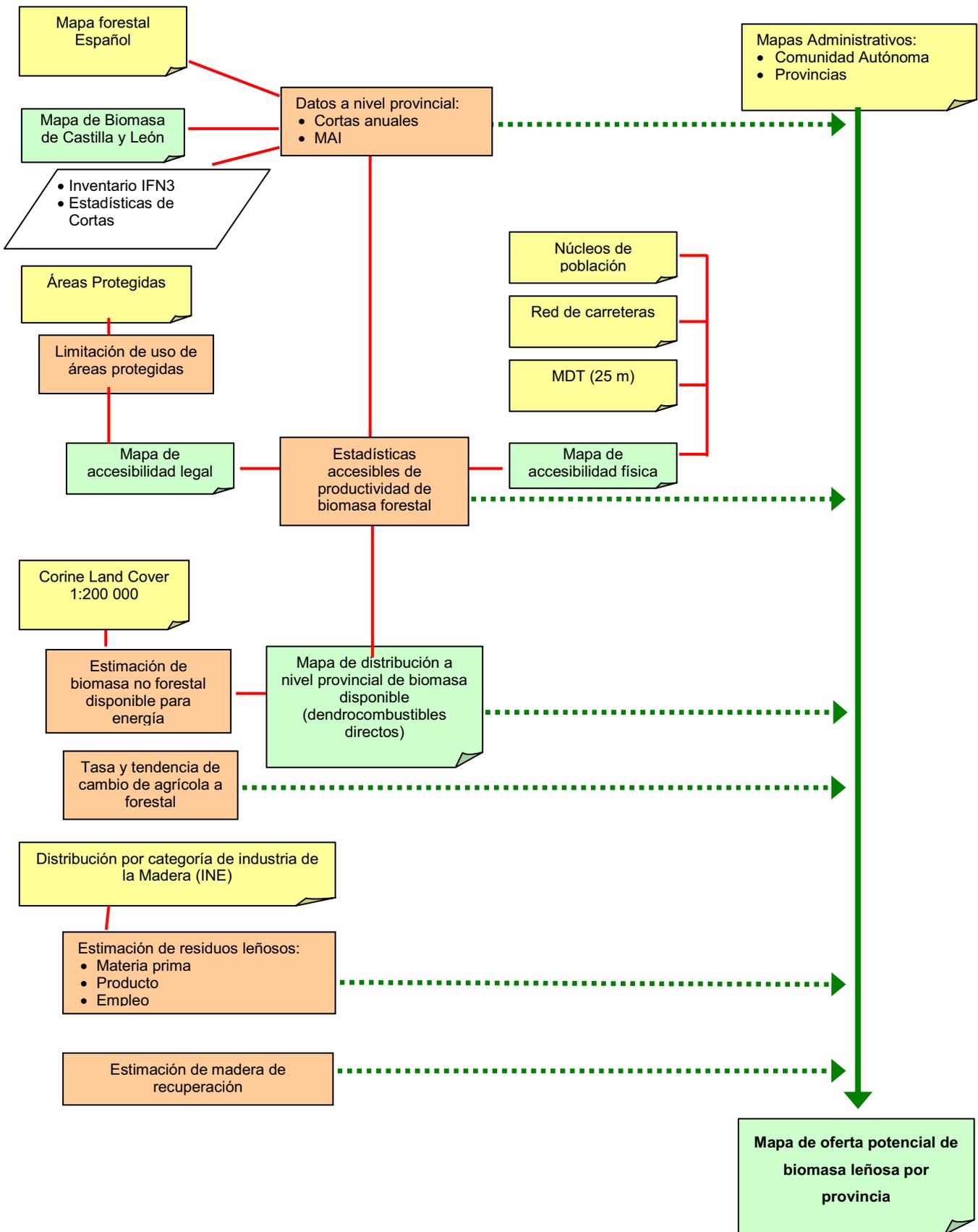


Figura 38. Diagrama de flujo del módulo de oferta nivel nacional. Flowchart of national-level supply module (province level)

Fuente: Propia

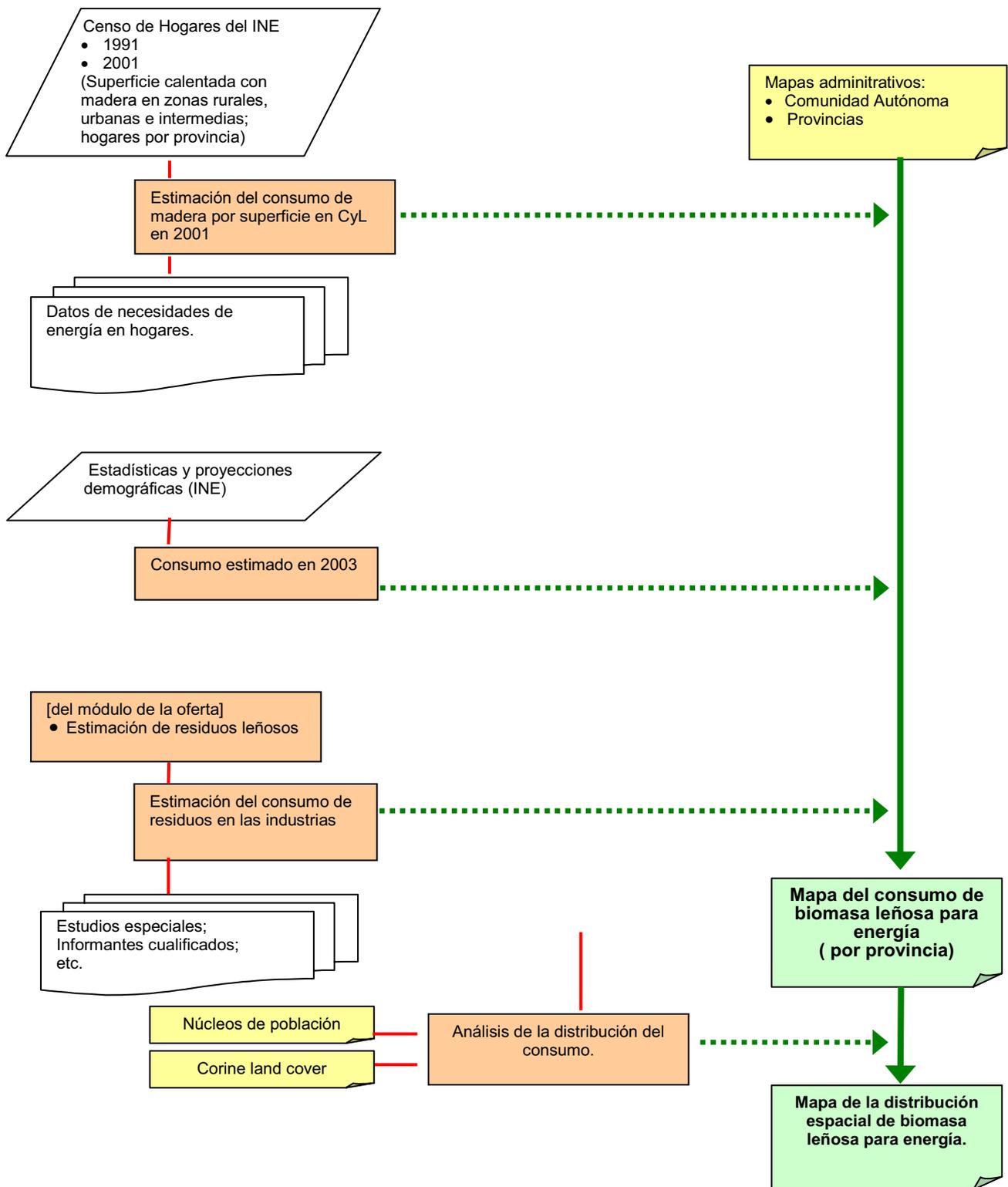


Figura 39. Diagrama de flujo del módulo de demanda a nivel nacional.

Fuente: Propia

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Resultados de WISDOM Castilla y León

El principal resultado del proyecto WISDOM es la geodatabase creada, cuyo desarrollo queda explicado, con mayor o menor fortuna, en este documento. Los mapas mostrados aquí son ejemplos representativos de las capas temáticas principales, pero constituyen sólo una fracción del potencial temático y cartográfico de la geodatabase que ofrece grandes posibilidades de información, caracterizadas por la detallada resolución espacial y temática. Sin embargo, hay algunos aspectos adicionales que pueden ser integrados y analizados para mejorar la geodatabase actual como herramienta de planificación. Los principales elementos de este futuro desarrollo/refinamiento se exponen a continuación.

Para la estimación de la oferta y la demanda de biomasa leñosa se han empleado los valores medios o más probables de los factores que las componen. Este análisis no permite identificar el intervalo en que se pueden mover oferta y demanda, y por lo tanto no se puede abordar el riesgo de la previsión. Para poder mostrar la incertidumbre de las estimaciones debida a las variaciones de los datos, causadas por la planificación forestal o cambios en los mercados de productos por ejemplo, se recomienda completar los balances oferta/demanda con las previsiones máximas y mínimas de oferta y demanda, para estimar el intervalo de operación, el riesgo y la sensibilidad a los factores.

Se recomienda evaluar con mayor precisión la productividad potencial comercial, discriminado el umbral que puede ser interesante/adecuado para los aprovechamientos que satisfacen la demanda local y para la producción comercial y transporte a plantas de biomasa o a lugares de consumo lejanos.

La aplicación de modelos selvícolas específicos para cada formación y estado selvícola indudablemente supone un salto cualitativo, que permite, unido a lo expresado en el punto anterior, establecer previsiones mucho más realistas de la oferta, y caracterizar mejor sus posibles variaciones, y por tanto los riesgos. El análisis del balance oferta/demanda así realizado permite la definición de escenarios realistas del superávit inmediatamente disponible para iniciativas bioenergéticas.

La estimación de los costes para la puesta en planta de los productos, junto a los precios de los productos en otras industrias, permite una mejor aproximación a la realidad, pudiendo desagregar la oferta total en función de su accesibilidad económica y en función de la distancia a otros lugares de consumo.

La inclusión en la oferta indirecta de los productos del reciclado y de la valoración de residuos de madera puede dar una visión más realista de los recursos disponibles, caracterizando una fuente de suministro que puede ser muy importante.

Los resultados del balance presentados en este informe pueden ser considerados en su conjunto como optimistas e indicativos del potencial a medio plazo, más que como una estimación realista de los recursos disponibles inmediatamente, debido fundamentalmente a la falta de consideración de la situación selvícola.

La demanda de biomasa leñosa puede mejorarse con nuevas fuentes de información, y completarse con indicadores de evolución, como extensión de las redes de gas o incremento en la instalación de calderas de consumo de biomasa.

Se propone analizar el contexto nacional al que pertenece Castilla y León, aunque sea aplicando un análisis WISDOM de baja resolución basado en datos a nivel de provincia y datos de usos del suelo con una menor escala (por ejemplo Corine Land Cover).

5.2. Seguimiento

Como ha pasado en los análisis WISDOM realizados en otros países (Eslovenia y Argentina por ejemplo), la construcción de la geodatabase ha consumido mucho tiempo y consecuentemente las misiones han sido suficientes para completar la línea base del procesado de datos dejando poco tiempo para una fase analítica adecuada, que debería ser el principal "output" del proceso total.

Para poder completar el proceso se recomienda continuar el trabajo WISDOM con los siguientes objetivos:

- Mejorar los módulos de oferta y demanda de la geodatabase con rangos de valores mínimos y máximos y con un análisis de las fuentes comerciales y no comerciales más detallado para poder sustentar la construcción de escenarios.
- Implementar modelos selvícolas que estimen la biomasa actualmente disponible de zonas forestales.

- Realizar estimación de costes de los productos biomásicos.
- Inclusión en la oferta indirecta de madera proveniente del reciclado y valorización.
- Difusión de datos entre las empresas potencialmente interesadas.
- Completar el análisis en Castilla y León con la verificación de los principales supuestos hechos en este primer análisis.
- Realizar el análisis WISDOM en todo el país con la resolución que sea posible, para poder clarificar el contexto en el que está incluida Castilla y León y para poder apoyar la toma de medidas políticas bioenergéticas a nivel nacional.
- Desarrollar el módulo de integración para realizar una verdadera planificación que permita un aprovechamiento racional de los recursos, orientando el aprovechamiento hacia los lugares con mayor superávit, proponer áreas prioritarias de intervención, evitar zonas de sobre-competencia, y apoyar medidas políticas objetivas incluyendo además elementos socioeconómicos como:
 - La propiedad de los recursos.
 - Las áreas cubiertas actualmente por redes de gas, etc.
 - Las características socioeconómicas y demográficas de las comarcas.
 - La creación de puestos de trabajo y beneficios adicionales para los habitantes del medio rural, como calor y electricidad a bajo coste.
- Más específicamente, el módulo de integración debería incluir mayor información sobre la demanda, y en particular considerar los aspectos que son responsabilidad directa de la administración de Castilla y León, que pueden incluir, preliminarmente, lo siguiente:
 - Cartografía de los edificios públicos que puedan convertir sus sistemas de calefacción a sistemas que usen biomasa y de sus contextos y recursos
 - Cartografía de los *district heating* existentes actualmente y definición de los lugares adecuados para construir nuevos en cada provincia
 - Cartografía de la localización de las plantas industriales que se espera puedan desarrollar soluciones bioenergéticas a corto plazo

5.3. Sinergias interinstitucionales

La iniciativa WISDOM ha sido realizada principalmente como una actividad de CESEFOR y del sector forestal, aunque otros organismos institucionales han participado. A estos organismos, dedicados a agricultura, energía, industria y estadística, se les han solicitado y han suministrado datos pero no han sido involucrados en el proceso como tal. En buena parte, esta situación se debe al hecho de que algunos de estos organismos ya están comprometidos con la administración de Castilla y León a colaborar en la preparación del Plan de la Bioenergía para Castilla y León, que ha coincidido en su elaboración con la del proyecto WISDOM.

La situación es tal que hay ciertas reservas en la solicitud de colaboraciones a corto plazo mientras que otras a medio plazo están previstas. Al mismo tiempo, hay cierta preocupación por aumentar la susceptibilidad de otros organismos al invadir sus áreas de trabajo.

Es extremadamente importante entender que el carácter intersectorial e interdisciplinario de WISDOM y de la bioenergía en general, necesita que los datos sean compartidos y colaboración entre todos los organismos e instituciones regionales y nacionales afectados. Por lo tanto se recomienda que WISDOM Castilla y León sea presentado y discutido abiertamente para poder compartir el ámbito de la actividad, verificar la robustez o debilidad de los supuestos realizados y explorar nuevas formas abiertas de colaboración.

6. Glosario

CESEFOR	Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León. www.cesefor.com
CyL	Castilla y León
CD	Clase diamétrica, de 5 cm de amplitud
CMA	Consejería de Medio Ambiente www.jcyl.es
D	Diámetro a la altura del pecho
DC	Clase diamétrica, de 5 cm de amplitud
EREN	Ente Regional de la Energía www.eren.jcyl.es
f ER	Software en base SIG para la expansión y procesado de los datos
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IAVC	Incremento anual de volumen con corteza
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. www.idae.es
INE	Instituto Nacional de Estadística. www.ine.es
ITACyL	Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. www.itacyl.es
MCA	Mapa de Cultivos y Aprovechamientos
MFE3	Tercer Mapa Forestal Español, base del IFN3 y de algunos cálculos de $f ER$
ms	Materia seca (0 % de contenido de humedad en la madera, madera anhidra).
NFI3	3 ^{er} Inventario Forestal Nacional
RC	Consultor Informador
WISDOM	Metodología de Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles
MARM	Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. www.marm.es

7. Bibliografía

- APAT, 2003. *Le biomassa legnose. Un'indagine delle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia. Rapporti APAT 30/2003*. 99 p. ISBN 88-448-0097-7.
- ESMAP, 2005. *Advancing bioenergy for sustainable development. Guideline for policymakers and investors. Volumes I, II and III. Prepared by S. Kartha, G. Leach and S. C. Rajan, Stockholm Environment Institute*.
- EUROFORENET. 2007. *Guidelines on local European forest energy networks. European Landowners' Organization*.
- Drigo R., G. Chirici, B. Lasserre and M. Marchetti. 2007. *Analisi su base geografica della domanda e dell'offerta di combustibili legnosi in Italia (Geographical analysis of demand and supply of wood fuel in Italy). L'Italia Forestale e Montana 2007, LXII (6/6):303-324*.
- FAO. 2003. *Woodfuels Integrated Supply/Demand Overview Mapping – WISDOM*. Prepared by O.R. Masera, R. Drigo and M.A. Trossero. See: <http://www.fao.org/DOCREP/005/Y4719E/Y4719E00.HTM>
- FAO. 2004. *WISDOM Senegal – Analysis of woodfuel production/consumption patterns in Senegal. Draft prepared by R. Drigo for the FAO Wood Energy Programme*.
- FAO. 2005a. *i-WESTAT – Interactive Wood Energy Statistics. Update 2004. Prepared by R. Drigo and M.A. Trossero*. See: <http://www.fao.org/docrep/009/j6448e/j6448e00.HTM>
- FAO. 2005b. *Fuelwood “hot spots” in Mexico: a case study using WISDOM – Woodfuel Integrated Supply-Demand Overview Mapping. Prepared by R. O. Masera, G. Guerrero, A. Ghilardi, A. Velasquez, J. F. Mas, M. Ordonez, R. Drigo and M. Trossero. FAO Wood Energy Programme and Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM)*. See: <http://www.fao.org/docrep/008/af092e/af092e00.HTM>
- FAO. 2006a. *Woodfuel Integrated Supply / Demand Overview Mapping (WISDOM) - Slovenia - Spatial woodfuel production and consumption analysis. Prepared by R. Drigo and Ž. Veselič. FAO Forestry Department – Wood Energy Working Paper*. See: <http://www.fao.org/docrep/009/j8027e/j8027e00.HTM>
- FAO. 2006b. *WISDOM – East Africa. Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping (WISDOM) Methodology. Spatial woodfuel production and consumption analysis of selected African countries. Prepared by R. Drigo for the FAO Forestry Department - Wood Energy*. See: <http://www.fao.org/docrep/009/j8227e/j8227e00.HTM>
- FAO 2007. *Wood-energy supply/demand scenarios in the context of poverty mapping. A WISDOM case study in Southeast Asia for the years 2000 and 2015. Prepared by R. Drigo for the Environment and Natural Resources Service (SDRN) and Forest Product Service (FOPP). Environment and Natural Resources Working Paper 27. ISBN 978-92-5-105710-0*. <http://www.fao.org/docrep/010/a1106e/a1106e00.htm>
- FAO. 2009a. *WISDOM Argentina – Análisis del Balance de Energía derivada de la Biomasa en Argentina. FAO Departamento Forestal. Dendroenergía*.
- FAO. 2009b. *WISDOM for Cities - Wood energy and urbanization in developing countries: an analysis of urban/rural interaction using the WISDOM approach*. Prepared by R. Drigo and F. Salbitano. FAO Forestry Wood Energy and Urban Forestry.
- WBA. 2009. *Report. Global sustainable potential of biomass for energy*. www.worldbioenergy.org

8. Apéndices

Apéndice 1: Lista de contactos

NOMBRE	POSICIÓN	ENTIDAD	CORREO ELECTRÓNICO
Miguel Trossero	Senior Officer	FAO	Miguel.Trossero@fao.org
Rudi Drigo	Consultor Internacional		rudi.drigo@tin.it
Marcos Martín Larrañaga	Consultor FAO	AVEBIOM	marcosmartin7@gmail.com
Álvaro Picardo	asesor del director general	Junta Castilla y León	picnieal@jcyL.es
Gabriel Villamayor Simon	Técnico	ITACYL	vilsinga@itacyl.es
Santiago Díez Castilla	Responsable Área de Bioenergía	EREN	diecassa@jcyL.es
José Luis Alonso	gerente	CESEFOR	joseluis.alonso@ceseфор.com
Raquel Puntero	administración	CESEFOR	raquel.puntero@ceseфор.com
Miguel Broto	jefe de área de i+d+i (investigación desarrollo y información)	CESEFOR	miguel.broto@ceseфор.com
Nacho Campanero	i+d+i	CESEFOR	nacho.campanero@ceseфор.com
Paco Rodríguez	i+d+i	CESEFOR	paco.rodriguez@ceseфор.com
Antonio de Diego	jefe de área industrial	CESEFOR	antonio.dediego@ceseфор.com
Álvaro Parrado	área industrial	CESEFOR	alvaro.parrado@ceseфор.com
Félix Pinillos	jefe de área forestal	CESEFOR	felix.pinillos@ceseфор.com
Amaia Cortijo	área forestal	CESEFOR	biomasa.soria@ceseфор.com
Rodrigo Gómez	jefe de área de tecnologías de la información	CESEFOR	rodrigo.gomez@ceseфор.com
José Luis Sevillano	tecnologías de la información	CESEFOR	joseluissevillano@ceseфор.com
Jorge Herrero	jefe de área de marketing	CESEFOR	jorge.herrero@ceseфор.com

Apéndice 2: Fases analíticas y nombres de archivos

Tabla A2.1: Nombre de los principales mapas usados y creados

Estructura administrativa y otras características territoriales.

Nombre de archivo	Localización	Descripción/procedimiento
<i>Mun_E50</i>	<i>Administrativo\CyL_03.mdb</i>	Mapa de municipios
<i>Cascos_INE_2004.shp</i>	<i>Administrativo\</i>	Cascos urbanos
<i>Provincias E50.shp</i>	<i>Administrativo\</i>	Provincias de Castilla y León
<i>Mune50_100.grd</i>	<i>Administrativo\</i>	Mapa raster de Municipios, píxel de 100m
<i>Comarcas.grd</i>	<i>Administrativo\</i>	Mapa raster de Comarcas, píxel de 100m
<i>Prove50_100.grd</i>	<i>Administrativo\</i>	Mapa raster de Provincias, píxel de 100m
<i>rutas_jcyl.shp</i>	<i>Vías\</i>	Red viaria (carreteras asfaltadas y principales caminos)

Mapas de accesibilidad

Nombre de archivo	Localización	Descripción/procedimiento
<i>cleonmdt.grd</i>		MDT original 25m
<i>Cyl_dtm100.grd</i>	<i>DTM_100\</i>	MDT recalculado a 100m
<i>Slope100.grd</i>	<i>DTM_100\</i>	Mapa de pendientes 100m (floating)
<i>Slope100_int.grd</i>	<i>DTM_100\</i>	Mapa de pendientes, 100m, integer values
<i>Rutas100.grd</i>	<i>DTM_100\</i>	Versión raster de <i>rutas_jcyl.shp</i> , 100m
<i>Cascos100.grd</i>	<i>DTM_100\</i>	Versión raster de <i>Cascos_INE_2004.shp</i> , 100m
<i>Dist0_100_1.grd</i>	<i>DTM_100\</i>	Unión de <i>Rutas100</i> y <i>Cascos100</i>
<i>Cd_100.grd</i>	<i>DTM_100\</i>	Cost distance sobre <i>dist0_100_1</i> ; <i>slope100_int</i>
<i>Cd_reduction.grd</i>	<i>DTM_100\</i>	Reducción de costdistance debida a carreteras sin cartografiar
<i>Cd_100red.grd</i>	<i>DTM_100\</i>	Reducción de costdistance debida a carreteras secundarias sin cartografiar
<i>Cd_30_inv.grd</i>	<i>DTM_100\</i>	Cost Distance reclasificado a 30 clases (quantile) 30=accesibilidad máxima
<i>Acc_red_ph.grd</i>	<i>Access\</i>	Accesibilidad física reducida (100=máx; 3=mín)
<i>Slp40_limit.grd</i>	<i>Access\</i>	Máscara de pendiente >=40% (límite de mecanización)
<i>Acc_ph.grd</i>	<i>Access\</i>	Accesibilidad física ($acc_red_ph * slp40_limit / 100$)
<i>Protect75.grd</i>	<i>Access\</i>	Accesibilidad de áreas protegidas (75%)
<i>Acc.grd</i>	<i>Access\</i>	Accesibilidad (física y legal)

Módulo de oferta

Nombre de archivo	Localización	Descripción/procedimiento
<i>Mfi.shp</i>	<i>MF3\</i>	Mapa Forestal (versión modificada y usada para el IFN3)
<i>Mfi_t_estr.grd</i>	<i>MF3\</i>	Raster (100m) de <i>mfi.shp</i> sobre el campo <i>Tipo_estructura</i>
<i>Estratosdef4.shp</i>	<i>MF3\</i>	Shape del MFE con códigos de estratificación
<i>Mfi_festr2.grd</i>	<i>MF3\</i>	Raster con el campo estrato <i>Estratosdef4.shp</i>
<i>Mfi_estr_pr.grd</i>	<i>MF3\</i>	Mapa para el estrato 0 (no data)
<i>Sigpac100.grd</i>	<i>Sigpac_100\</i>	Raster del mapa del SIGPAC con el campo <i>Uso del suelo</i>
<i>Sigp_naz0.grd</i>	<i>Sigpac_100\</i>	mapa del SIGPAC cubriendo el estrato 0

<i>Sigpac_iabk_md.grd</i>	<i>Sigpac_100\</i>	<i>Mapa de productividad de los usos de suelo del SIGPAC</i>
<i>Mapas de resultados NAZCA</i>		<i>Ver la Tabla para los nombres de los mapas intermedios del análisis NAZCA de la oferta potencial</i>
<i>ofer</i>		<i>Oferta accesible</i>
<i>Ofer_c</i>		<i>Oferta comercial total</i>
<i>Ofer_c_ener</i>		<i>Oferta solo energía</i>
<i>Of_c_cmpbaja</i>		<i>Oferta en baja competencia</i>
<i>Of_c_compet</i>		<i>Oferta en competencia tableros/energía</i>
<i>Of_c_priotab</i>		<i>Oferta prioridad por tableros</i>

Módulo de oferta

<i>Nombre de archivo</i>	<i>Localización</i>	<i>Descripción/procedimiento</i>
<i>conskg_ener0</i>		

Módulo de integración

bal_tot
bal_c
bal_c_ener
bal_c_cmpbaj

Tabla A2.2: Nombres de los mapas raster (*.grd) de los componentes de la oferta forestal basados en el proceso f-ER y en los balances oferta/demanda.

Especies	Especies industriales y tableros			Especies no industriales ni tableros			productos (componentes del árbol)					
	1	2	3	a1	a2	a3	b1	b2	b3	c1	c2	c3
Solo energía (preferencia baja)	*_grd	x access	x rotacion	end rot > 10000kg/ha	oferta accesible x mask comercial							
Solo energía (preferencia alta)	abc3	abc3_acc	abc3_acc_r	abc3cmask	abc3com							
Subtotal solo energía	a1a2	a1a2_acc	a1a2_acc_r	a1a2cmask	a1a2com							
Prioridad tableros	a123b3c3	a123b3c3_acc	a123b3c3ac_r	a123b3c3cmask	a123b3c3com							
Competencia energía/tableros	c1	c1_acc	c1_acc_r	c1cmask	c1com							
		c1_acc0	c1_accr0									merge msk0
	b1b2c2	b1b2c2_acc	b1b2c2_acc_r	b1b2c2cmask	b1b2c2com							= c1com0
		b1b2c2_acc0	b1b2c2_accr0									
Oferta forestal		b1b2c1c2_acc0	b1b2c1c2_accR	b1b2c1c2_cmask	b1b2c1c2_com							
Todas combinaciones	abc123	abc123_acc	abc123_acc_r	abc123cmask	abc123com							merge msk0
Oferta en áreas no forestales (sigpac)	sigp_iabk_md	ofer_dir		sigpaccmask	sigpiabkmd_c							= b1b2c1c2_com0
Residuos en ind. forestal		suma										suma
Oferta total		pro_md_cas_0										suma
Demanda x energía		ofer										Of_c_cmp
Balances (ener)		consgk_ener0										consgk_ener0
Demanda x energía y tablero		bal_tot										bal_c_cmpbaj
Balances (ener+tabl)		consgk_entab										consgk_entab
		bal_entab										bal_c_entab

Apéndice 3 : Mapa forestal de CyL : Campo “Tipo_Estructura”

TIPOESTR	t_estru_nombre	t_estru_shrt
1	Bosque	Bosque
2	Bosque de plantación	Plantación
3	Bosque adhesionado	Bosque adhesionado
4	Complementos de bosque	Compl. de bosque
5	Temporalmente desarbolado (talas)	Temp.desarbolado (talas)
6	Temporalmente desarbolado (incendios)	Temp.desarbolado (incen.)
7	Temporalmente desarbolado (fenómenos naturales)	Temp.desarbolado (fen.nat.)
8	Matorral	Matorral
9	Herbazal	Herbazal
10	Monte sin vegetación superior	Monte sin veg.superior
11	Arbolado fuera de monte (riberas)	Arb.fuera de monte (riberas)
12	Arbolado fuera de monte (bosquetes)	Arb.fuera de monte (bosquetes)
13	Arbolado fuera de monte (alineaciones)	Arb.fuera de monte (alineaciones)
14	Arbolado fuera de monte (árboles sueltos)	Arb.fuera de monte (arb.sueltos)
15	Agrícola y prados artificiales	Agrícola y prados artificiales
16	Artificial (otros que no son 21 a 24)	Artificial (otros que 21 22 23)
17	Humedal	Humedal
18	Agua	Agua
19	Mar	Mar
20	Fuera de límites	Fuera de límites
21	Artificial (autopistas y autovías)	Artificial (autopistas y autovías)
22	Artificial (infreestructuras de conducción)	Artificial (infrestr.de conducción)
23	Artificial (minería, escombreras, vertederos)	Artificial (min. escomb. vertederos)
24	Prados con sebes	Prados con sebes
25	Mosaico arbolado sobre cultivo	Mosaico arb.sobre cultivo
26	Mosaico arbolado sobre Forestal desarbolado	Mosaico arb.sobre Forestal desarb.
27	Mosaico desarbolado sobre cultivo	Mosaico desarb.sobre cultivo
28	Cultivo arbolado	Cultivo arbolado
29	Parque periurbano	Parque periurbano
30	Área recreativa	Área recreativa
31	Ibón	Ibón
32	Monte bajo	Monte bajo
33	Mancha	Mancha
34	Prado	Prado
35	Pastizal-matorral	Pastizal-matorral

Apéndice 4: Códigos de los usos de suelo del SIGPAC en el mapa SIGPAC100.grd

usecode (VALUE en sigpac100.grd)		Uso_sigpac	Superficie (ha)
1	AG	Agua	122,290
2	CA	Carreteras	239,114
3	CO	Contorno olivar	64
4	ED	Edificaciones	708
5	FL		1
6	FO	Forestal	1,145,300
7	FS		341
8	FV		1
9	FY	Frutales	17,730
10	IM	Improductivos	64,542
11	IS		101
12	IV	Invernaderos	11
13	OV	Olivar	7,617
14	PA	Pasto con arbolado	782,351
15	PR	Pasto arbustivo	2,472,822
16	PS	Pastizal	363,916
17	TA	Tierras arables	3,981,163
18	TH	Huerta	3,034
19	VF	Viñedo - frutal	304
20	VI	Viñedo	64,235
21	VO	Viñedo - olivar	36
22	ZC	Zona concentrada (no ortofoto)	50,609
23	ZU	Zona urbana	105,605
			9,421,895

Apéndice 5: Variables usadas en el proceso fER

Las variables usadas para la estimación de la biomasa leñosa potencialmente disponible para uso energético se encuentran resaltadas en gris.

AB	DG
ABTP	DM
AEREA_INIA	ENERGIA_C_0
AEREA_INIA_50	ENERGIA_C_10
APEASCC	ENERGIA_C_20
APEASSC	ENERGIA_C_30
CANTERCC	ENERGIA_C_40
CANTERSC	ENERGIA_C_50
CD	ENERGIA_M_0
CHAPACC	ENERGIA_M_10
CHAPASC	ENERGIA_M_20
CO2_CORTEZA	ENERGIA_M_30
CO2_FOLIAR	ENERGIA_M_40
CO2_FUSTE	ENERGIA_M_50
CO2_RADICAL	ESPECIE
CO2_RAMAS	FACTOR_CREC
CORTEZA	FOLIAR
CREC_AEREA_INIA	FOLIAR_50
CREC_AEREA_INIA_50	FUSTE
CREC_APEASCC	FUSTE_50
CREC_APEASSC	HM
CREC_CANTERCC	I _{AVC}
CREC_CANTERSC	ID
CREC_CHAPACC	ID_PARCELA
CREC_CHAPASC	N
CREC_CO2_CORTEZA	NTP
CREC_CO2_FOLIAR	PARCELA
CREC_CO2_FUSTE	POSTESCC
CREC_CO2_RADICAL	POSTESSC
CREC_CO2_RAMAS	PROVINCIA
CREC_ENERGIA_C_0	R_m_2
CREC_ENERGIA_C_10	R_M_7_50
CREC_ENERGIA_C_20	R_m2_50
CREC_ENERGIA_C_30	R_M7
CREC_ENERGIA_C_40	R2_7
CREC_ENERGIA_C_50	R2_7_50
CREC_ENERGIA_M_0	RABERONCC
CREC_ENERGIA_M_10	RABERONSC
CREC_ENERGIA_M_20	RADICAL
CREC_ENERGIA_M_30	RADICAL_50
CREC_ENERGIA_M_40	SIERRA_GRUESACC
CREC_ENERGIA_M_50	SIERRA_GRUESASC
CREC_FOLIAR	SIERRACC
CREC_FOLIAR_50	SIERRASC
CREC_FUSTE_50	TOTAL_INIA
CREC_POSTESCC	TOTAL_INIA_50
CREC_POSTESSC	TOTALAEREA
CREC R_m_2	TOTALFOLIAR
CREC R_M_7_50	TOTALFUSTE
CREC R_m2_50	TOTALRADICAL
CREC R_M7	TOTALRAMAS
CREC R2_7	TRITURACIONCC
CREC R2_7_50	TRITURACIONSC
CREC_RABERONCC	VCC
CREC_RABERONSC	VLE
CREC_RADICAL	VSC
CREC_RADICAL_50	R5_7
CREC_SIERRA_GRUESACC	CREC R5_7
CREC_SIERRA_GRUESASC	
CREC_SIERRACC	
CREC_SIERRASC	
CREC_TOTAL_INIA	
CREC_TOTAL_INIA_50	
CREC_TOTALAEREA	
CREC_TOTALFOLIAR	
CREC_TOTALFUSTE	
CREC_TOTALRADICAL	
CREC_TOTALRAMAS	
CREC_TRITURACIONCC	
CREC_TRITURACIONSC	

Apéndice 6: Factores de conversión

Factores de conversión de las unidades de Energía

WD = densidad de la madera (t/m³) 0.725
0.5934

t/m³ = Densidad estándar de la madera usado por FAO al 12% de humedad

t/m³ Materia seca de biomasa 0% humedad

Calculado de Reyes et al (1992) usando fórmula: oven-dry = 0,0134+0,8*(biomass at12% moisture)

Fuente: FAO-RWEDP "Energy-Environment Basics"

Factor de conversión leña-carbón

Valor de la conversión de leña a carbón (para madera de frondosas tropicales con 13% - base seca, horno no especificado) = 5.88 m³ leña/ Tonelada de carbón 5.88

Fuente: "WB-ESMAP Household Energy Guidebook"

Factores de conversión I-WEIS

PJ / '000 CUM of FW 0.0100050
'000 CUM of FW / PJ 99.95002499
'000 t de FW / PJ 72.46376812
PJ / '000 t de CH 0.0308
000 t de CH / PJ 32.46753247
PJ por ktep 0.041868

1 tonelada equivalente de petróleo (tep) = 41.868 Gigajoule 41.868
1 ktep = 0.041868 PJ 0.041868
000 CUM of Fw / ktep 4.184707646
000 t of Fw / ktep 3.033913043
000 t of CH / ktep 1.359350649
tep / CUM of Fw (ktep/000 CUM) 0.23896532
tep / ton of Fw (ktep/000 tons) 0.329607337

FAO

Parámetros básicos y factores de conversión

PCI madera	13.8	MJ/ kg	
PCI carbón	30.8	MJ/ kg	
Carbón/leña	165	kg carbón/ CUM	
Densidad de la madera	725	kg/ CUM	Aire seco medio
Disponibilidad de licor negro	2.27	CUM/ t pulpa química	

Supuestos auxiliares

Fracción de residuos de la madera usados como combustible: 50%

Fracción de licor negro usada como combustible: 100%

Fuente: FAO, Ing. E. Beaumont. Los combustibles forestales en América Latina.

		MJ	GJ	TJ	PJ
Leña	kg	13.8	0.0138	0.0000138	1.38E-08
	t	13800	13.8	0.0138	0.0000138
	CUM	10005	10.005	0.010005	1.0005E-05
	000 CUM	10005000	10005	10.005	0.010005
Carbón	kg	30.8	0.0308	0.0000308	3.08E-08
	t	30800	30.8	0.0308	0.0000308
	000 t	30800000	30800	30.8	0.0308
Licor negro	1 t de pulpa	22711.35	22.71135	0.02271135	2.2711E-05
	000 t de pulpa	22711350	22711.35	22.71135	0.02271135

Apéndice 7: Resumen del censo de viviendas de 2001: uso de leña para calefacción.

CC.AA. de la vivienda	TOTAL	Urbano entidades > 500.000 habitantes	Urbano entidades 100.001- 500.000 habitantes	Urbano entidades 50.001- 100.000 habitantes	Urbano entidades 10.001- 50.000 habitantes	Zona intermedia	Zona rural
<i>% de viviendas que utilizan madera para la calefacción</i>							
Andalucía	4.3	0.4	1.2	3.6	2.8	6.0	15.2
Aragón	6.8	0.4			2.6	7.9	22.7
Asturias (Principado de)	4.3		0.5	0.6	0.6	2.3	12.7
Baleares (Illes)	0.4		0.2		0.3	0.5	0.5
Canarias	0.8		0.2		0.4	0.8	1.7
Cantabria	6.5		0.6		1.2	3.5	17.5
Castilla y León	7.9		0.6	0.7	1.2	6.2	18.0
Castilla-La Mancha	7.6		0.6	0.5	3.1	7.7	18.1
Cataluña	0.4	0.2	0.1	0.1	0.3	0.7	1.1
Comunidad Valenciana	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4
Extremadura	2.2		0.7	1.1	0.8	1.8	4.6
Galicia	0.4		0.2	0.4	2.7	0.3	0.4
Madrid (Comunidad de)	0.5	0.4	0.2	0.3	0.5	2.2	5.3
Murcia (Región de)	7.5		0.9	0.9	4.6	8.5	19.0
Navarra (Comunidad Foral de)	2.2		0.4		0.7	3.5	4.7
País Vasco	0.6		0.6	0.3	0.3	0.6	1.3
Rioja (La)	4.2		0.4		3.4	5.0	12.7
Ceuta	0.2			0.2		0.1	0.0
Melilla	0.2			0.2			
TOTAL	2.5	0.3	0.5	0.7	1.4	3.3	8.7

Apéndice 8: Consumo de madera como combustible en el sector residencial en 1991 y 2001

Tabla A8.1: Consumo en viviendas en 1991

Requerimientos anuales de energía para calentar 1 m ² de vivienda (viv)	103.2 kWh	Tentative estimation based on personal communication from commercial boilers company operating in Soria, Cyl. [120 kcal * 0.86]	
Viviendas que usan madera como combustible primario	90 kWh	Tentative estimation based on report from Instituto de bioconstrucción y energía renovable Web page	
Total m²	12,817,265	Cens. 1991	Superficie estimada de viviendas calentadas con madera en 1991
Estimadas ocupadas y calentadas	12,817,265	Asumiendo que todas las viviendas que usan madera están ocupadas	
Nº de viviendas	141,152	Cens. 1991	Superficie media de vivienda en 1991 (m2)
Viviendas ocupadas	141,152	Asumiendo que todas las viviendas que usan madera están ocupadas	
Requerimientos energéticos¹		0.85 eficiencia	0.65 eficiencia
		2419.33419 kWh/CUM	1850.079087 kWh/CUM
kWh/m²	MJ/m²	CUM/m²	CUM/m²
103.2	371.52	0.043	0.056
134.16	482.976	0.055	0.073
Total Castilla y León	kWh	t	m³ de Pilas de leña
cafefacción	1,322,741,748	389,792	1,115,792
cafefacción + agua + cocina	1,719,564,272	506,730	1,450,529
	TJ	CUM	CUM
	4,762	546,738	714,965
		710,759	929,454
	MJ/ viv	t/dw	Pilas de leña / viv
	33,736	2.8	3.6
	43,856	3.6	4.7

Table A8.2: 2001 Household consumption

Requerimientos anuales de energía para calentar 1 m ² de vivienda (viv)	103.2	kWh	Tentative estimation based on personal communication from commercial boilers company operating in Soria, CyL [120 kcal * 0.86]	
	90	kWh	Tentative estimation based on report from Instituto de bioconstrucción y energía renovable Web page	
Viviendas que usan madera como combustible primario				
Total m ²	6,656,133	6656132.5	Cens. 2001	Superficie estimada de viviendas calentadas con madera en 2001
Estimadas ocupadas y calentadas	6,656,133	Asumiendo que todas las viviendas que usan madera están ocupadas		
Nº de viviendas	70,327	70327	Cens. 2001	Superficie media de vivienda en 2001 (m2)
Viviendas ocupadas	70,327	Asumiendo que todas las viviendas que usan madera están ocupadas		
Energy requirements¹			0.85 efficiency	0.65 efficiency
			2419.33419 kWh/CUM	1850.079087 kWh/CUM
calefacción	kWh/m²	MJ/m²	CUM/m²	Pilas de leña/m²
	103.2	371.52	0.043	0.087
Calefacción + agua + cocina	134.16	482.976	0.055	0.113
Total Castilla y León	kWh	TJ	CUM	m³ de Pilas de leña
calefacción	686,912,874	2,473	283,926	579,442
Calefacción + agua + cocina	892,986,736	3,215	369,104	753,274
				m³ de Pilas de leña
Por vivienda calefacción	kWh/viv	MJ/viv	CUM/v	Pilas de leña / viv
	9,767	35,163	4.0	8.2
Calefacción + agua + cocina	12,698	45,711	5.2	10.7
				t/dw
			5.3	3.8
			6.9	4.9
				10.8
				14.0

Apéndice 9: Variables asociadas a los municipios

(Tabla de atributos de Mun_e50.shp)

OBJECTID	
Shape	
ID	
CODMUN_n	
CODMUN	
NOMBRE	
pix_cascos	Número de píxeles de 1 ha de casco urbano dentro del municipio
PROVINCIA	
POP_01	
Z_dom91	Zona dominante en 1991 (rural, intermedia, urbana)
Z_dom01	Zona dominante en 2001 (rural, intermedia, urbana)
Viv01_rur	Superficie (m ²) de viviendas rurales
Viv01_Int	Superficie (m ²) de viviendas intermedias
Viv01_urb	Superficie (m ²) de viviendas urbanas
Viv01_m2	Superficie total de viviendas (m ²) en 2001
Viv91_m2	Superficie total de viviendas (m ²) en 1991
Carb01_vm2	Superficie (m ²) de viviendas calentadas con CARBÓN en 2001
Mad01_vm2	Superficie (m ²) de viviendas calentadas con MADERA en 2001
Petr01_vm2	Superficie (m ²) de viviendas calentadas con PETROLEO en 2001
Gas01_vm2	Superficie (m ²) de viviendas calentadas con GAS en 2001
Elec01_vm2	Superficie (m ²) de viviendas calentadas con ELECTRICIDAD en 2001
Otro01_vm2	Superficie (m ²) de viviendas calentadas con OTROS COMBUSTIBLES en 2001
Sin_cal01	Superficie (m ²) de viviendas SIN CALEFACCION en 2001
Satur_mad0	Saturación del uso de madera en 2001
Satur_mad9	Saturación del uso de madera en 1991
Mad01_t	Consumo de MADERA en 2001 (t)
Mad91_t	Consumo de MADERA en 1991 (t)
Carb01_No	Número de viviendas usando CARBÓN en 2001
Mad01_No	Número de viviendas usando MADERA en 2001
Petr01_No	Número de viviendas usando PETROLEO en 2001
Gas01_No	Número de viviendas usando GAS en 2001
Elec01_No	Número de viviendas usando ELECTRICIDAD en 2001
Otro01_No	Número de viviendas usando OTROS COMBUSTIBLES en 2001
Sin_cal011	Número de viviendas SIN CALEFACCION en 2001
Viv01_No	Número total de viviendas en 2001
Viv91_No	Número total de viviendas en 1991
Emp_Aserr	Número de empleados en aserraderos
Res_aser_min	Residuos en aserradero (mín) @ 13.2 t / empleado
Res_aser_med	Residuos en aserradero (med) @ 16.9 t / empleado
Res_aser_max	Residuos en aserradero (máx) @ 20.6 t / empleado
Emp_Aserr2	Nº de trabajadores en aserraderos
Emp_Papel	Nº de trabajadores en papel
Emp_Resto	Nº de trabajadores en otros
Emp_Total	suma de los tres anteriores
Res_tot_min	Mínimo total de residuos @ 13.2 t / empleado
Res_tot_med	Total medio de residuos @ 16.9 t / empleado
Res_tot_max	Máximo total de residuos @ 20.6 t / empleado
Con_w_indmn	Consumo mínimo de residuos en la industria de la madera - muy indicativo (aplicando el 17%, como aconseja APAT 2003 para la industria italiana, en la producción mínima de residuos)
Con_w_indmx	Consumo máximo de residuos en la industria de la madera - muy indicativo (aplicando el 65%, como aconseja APAT 2003 para la industria italiana, en la producción mínima de residuos)
Con_w_indmd	Consumo medio de residuos en la industria de la madera - muy indicativo (media de los valores máximo y mínimo, es decir 41% de la producción media de residuos)
casc_indconmn	Multiplicador de cascos para el consumo mínimo de residuos
casc_indconmx	Multiplicador de cascos para el consumo máximo de residuos
casc_indconmd	Multiplicador de cascos para el consumo medio de residuos
cons_kg	Consumo total por municipio = (Mad01_t + Con_w_indmd)*1000
prod_dir_kg	Productividad d ebiomasa directa (total, accessible, media) del proceso NAZCA y de las clases SIGPAC (acc mdpro kg.grd)
prod_tot_kg	Total (direct+indirect) woody biomass productivity (accpro_md_kg.grd) = prod_dir_kg + Res_tot_med
bal_md1_grd	Balance from bal_md1.grd
Shape_Length	
Shape_Area	

Apéndice 10: Estratos forestales con el período de rotación medio estimado

Estrato	Especies	Ocupación sp1 (%)	Estado de masa	Fracción de cabida cubierta (%)	Tipo estructural	Rotación
1	<i>Pinus pinaster</i>	>=70	Fustal	70 - 100	2	25
2	<i>Pinus pinaster</i>	>=70	Fustal	70 - 100	<> 2	25
3	<i>Pinus pinaster</i>	>=70	Fustal	20 - 69	todos	25
4	<i>Pinus pinaster</i>	>=70	Latizal	70 - 100	todos	25
5	<i>Pinus pinaster</i>	>=70	Latizal	20 - 69	todos	25
6	<i>Pinus pinaster</i>	>=70	Monte bravo y repoblado	5 - 100	Todos	25
7	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Fustal	70 - 100	2	25
8	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Fustal	70 - 100	<> 2	25
9	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Fustal	20 - 69	todos	25
10	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Latizal	70 - 100	2	25
11	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Latizal	70 - 100	<> 2	25
12	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Latizal	20 - 69	Todos	25
13	<i>Pinus sylvestris</i>	>=70	Monte bravo y repoblado	5 - 100	Todos	25
14	<i>Pinus nigra</i>	>=70	Fustal	70 - 100	Todos	25
15	<i>Pinus nigra</i>	>=70	Fustal y Latizal	20 - 69	Todos	25
16	<i>Pinus nigra</i>	>=70	Latizal	70 - 100	Todos	25
17	<i>Pinus nigra</i>	>=70	Monte bravo y repoblado	5 - 100	Todos	25
18	<i>Pinus pinea</i>	>=70	Fustal y Latizal	70 - 100	Todos	25
19	<i>Pinus pinea</i>	>=70	Fustal y Latizal	20 - 69	Todos	25
20	<i>Pinus pinea</i>	>=70	Monte bravo y repoblado	5 - 100	Todos	25
21	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Fustal y Latizal	20 - 100	Todos	25
22	<i>Pinus radiata</i>	>=70	Fustal y Latizal	20 - 100	Todos	25
23	<i>Pinus radiata</i>	>=70	Monte bravo y repoblado	5 - 100	Todos	25
24	<i>Pinus uncinata</i>	>=70	Fustal y Latizal	20 - 100	Todos	25
25	<i>Quercus ilex</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	<>3	40
26	<i>Quercus ilex</i>	>=70	Fustal. Latizal	40 - 69	<>3	40
27	<i>Quercus ilex</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 39	<>3	40
28	<i>Quercus ilex</i>	>=70	Monte bravo y repoblado	5 - 100	Todos	40
29	<i>Quercus ilex en dehesa</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 100	3	40
30	<i>Quercus pyrenaica</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	<>3	40
31	<i>Quercus pyrenaica</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 69	<>3	40
32	<i>Quercus pyrenaica</i>	>=70	Monte bravo y repoblado	5 - 100	Todos	40
33	<i>Quercus pyrenaica en dehesa</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 100	3	40
34	<i>Quercus faginea</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	<>3	40
35	<i>Quercus faginea</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 69	<>3	40
36	<i>Quercus faginea en dehesa</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 100	3	40
37	<i>Quercus petraea</i>	>= 70	Todos	20 - 100	Todos	40
38	<i>Juniperus thurifera</i>	>=70	Fustal. Latizal	70 - 100	Todos	25
39	<i>Juniperus thurifera</i>	>=70	Fustal. Latizal	40 - 69	Todos	25
40	<i>Juniperus thurifera</i>	>=70	Fustal. Latizal	20 - 39	Todos	25
41	<i>Juniperus thurifera</i>	>=70	Monte bravo y repoblado	5-100	Todos	25

Estrato	Especies	Ocupación sp1 (%)	Estado de masa	Fracción de cubida cubierta (%)	Tipo estructural	Rotación
42	<i>Populus nigra</i> (58)	Todos	Todos	5 - 100	2	15
42	Sp1= <i>Populus nigra</i> (58), Sp2= <i>Populus x canadensis</i> (258)	Todos	Todos	5 - 100	todos	15
42	<i>Populus x canadensis</i> (258)	Todos	Todos	5 - 100	todos	15
43	Todas (Ribera)	Todos	Todos	5 - 100	11 (excepto 258)	25
43	51, 53, 54, 56, 57, 58, 255, 257, 357 o 657	Todos	Todos	20 -100	Todos	25
44	<i>Castanea sativa</i>	>= 70	Fustal. Latizal	20 - 100	Todos	25
45	<i>Castanea sativa</i>	>= 70	Monte bravo y repoblado	5 - 100	Todos	25
46	<i>Fagus sylvatica</i>	>= 70	Fustal. Latizal	20 - 100	Todos	25
47	<i>Fagus sylvatica</i>	>= 70	Monte bravo y repoblado	5 - 100	Todos	25
48	Todas (menos 21,26,43 y45)	>= 30	Fustal. Latizal	5 - 20	Todos	40
49	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Pinus nigra</i>	<70	Fustal. Latizal	70 - 100	Todos	25
50	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Pinus nigra</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 69	Todos	25
51	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Pinus nigra</i> , <i>Pinus sylvestris</i> con <i>Pinus pinaster</i> , <i>Pinus pinea</i> con <i>Pinus pinaster</i> , <i>Pinus nigra</i> con <i>Pinus pinaster</i>	<70	Monte bravo y repoblado	5-100	Todos	25
52	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Pinus pinaster</i>	<70	Fustal. Latizal	70 - 100	Todos	25
53	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Pinus pinaster</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 69	Todos	25
54	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Quercus pyrenaica</i>	<70	Fustal. Latizal	70 - 100	Todos	32.5
55	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Quercus pyrenaica</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 69	Todos	32.5
56	<i>Pinus sylvestris</i> , <i>Pinus pinaster</i> , <i>Pinus nigra</i> o <i>Pinus pinea</i> con <i>Quercus pyrenaica</i> , <i>Quercus faginea</i> o <i>Quercus ilex</i>	<70	Monte bravo y repoblado	5-100	Todos	32.5
57	<i>Pinus pinea</i> con <i>Quercus ilex</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 100	Todos	32.5
58	<i>Pinus nigra</i> con <i>Quercus pyrenaica</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 100	Todos	32.5
59	<i>Pinus pinaster</i> con <i>Quercus pyrenaica</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 100	Todos	32.5
60	<i>Pinus pinaster</i> con <i>Quercus ilex</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 100	Todos	32.5
61	<i>Juniperus thurifera</i> con <i>Quercus pyrenaica</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 100	Todos	32
62	<i>Juniperus thurifera</i> con <i>Quercus pyrenaica</i> , <i>Quercus ilex</i> o <i>Quercus faginea</i>	<70	Monte bravo y repoblado	5-100	Todos	32
63	<i>Juniperus thurifera</i> con <i>Quercus ilex</i>	<70	Fustal. Latizal	70-100	Todos	32
64	<i>Quercus petraea</i> con <i>Quercus pyrenaica</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 100	Todos	40
64	<i>Quercus petraea</i> con <i>Quercus pyrenaica</i>	<70	Monte bravo y repoblado	5-100	Todos	40
65	<i>Quercus petraea</i> o <i>Quercus robur</i> con <i>Fagus sylvatica</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 100	Todos	40
65	<i>Quercus petraea</i> o <i>Quercus robur</i> con <i>Fagus sylvatica</i>	<70	Monte bravo y repoblado	5-100	Todos	40
66	<i>Quercus pyrenaica</i> con <i>Quercus faginea</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 100	Todos	40
67	<i>Quercus pyrenaica</i> con <i>Quercus faginea</i> , <i>Quercus pyrenaica</i> con <i>Quercus ilex</i> o <i>Quercus faginea</i> con <i>Quercus ilex</i>	<70	Monte bravo y repoblado	5-100	Todos	40
68	<i>Quercus pyrenaica</i> con <i>Quercus ilex</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 69	Todos	40

Estrato	Especies	Ocupación sp1 (%)	Estado de masa	Fracción de cabida cubierta (%)	Tipo estructural	Rotación
69	<i>Quercus pyrenaica</i> con <i>Castanea sativa</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 69	Todos	32.5
69	<i>Quercus pyrenaica</i> con <i>Castanea sativa</i>	<70	Monte bravo y repoblado	5-100	Todos	32.5
70	<i>Quercus faginea</i> con <i>Quercus ilex</i>	<70	Fustal. Latizal	70 - 100	Todos	40
71	<i>Quercus faginea</i> con <i>Quercus ilex</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 69	Todos	40
72	<i>Quercus suber</i>	>= 70	Todos	20 - 100	Todos	40
73	<i>Pinus uncinata</i>	>=70	Monte bravo y repoblado	5 - 100	Todos	25
74	<i>Pinus halepensis</i>	>=70	Monte bravo y repoblado	5 - 100	Todos	25
75	<i>Quercus faginea</i>	>=70	Monte bravo y repoblado	5 - 100	Todos	40
76	<i>Quercus robur</i>	>=70	Todos	20 - 100	Todos	40
77	<i>Pinus sylvestris</i>	>= 30	Fustal. Latizal	5 - 20	Todos	25
78	<i>Pinus pinaster</i>	>= 30	Fustal. Latizal	5 - 20	Todos	25
79	<i>Quercus pyrenaica</i>	>= 30	Fustal. Latizal	5 - 20	Todos	40
80	<i>Quercus ilex</i>	>= 30	Fustal. Latizal	5 - 20	Todos	40
81	<i>Pinus pinea</i> con <i>Pinus pinaster</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 100	Todos	25
82	<i>Pinus nigra</i> con <i>Pinus pinaster</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 100	Todos	25
83	<i>Pinus sylvestris</i> con <i>Quercus faginea</i> o <i>Pinus sylvestris</i> con <i>Quercus ilex</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 100	Todos	32.5
84	<i>Juniperus thurifera</i> con <i>Quercus ilex</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 69	Todos	32
84	<i>Juniperus thurifera</i> con <i>Quercus ilex</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 69	Todos	32
85	<i>Quercus pyrenaica</i> con <i>Quercus ilex</i>	<70	Fustal. Latizal	70 - 100	Todos	40
86	<i>Quercus pyrenaica</i> , <i>Quercus faginea</i> o <i>Quercus ilex</i> con <i>Fraxinus angustifolia</i> o <i>excelsior</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 100	Todos	40
86	<i>Quercus pyrenaica</i> , <i>Quercus faginea</i> o <i>Quercus ilex</i> con <i>Fraxinus angustifolia</i> o <i>excelsior</i>	<70	Monte bravo y repoblado	5-100	Todos	40
87	<i>Quercus pyrenaica</i> , <i>Quercus faginea</i> o <i>Quercus ilex</i> con <i>Fagus sylvatica</i>	<70	Fustal. Latizal	20 - 100	Todos	40
87	<i>Quercus pyrenaica</i> , <i>Quercus faginea</i> o <i>Quercus ilex</i> con <i>Fagus sylvatica</i>	<70	Monte bravo y repoblado	5-100	Todos	40
88	<i>Fraxinus angustifolia</i>	>= 70	Todos	20 - 100	Todos	40
89	<i>Ssp no incluidas anteriormente</i>	Todos	Monte bravo y repoblado	< 20	Todos	40
90	<i>Juniperus communis</i> o <i>Juniperus oxycedrus</i>	Todos	Todos	20 - 100	Todos	25
91	<i>Betula alba</i> o <i>Betula spp</i>	Todos	Todos	20 - 100	Todos	40
92	Resto de <i>sspp</i>					25
1000	Cultivo					