

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.

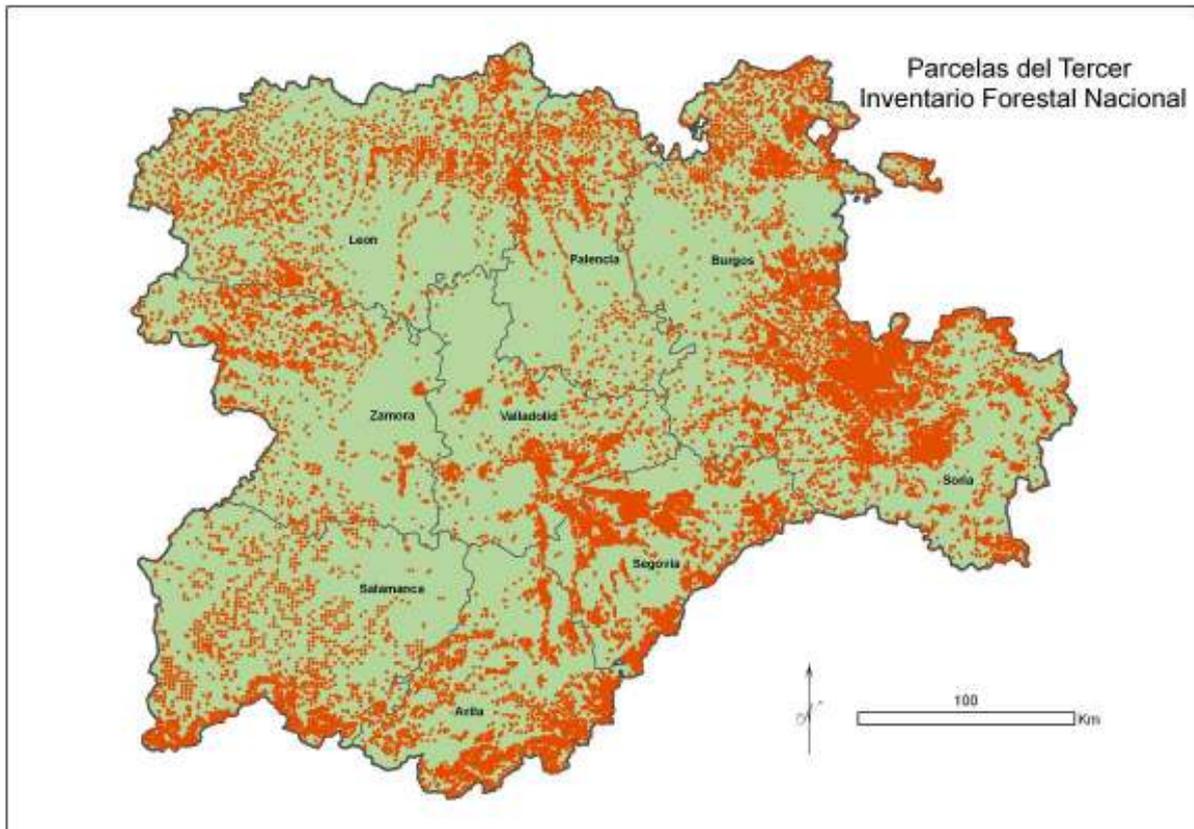


Figura 8. Parcelas del Tercer Inventario Forestal. IFN3.

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.

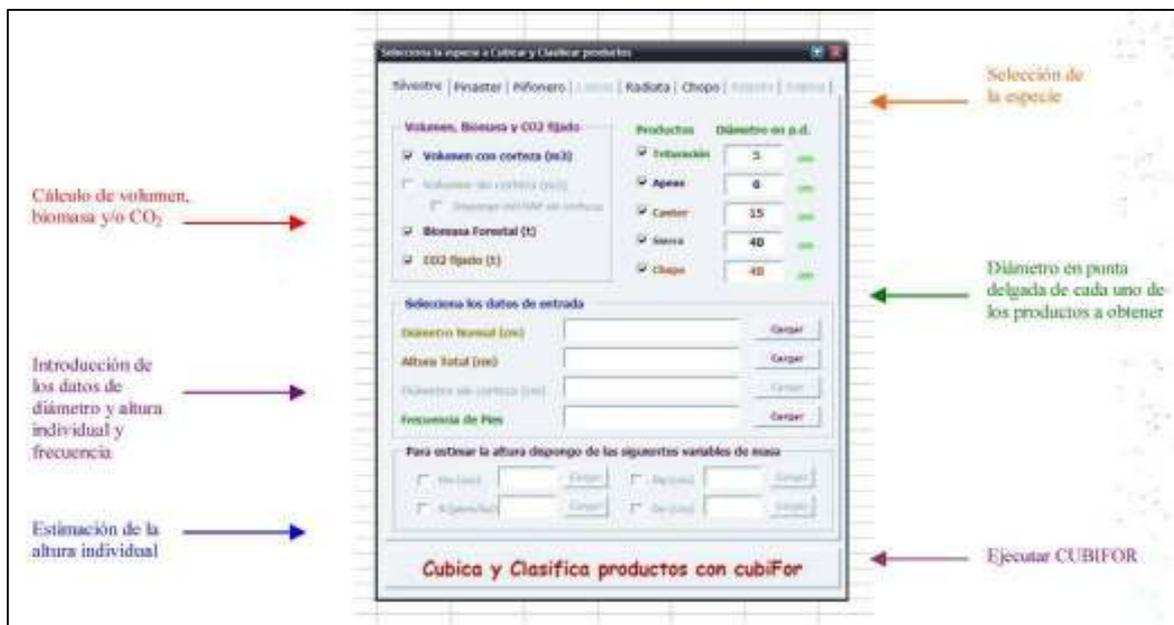


Figura 9. Pantalla de cubiFOR.

Fuente: CESEFOR

IFN_Productos - Microsoft Access												
Herramientas de base de datos												
Datos externos												
Herramientas de base de datos												
Rige de datos												
VLE	CORTEZA	FUSTE	R>7	R2-7	R<2	FOLIAJ	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	1,6478314203	1,2431767935	2,5653359498	11,065428283	13,630764233	0,3277981827	11,394995	
0,15038	3,3601746942	2,3324634705	0,0480374727	0,3679118557	0,3564128479	0	5,9662090760	3,1318344443	9,0980425203	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	0,0046583287	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	496,92518777	23,085750915	0,7814424726	3,7811479423	3,1703447875	0	42,833650907	30,970313319	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	
0,97037	78,748463758	8,4695438547	2,3019807645	1,6383488347	0,7916995341	0	8,4568137349	11,401737968	18,888884714	0,0918309	4,9888	

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

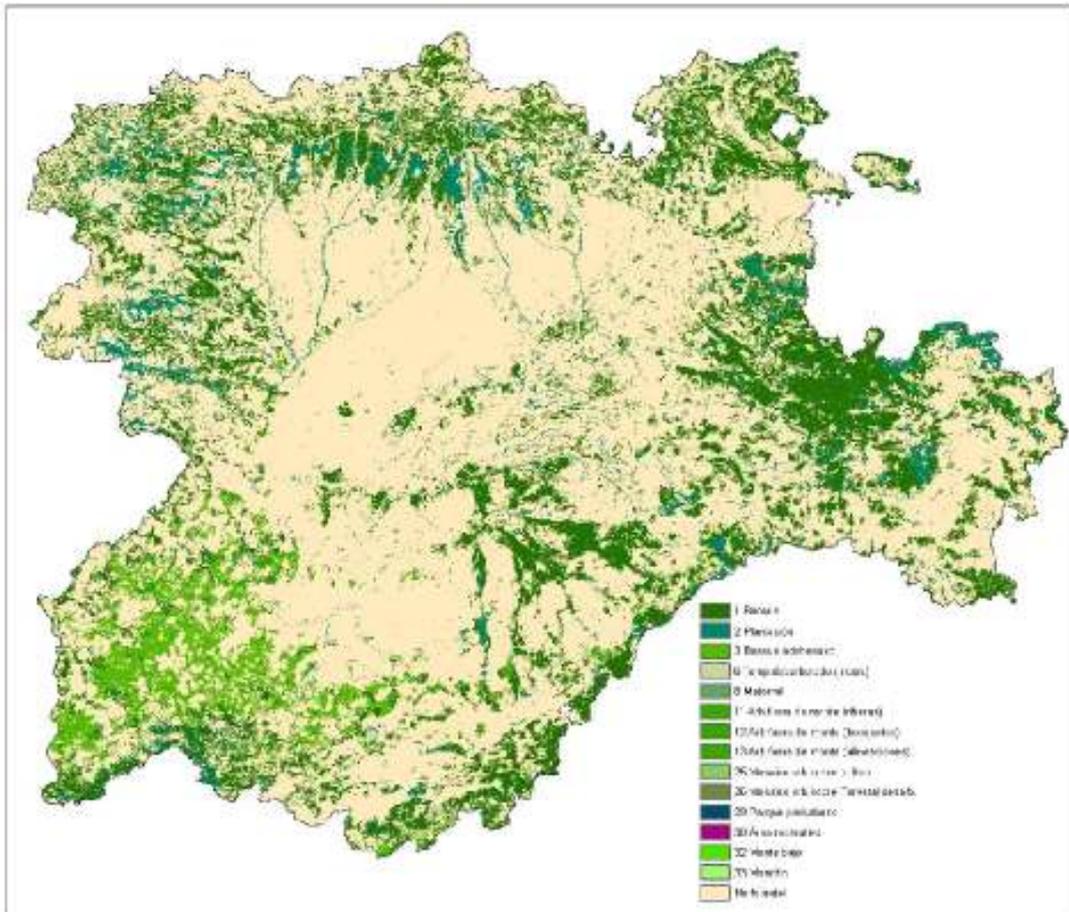


Figura 11. Mapa Forestal, Representación de la variable “Tipo de Estructura”.

Fuente: MARM

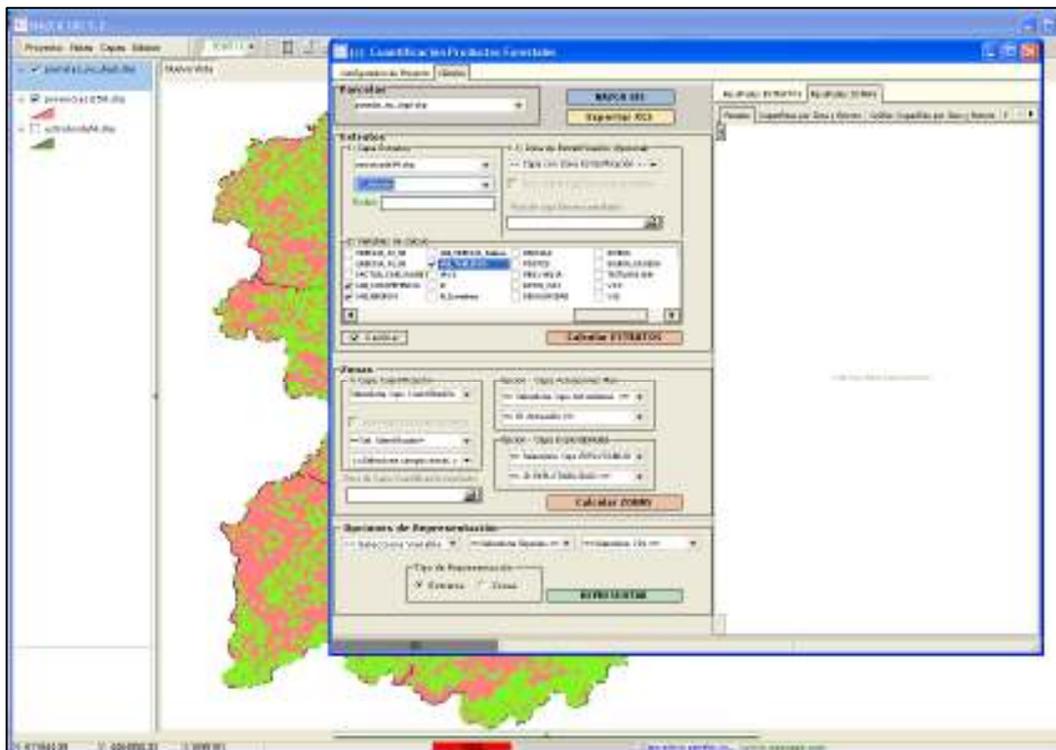


Figura 12. Evaluación de Recursos.

Fuente: INCA/CESEFOR

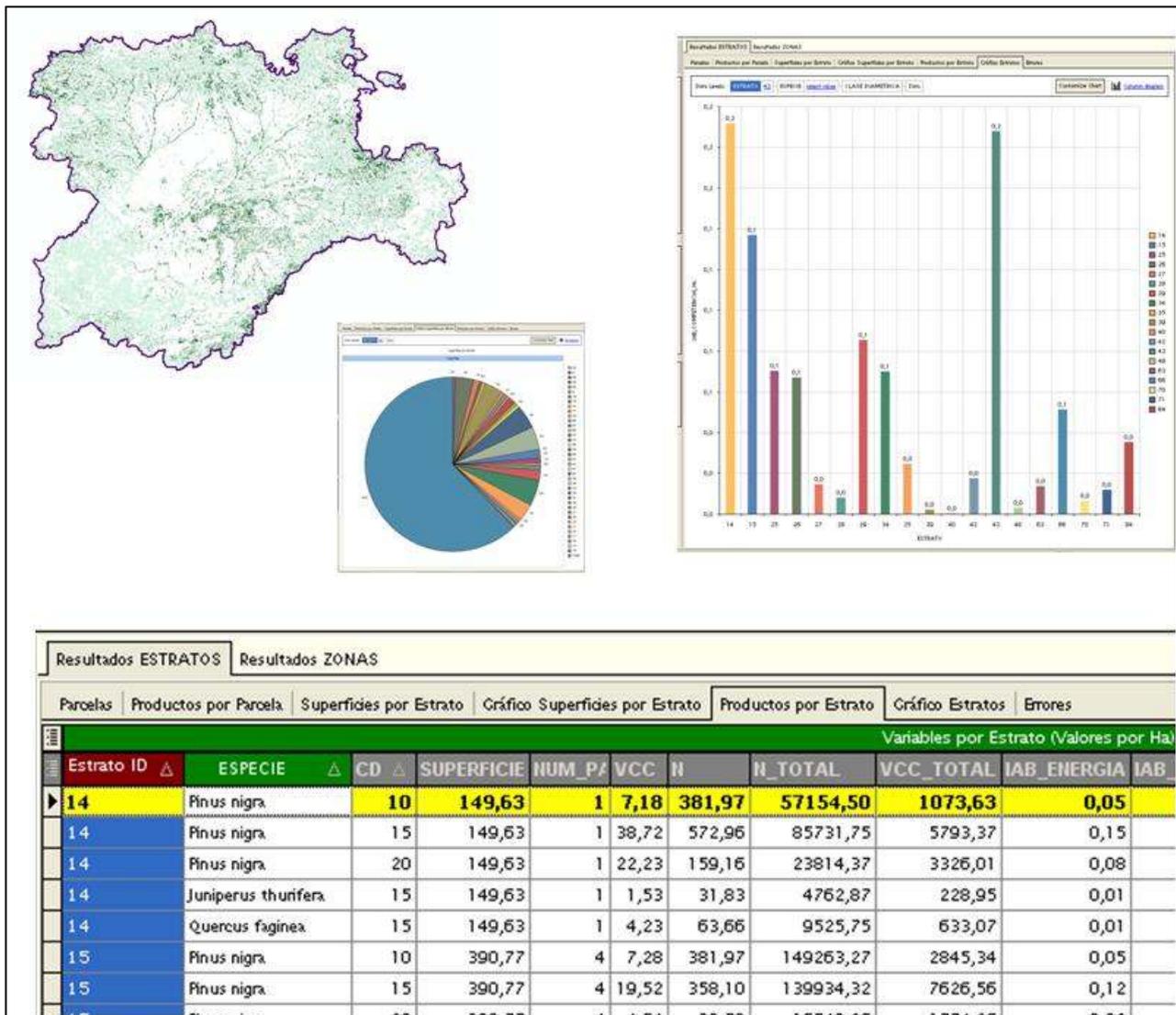


Figura 13. Resultados que se obtienen con f-Evaluación de Recursos.

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.

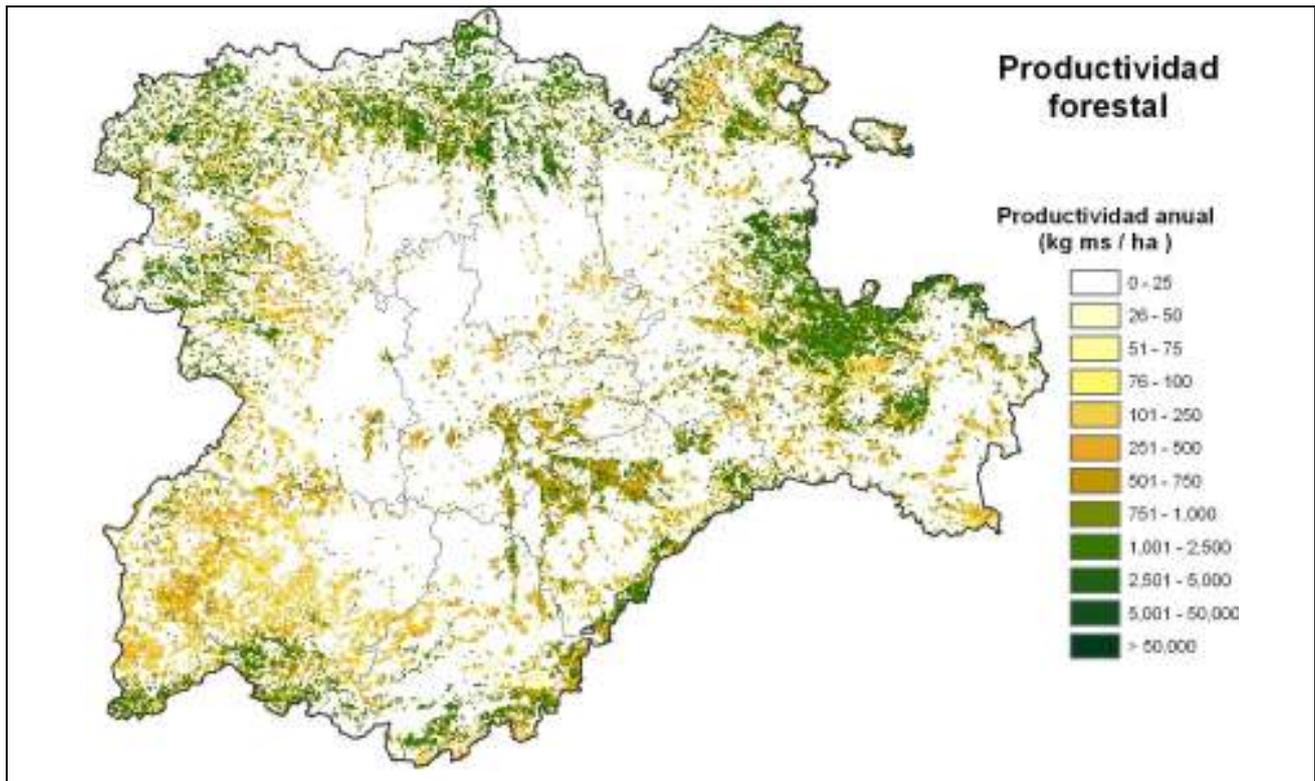


Figura 14. Oferta directa media anual sobre terreno forestal.

Fuente: Propia

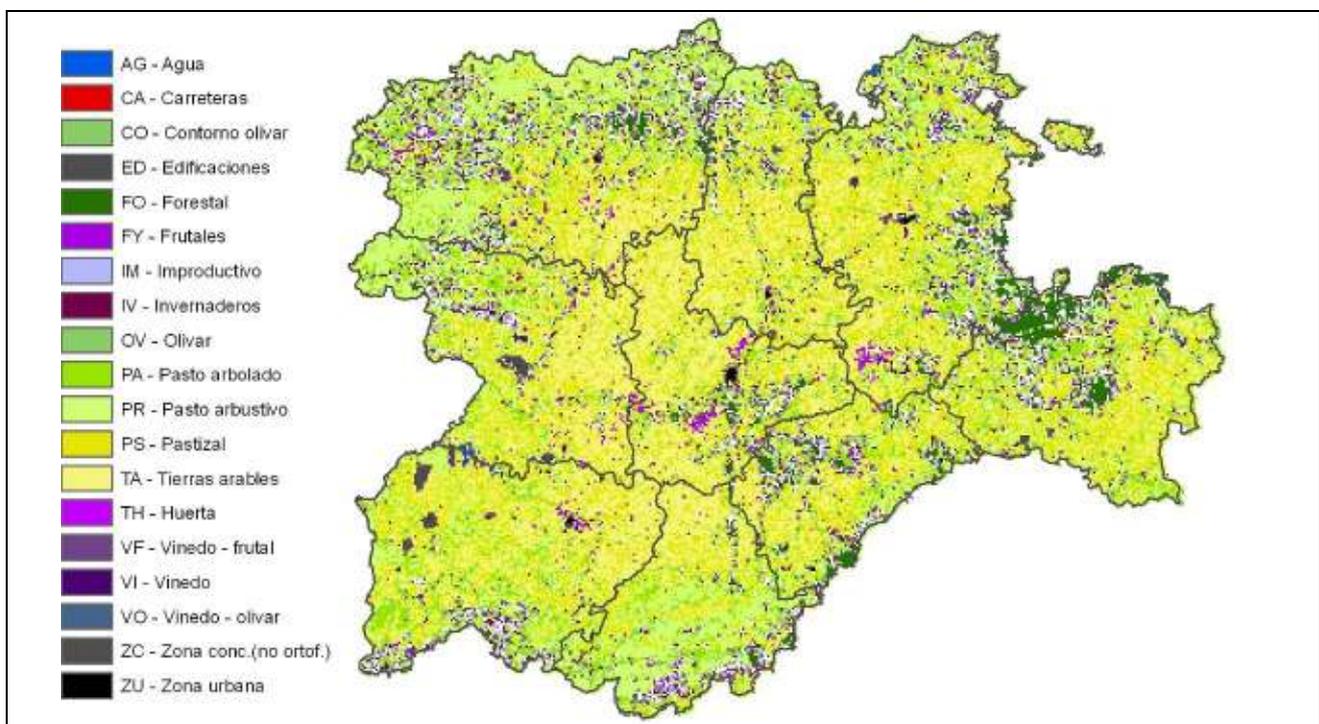


Figura 15. Mapa del SIGPAC., usado como referencia para la distribución espacial de las existencias y productividad anual de biomasa leñosa en zonas no forestales.

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 -ER para el tipo de estructura "bosque adhesionado"
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 -ER para el tipo de estructura "cultivo arbolado"
Pasto arbustivo		0,19		Valor medio de f -ER para el tipo de estructura "herbaza"
Pastizal		0,061		Valor medio de f -ER para el tipo de estructura "prado"
Tierras arables		0,08		Ninguna referencia en CyL. f -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.

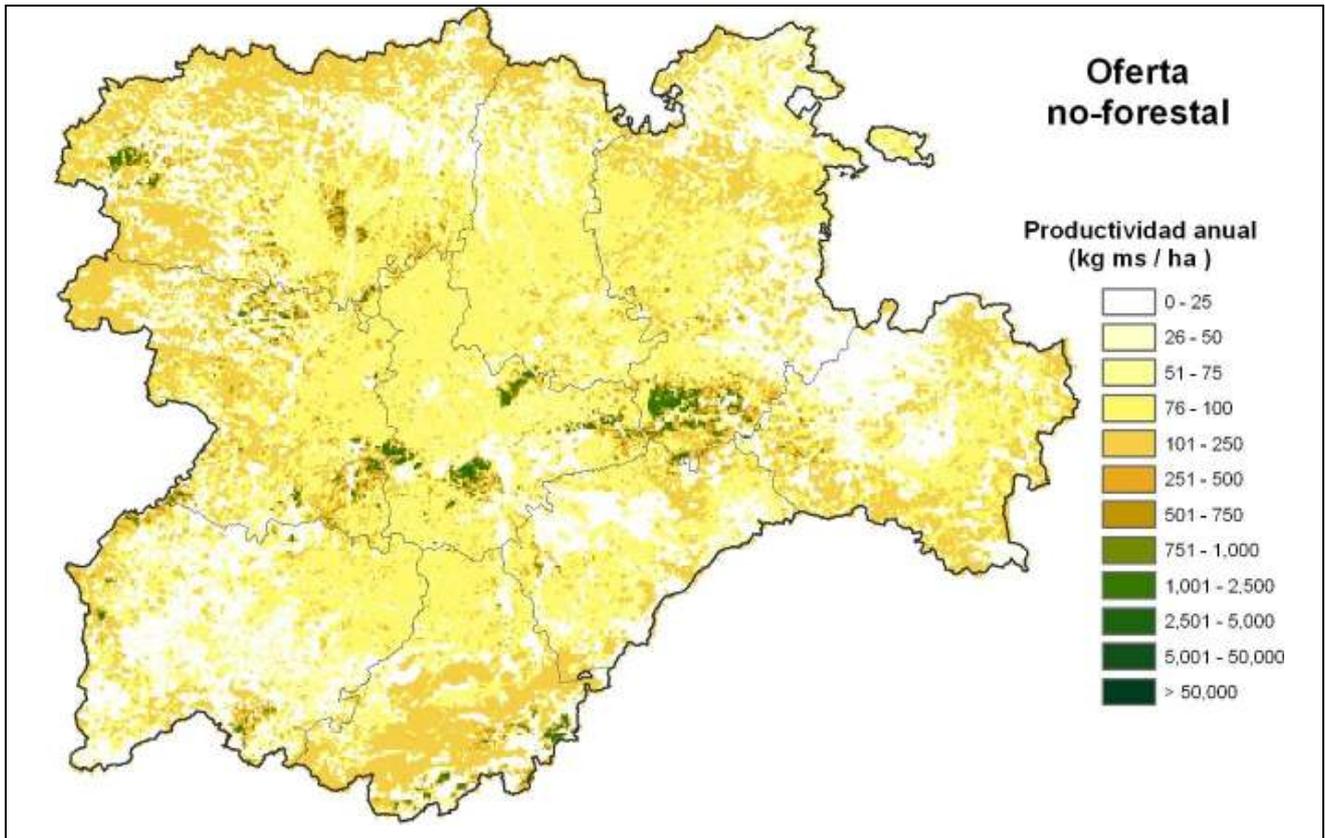


Figura 16. Oferta directa media anual sobre terreno no forestal.

Fuente: Propia

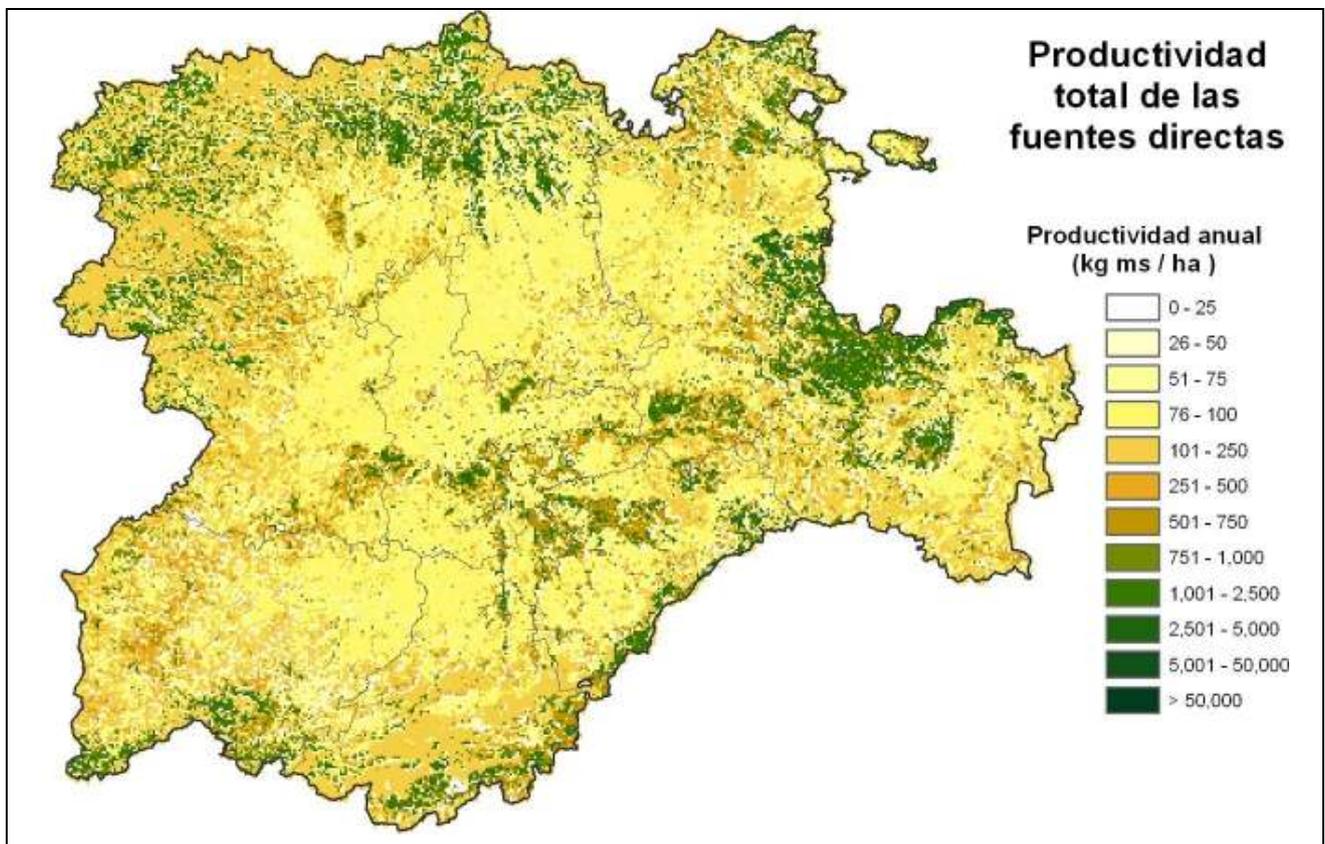


Figura 17. Oferta directa total, media anual, de biomasa leñosa con potencial energético.

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.

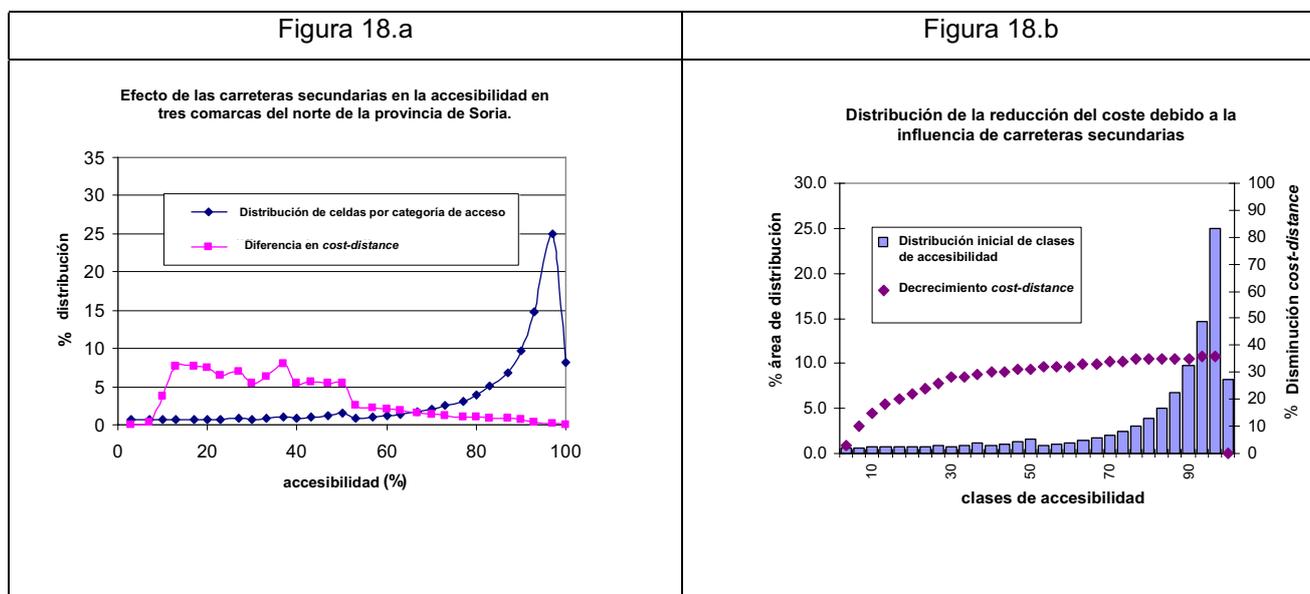


Figura 18. Distribución de las clases de accesibilidad y de los valores reducidos de "cost distance" efecto de vías no cartografiadas.

(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

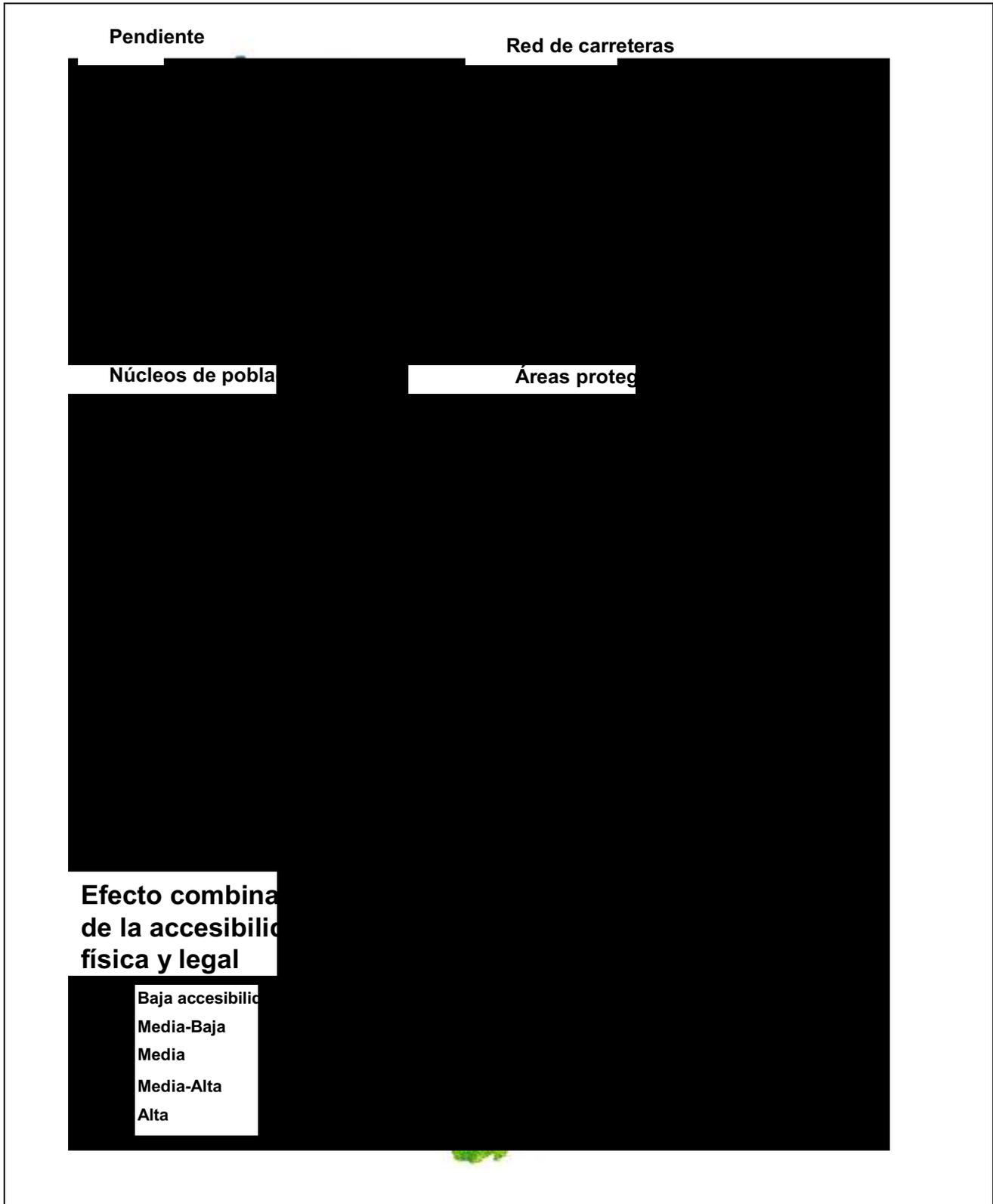


Figura 19. Análisis de la accesibilidad física y legal. Principales elementos analíticos y resultado final.

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.

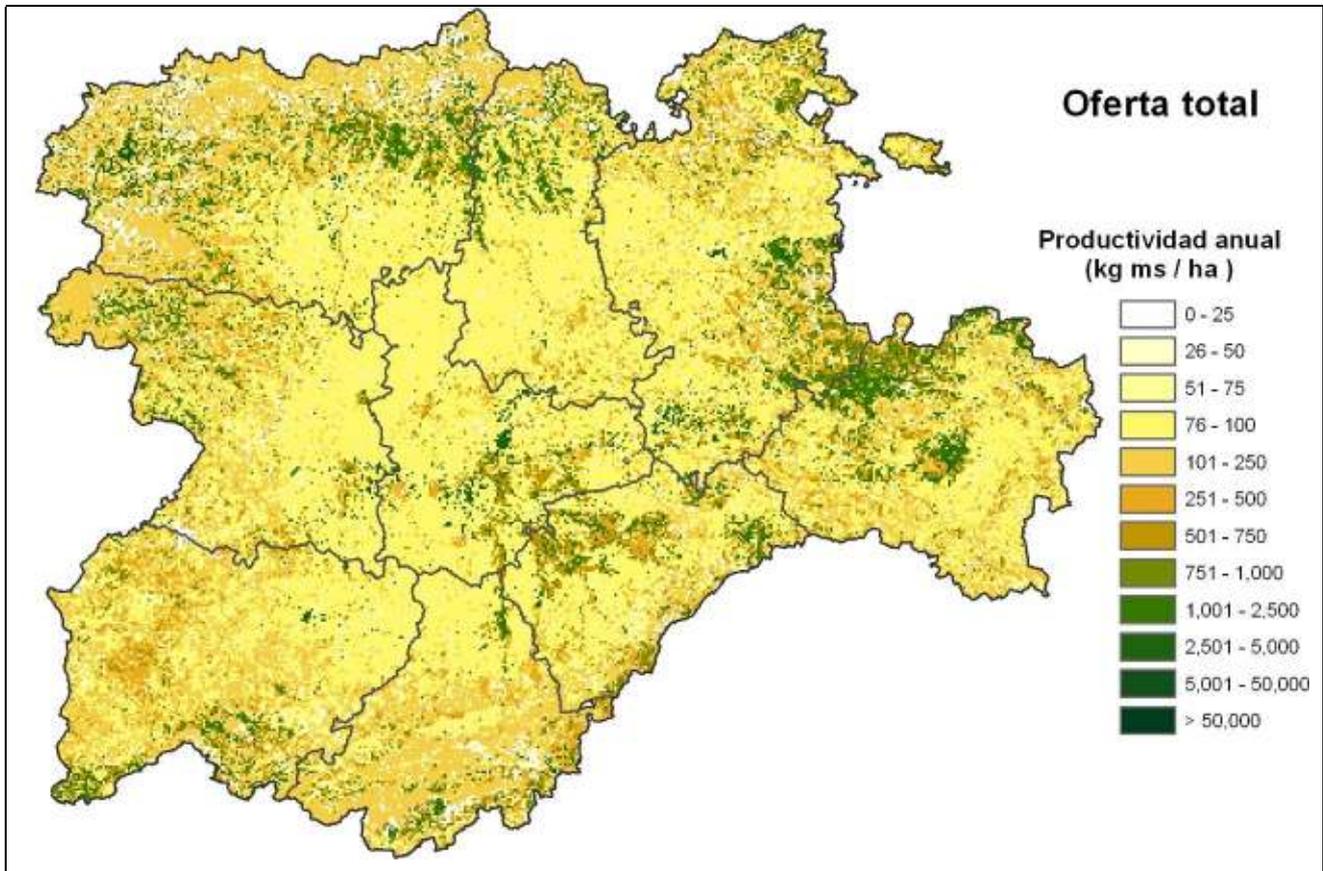


Figura 20. Oferta total de biomasa leñosa con potencial energético, media anual, precedente de fuentes directas accesibles y de fuentes indirectas.

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.

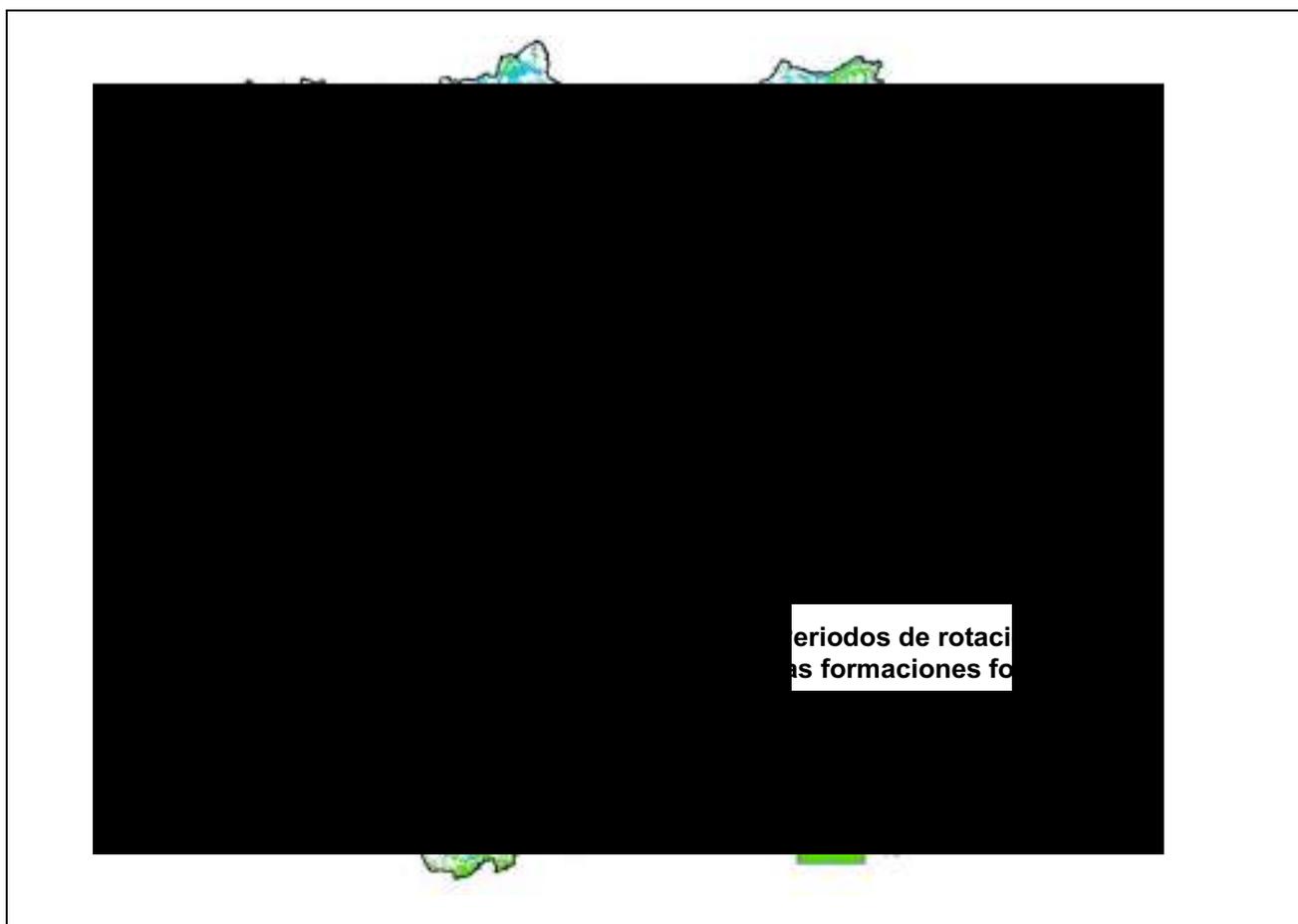


Figura 21. Períodos de Rotación aplicados a las formaciones forestales de Castilla y León.

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.

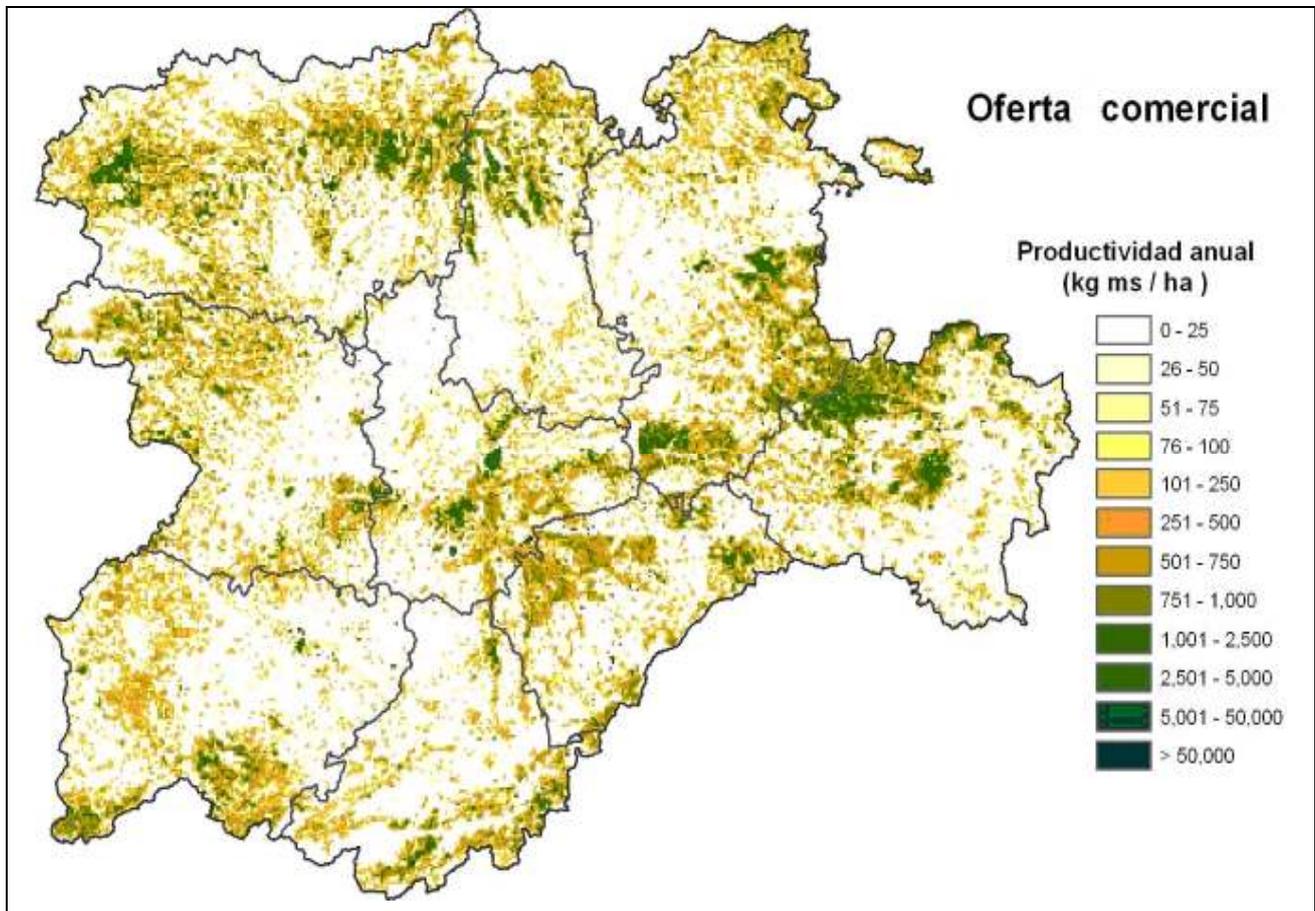


Figura 22. Oferta total de biomasa comercial leñosa accesible para la producción de energía.

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.

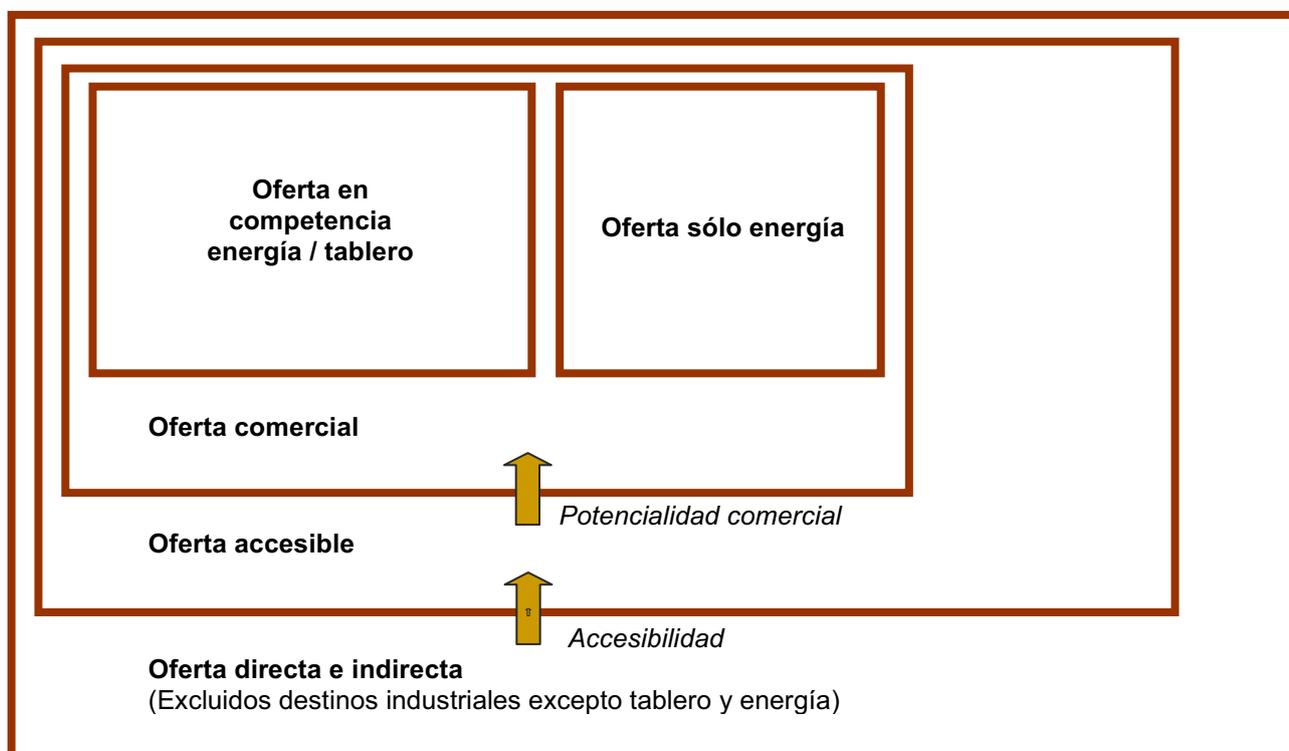


Figura 23. Diagrama de flujo del cálculo de la oferta.

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.

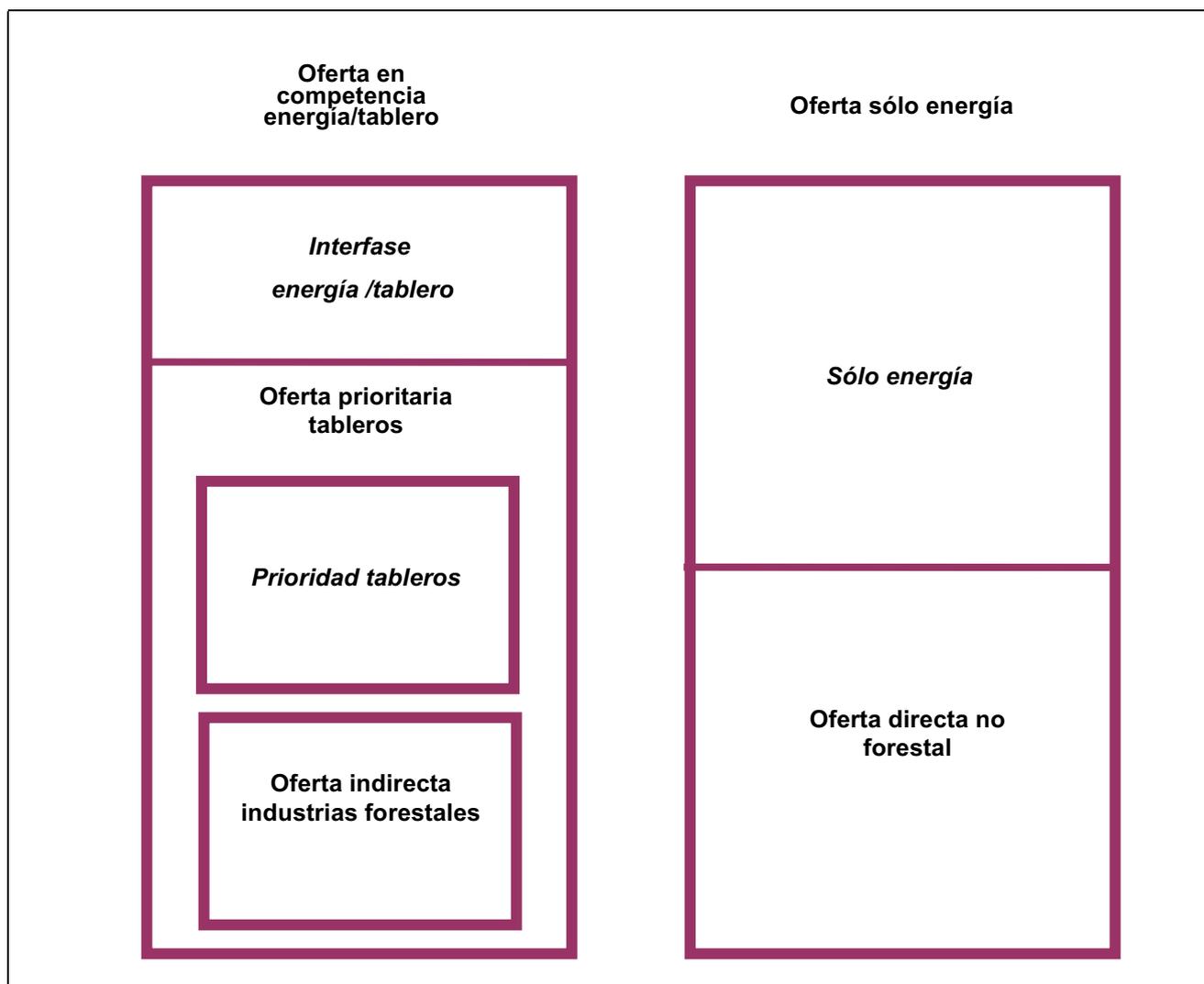


Figura 24. Descomposición de la oferta comercial en categorías de acuerdo a la competencia con la industria del tablero.

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.

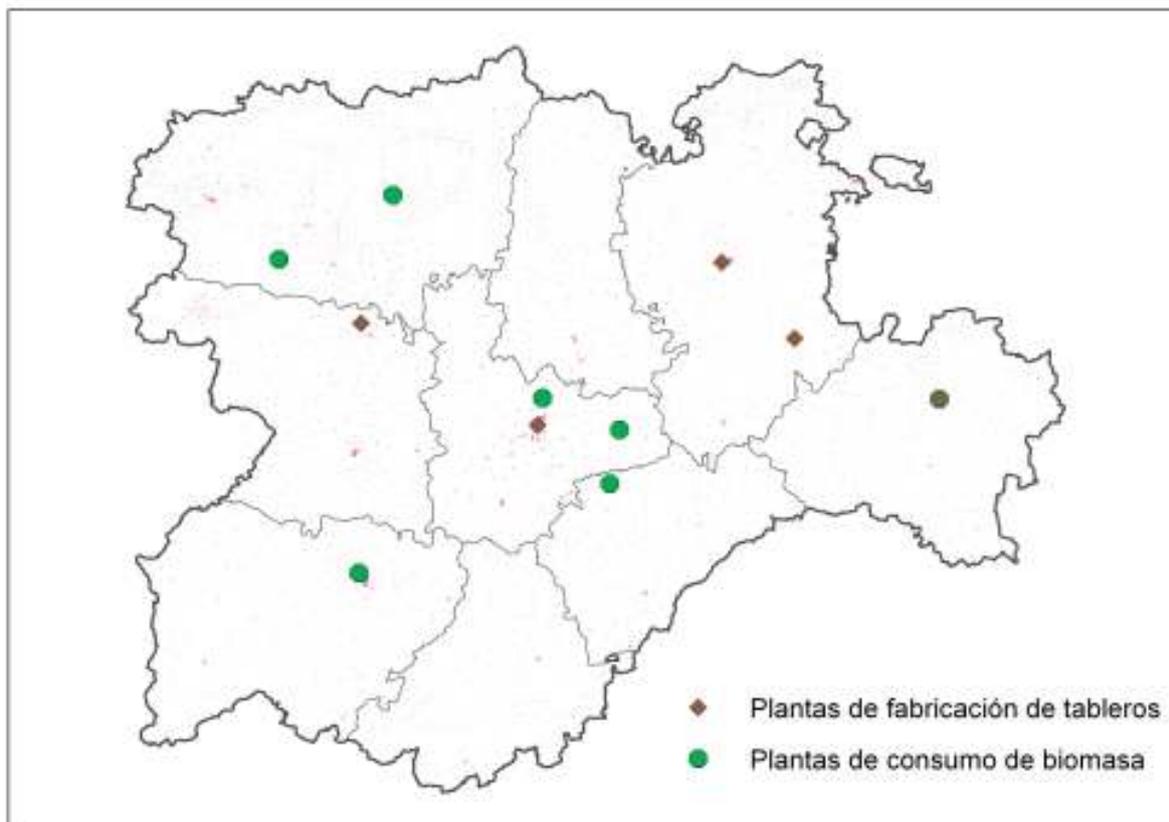


Figura 25. Industrias de tablero y plantas de producción energía con biomasa en Castilla y León.

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

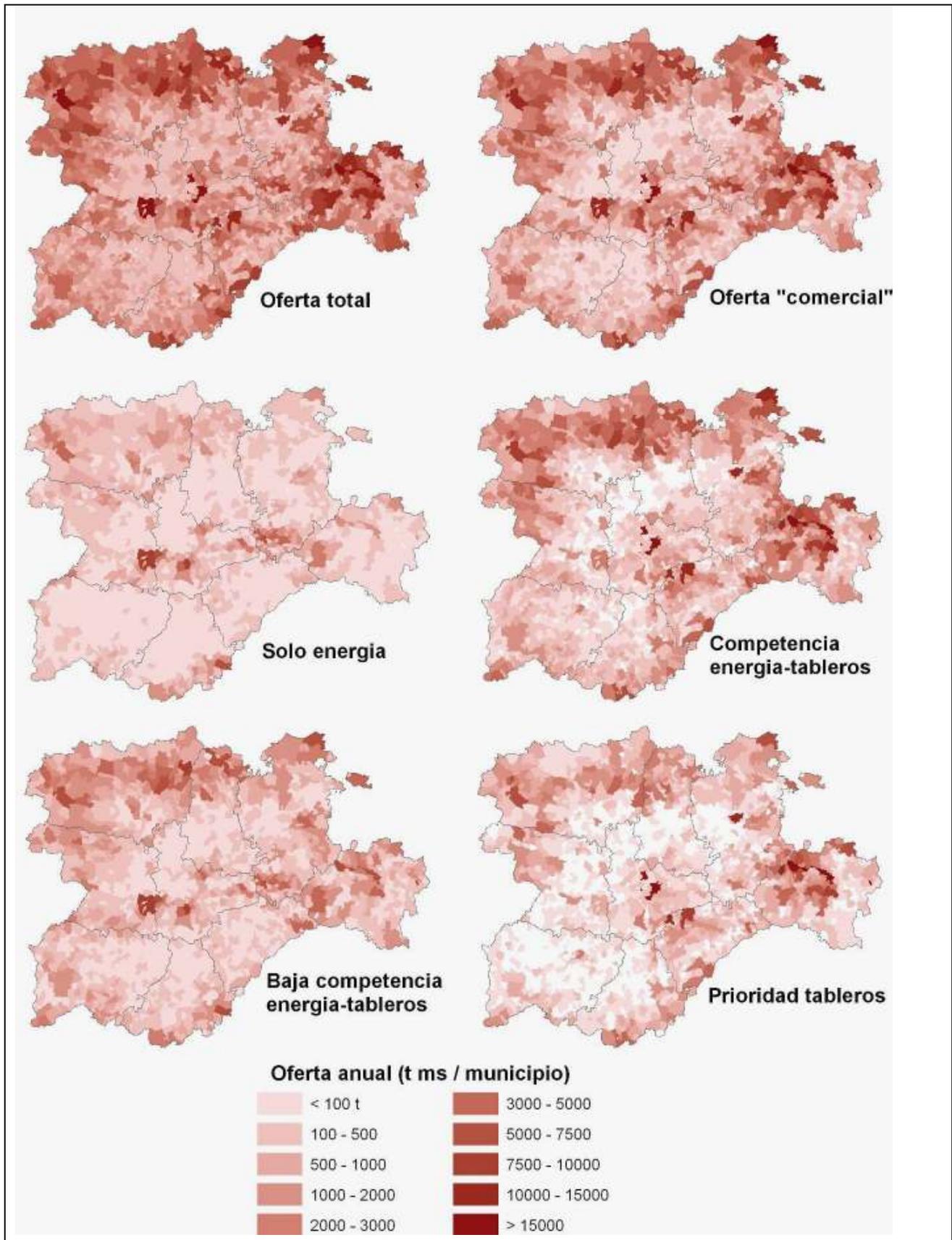


Figura 26. Mapas de oferta de biomasa leñosa con potencial energético por municipio y por categorías de competencia con la industria del tablero.

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).

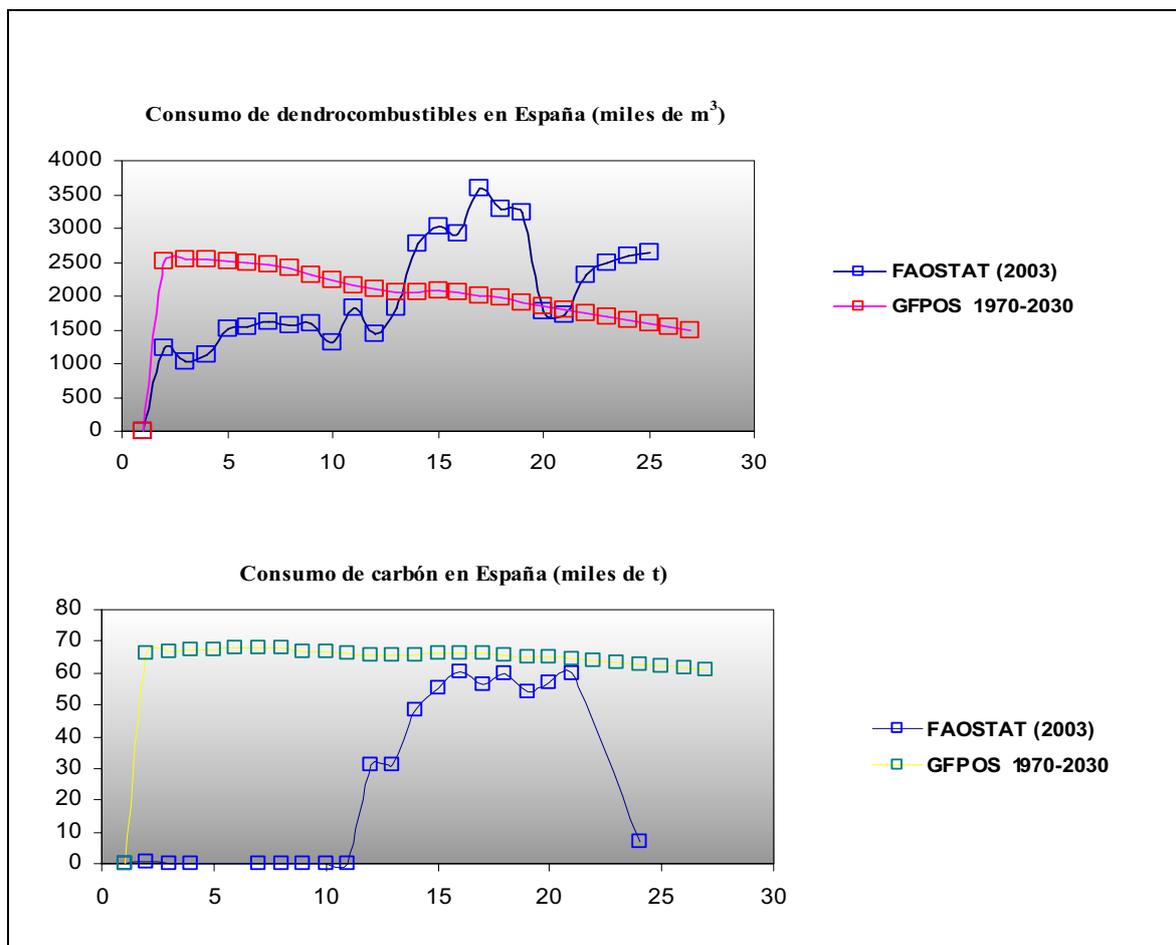


Figura 27. Consumo de dendrocombustibles y carbón en España.

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.

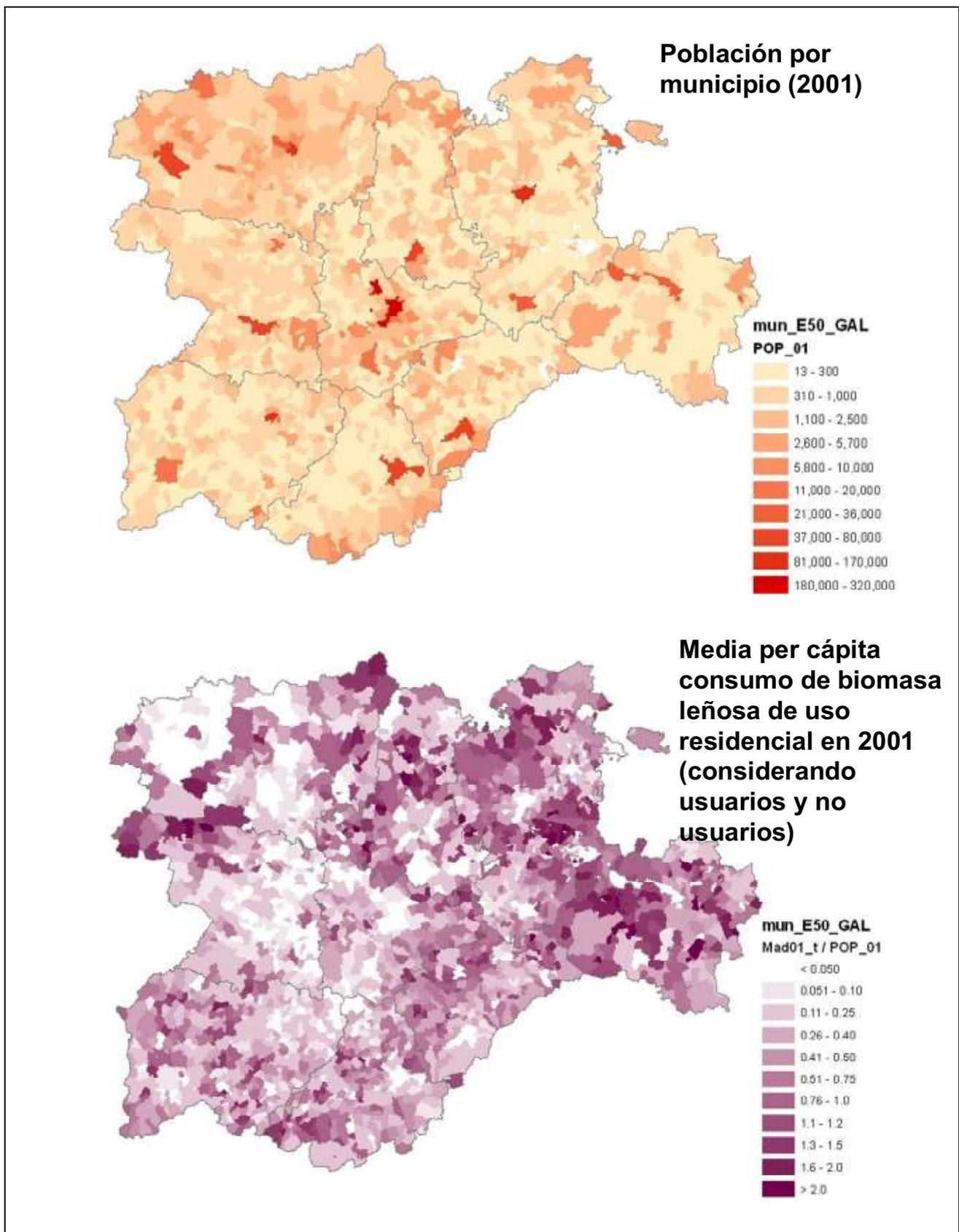


Figura 28. Población por municipio y consumo per cápita de biomasa leñosa en uso residencial estimado para 2001.

Fuente: Propia

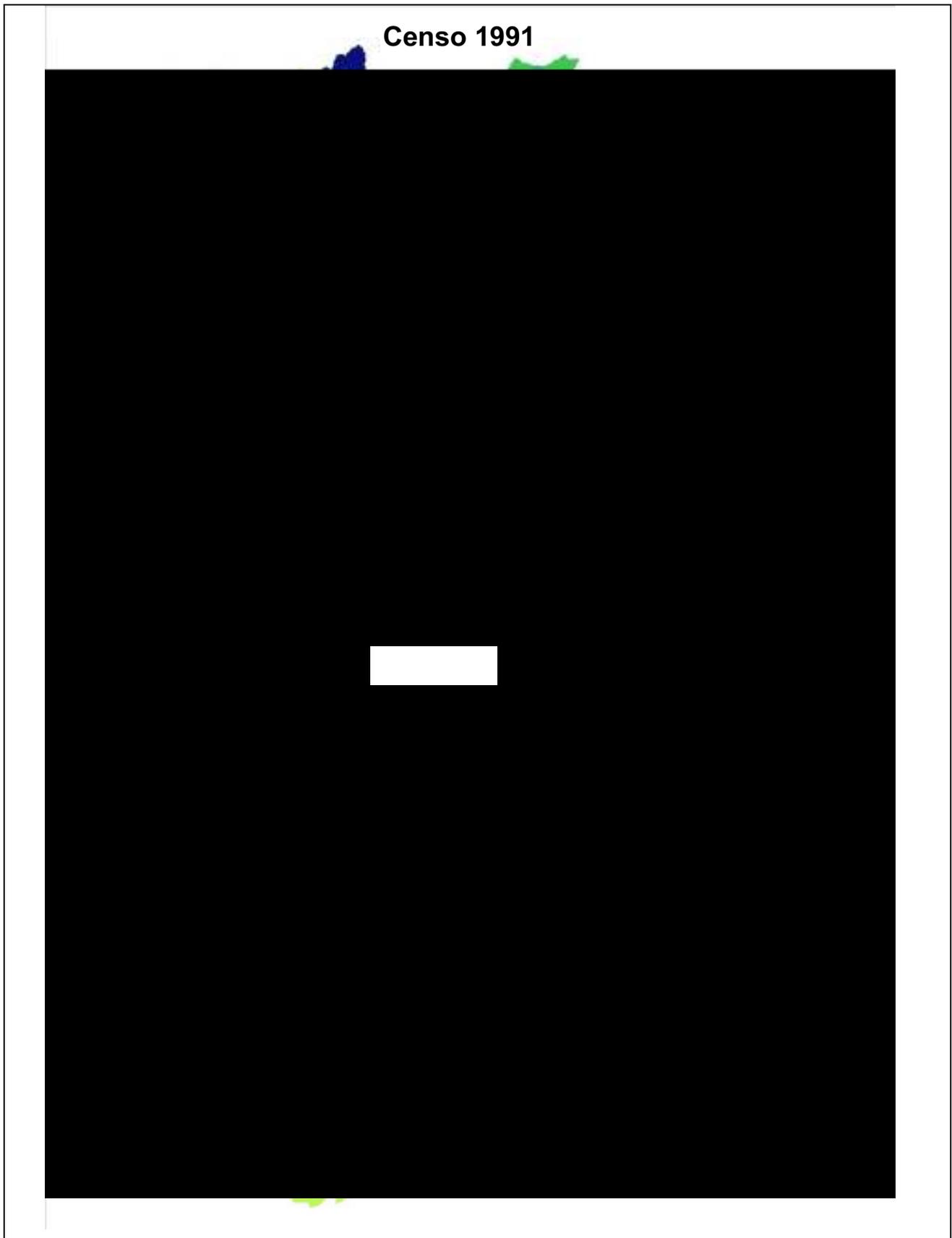


Figura 29. Saturación (fracción de hogares que usan madera como principal combustible).

Fuente: Propia

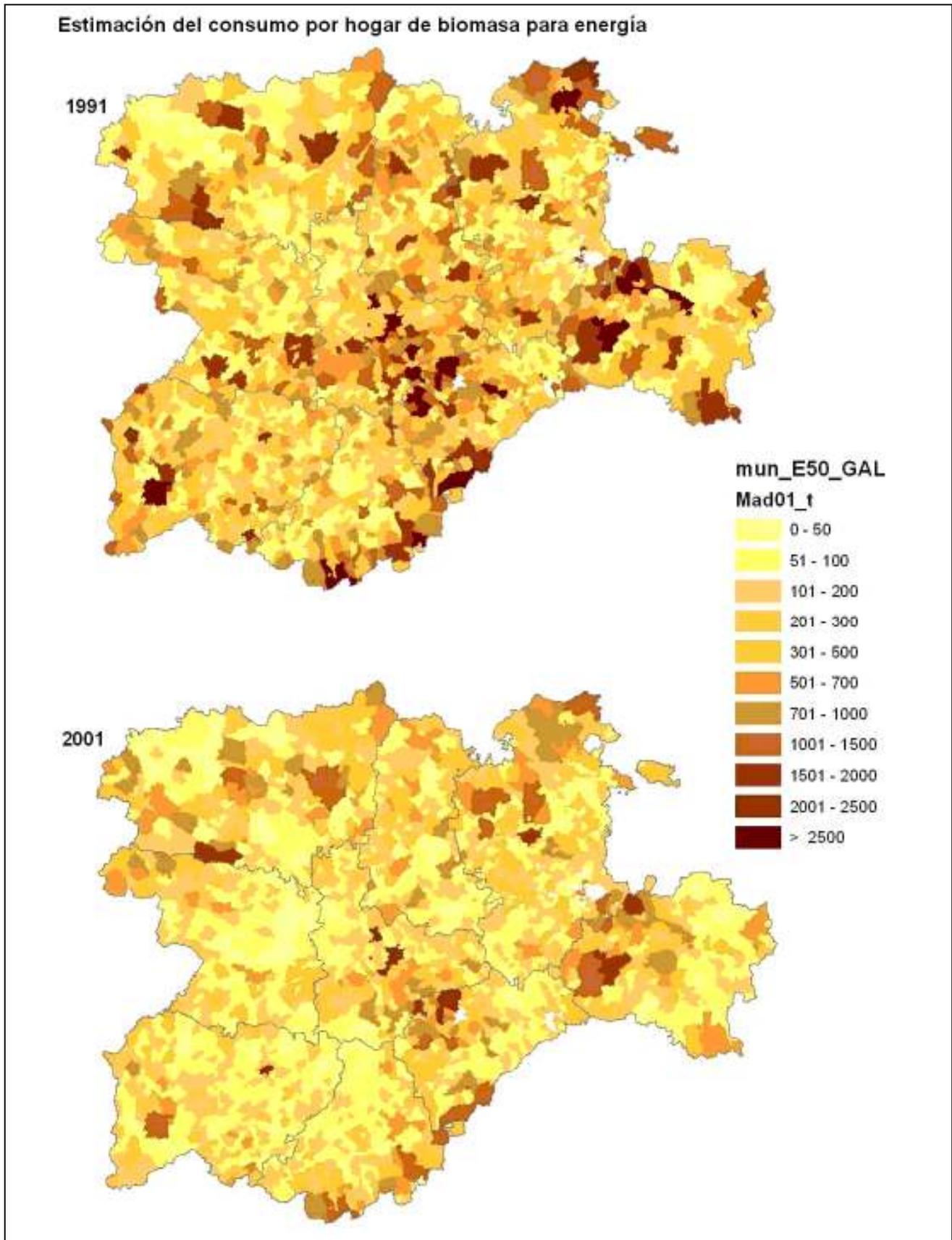


Figura 30. Consumo de dendrocombustibles en el sector residencial por municipio en 1991 y 2001.

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.

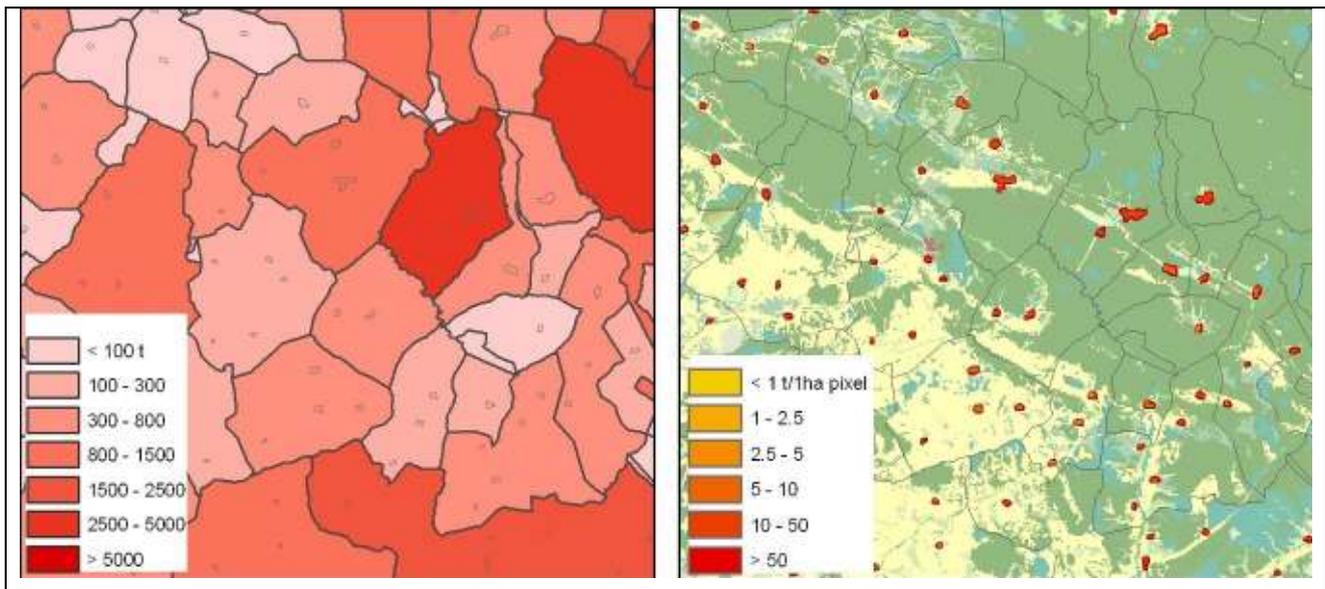


Figura 31. Consumo de biomasa leñosa por municipio y por hectárea de casco urbano.

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.

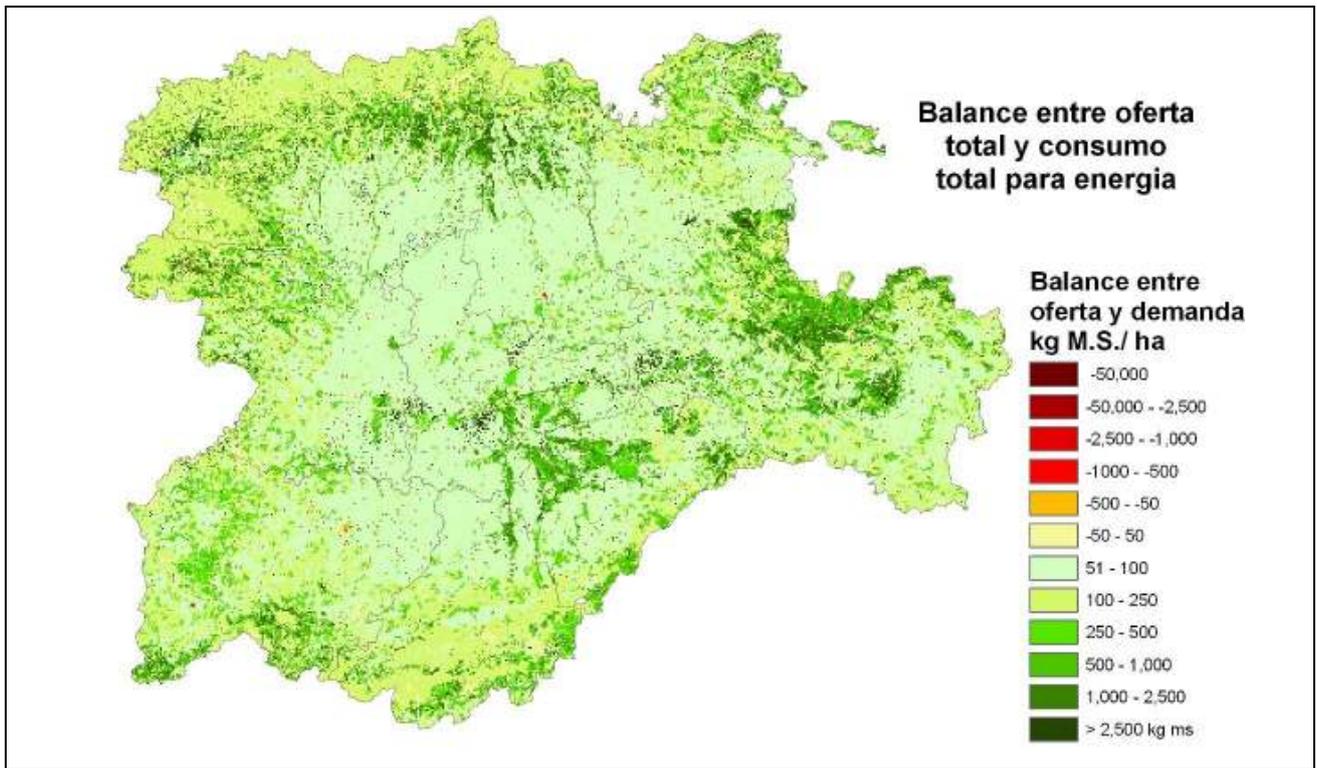


Figura 32. Balance por píxel entre la oferta total potencial accesible y el consumo actual.

Fuente: Propia

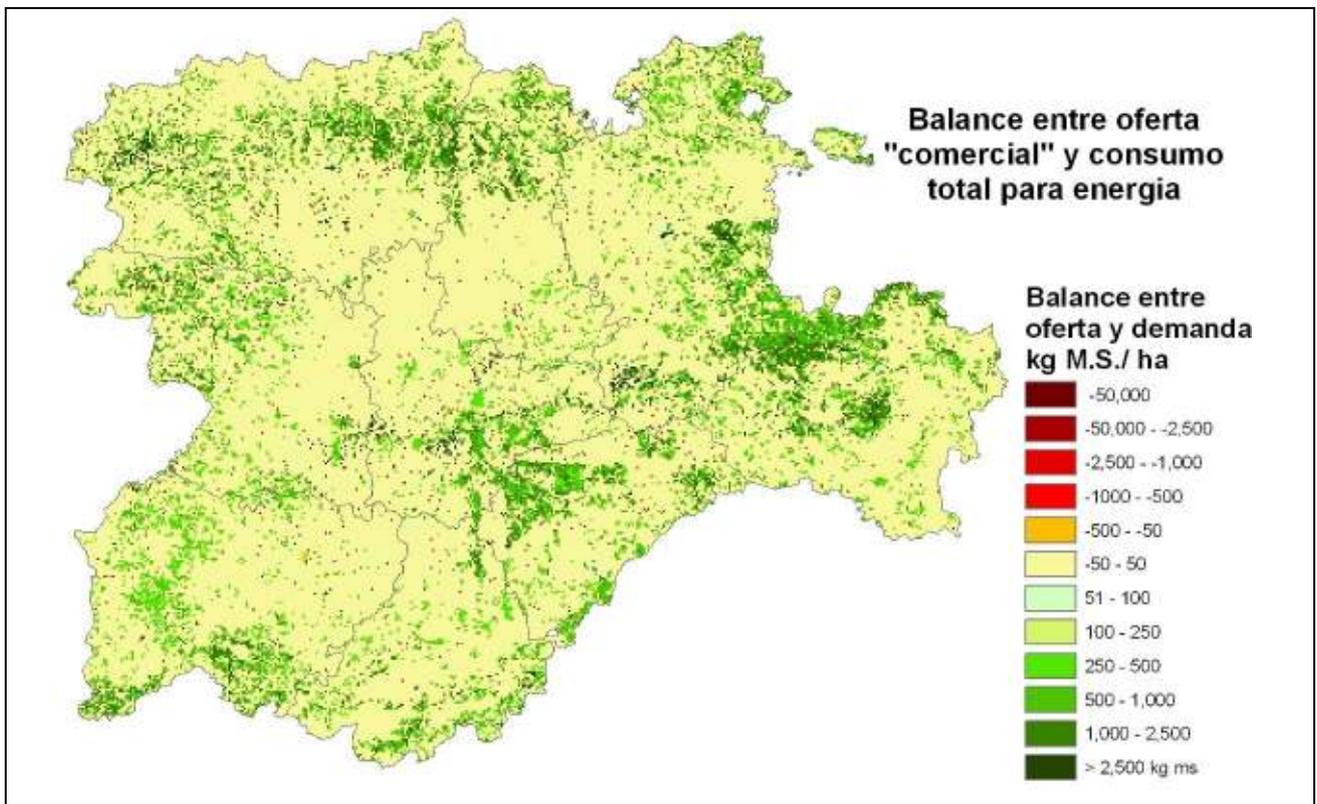


Figura 33. Balance por píxel de la oferta "comercial" potencial y el consumo actual

Fuente: Propia

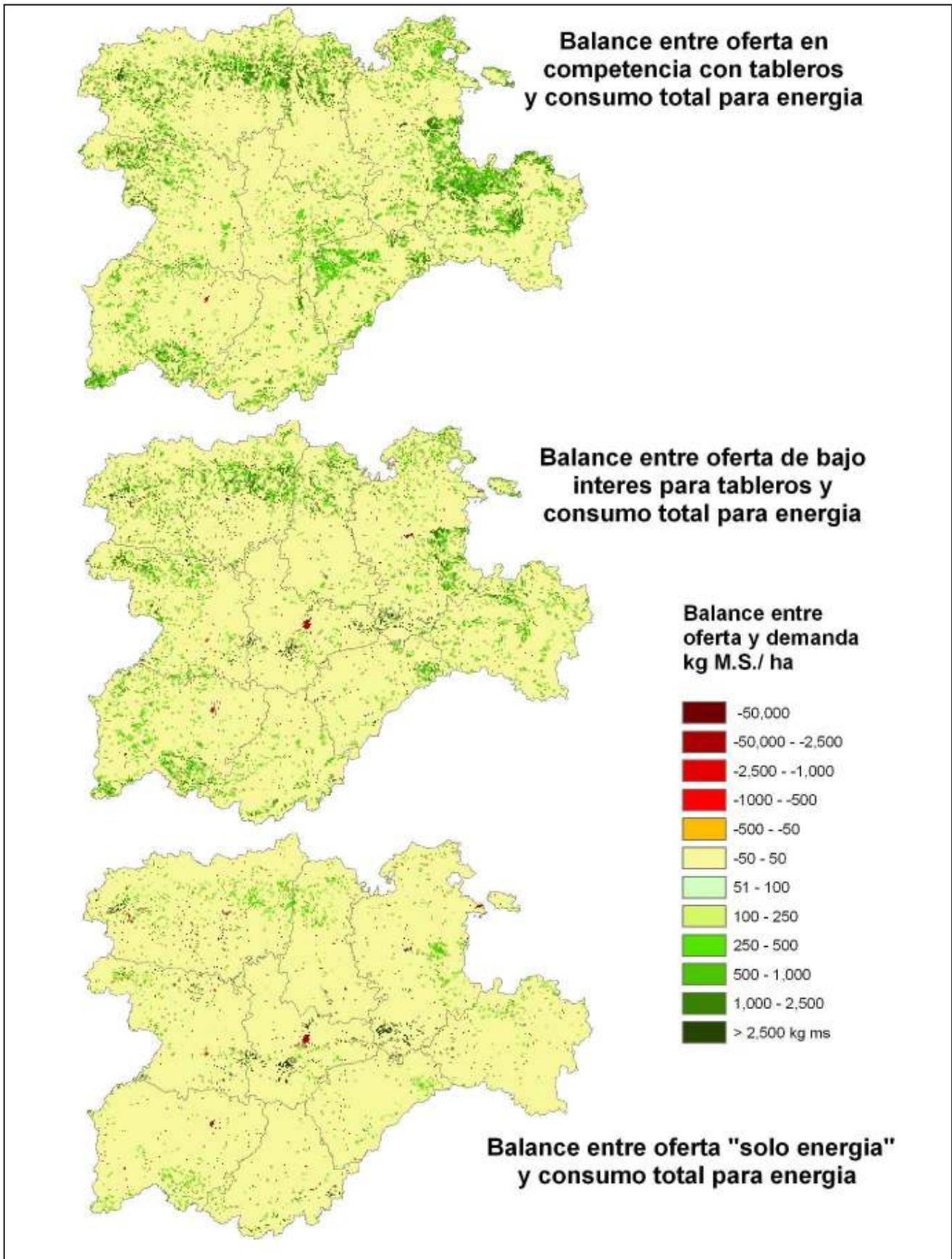


Figura 34. Balance por píxel de la oferta "comercial" y del consumo actual de:

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

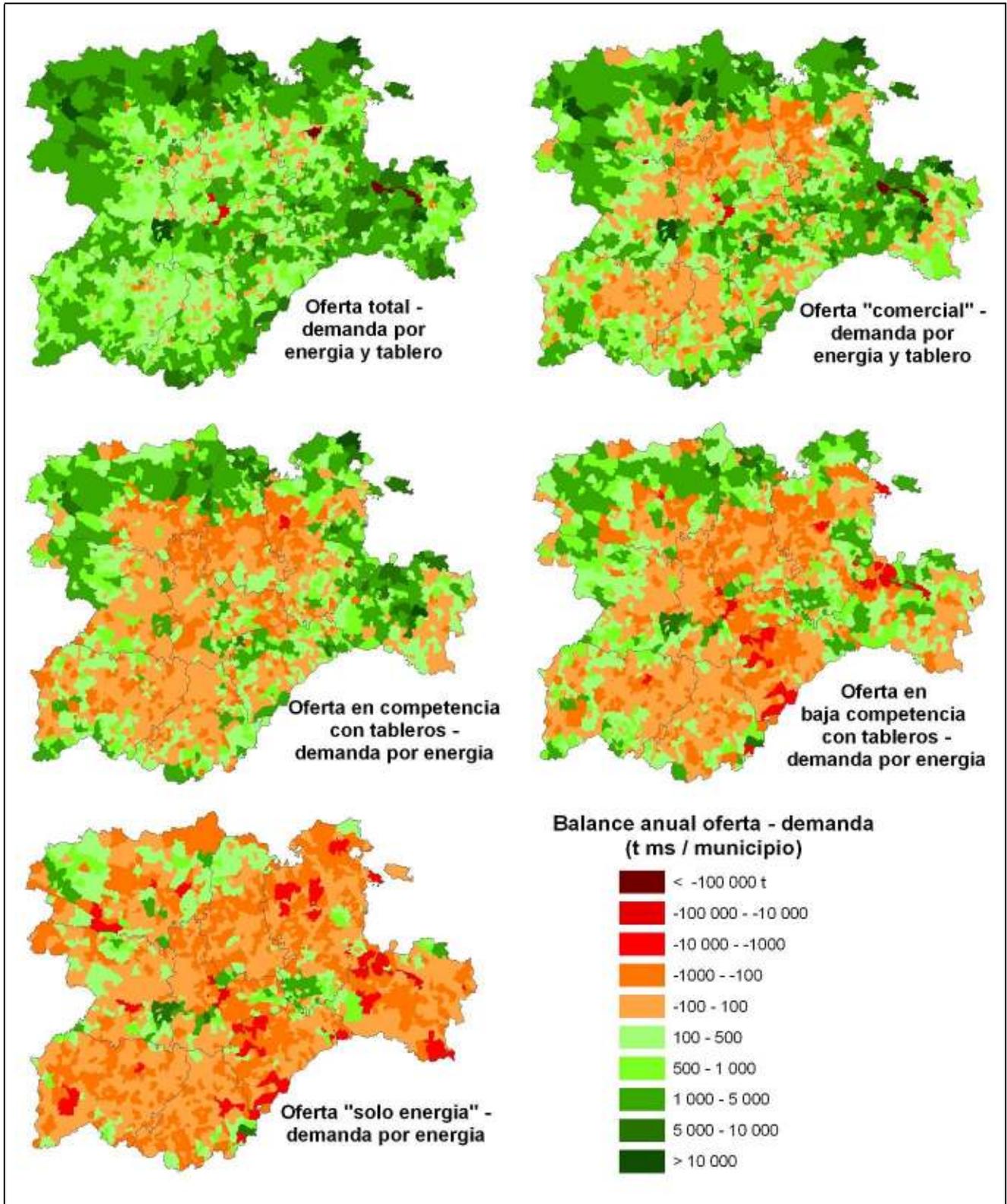


Figura 35. Balances de oferta/demanda por municipio.

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).

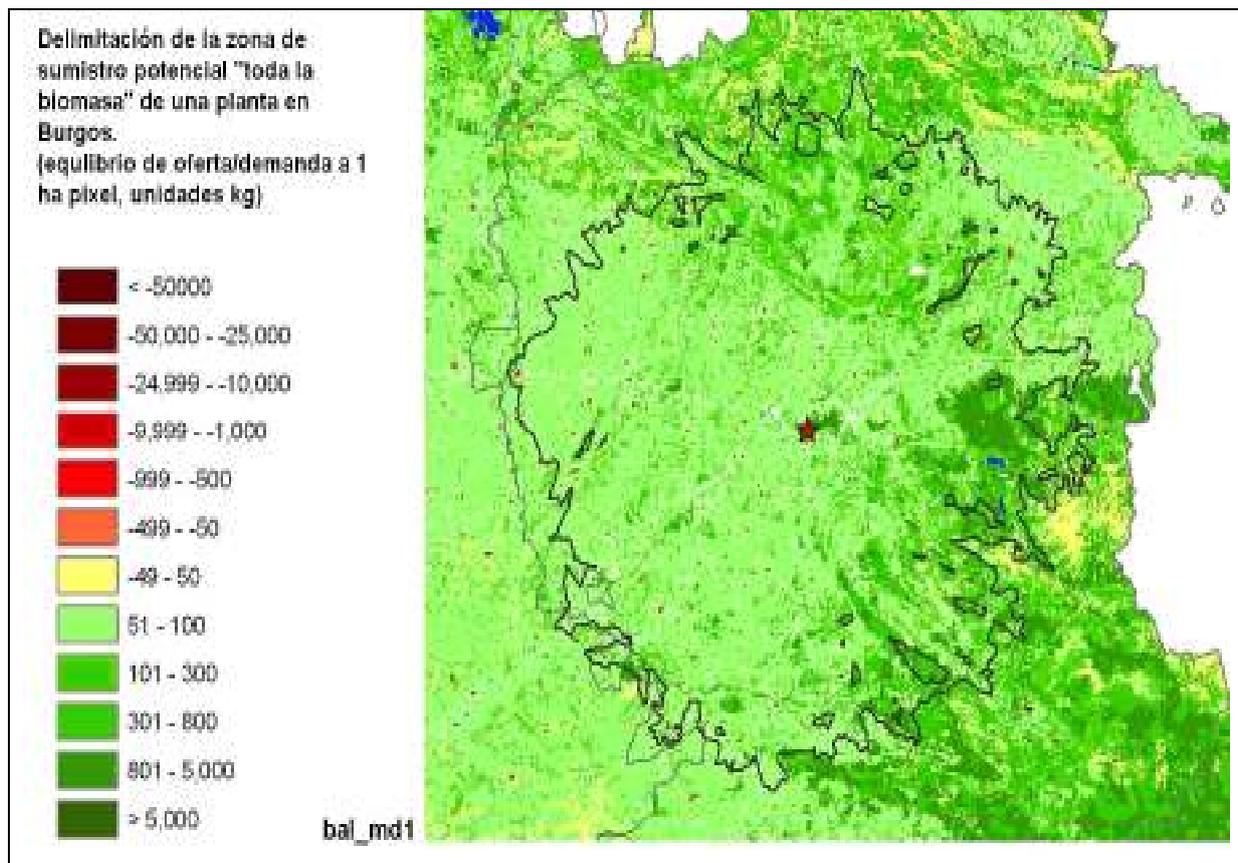


Figura 36. Ejemplo de bio-districto. Zona de suministro para una hipotética planta con un consumo anual de 90 000 t ms en Burgos.

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.

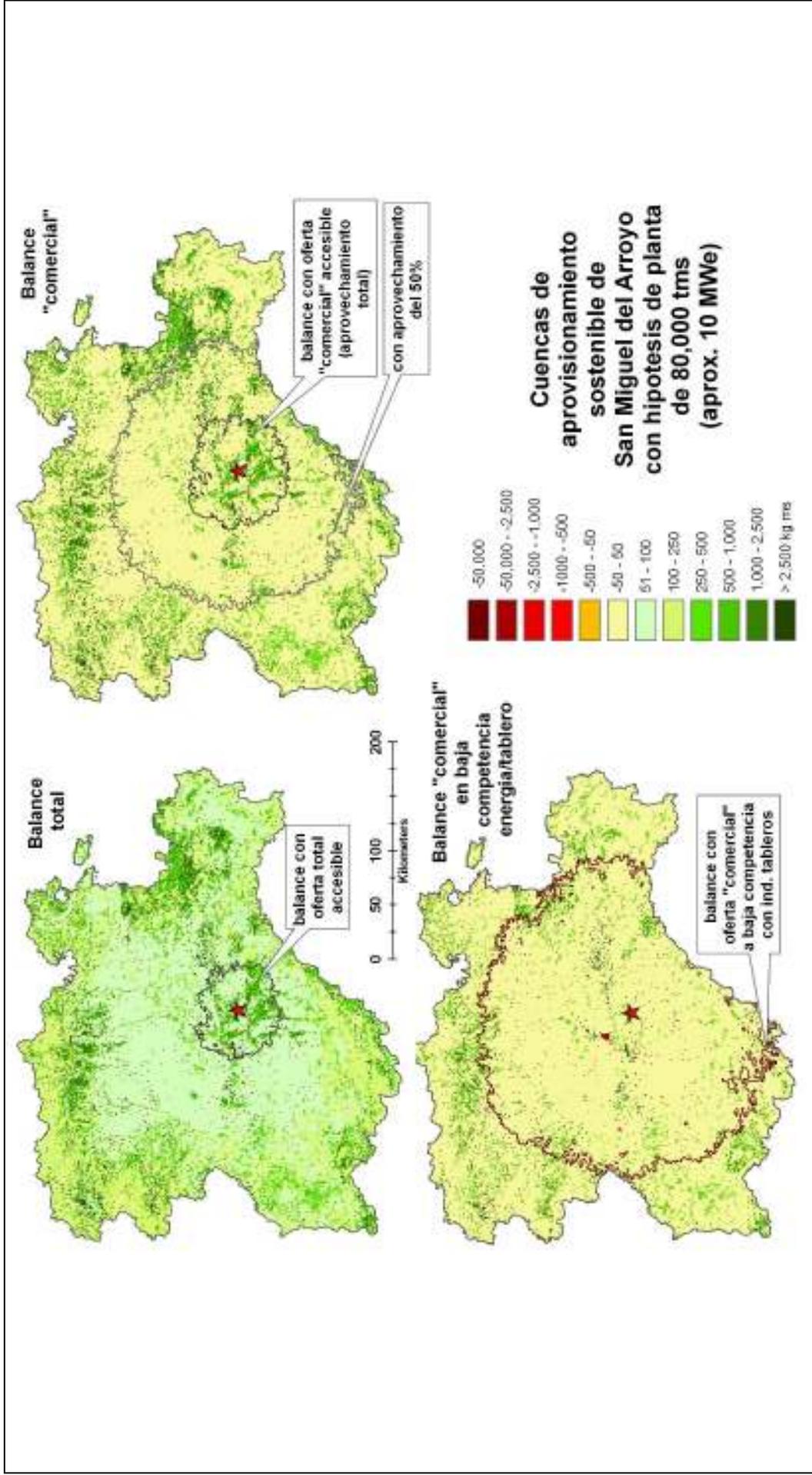


Figura 37. Ejemplo de definición de una zona de aprovisionamiento sostenible.

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

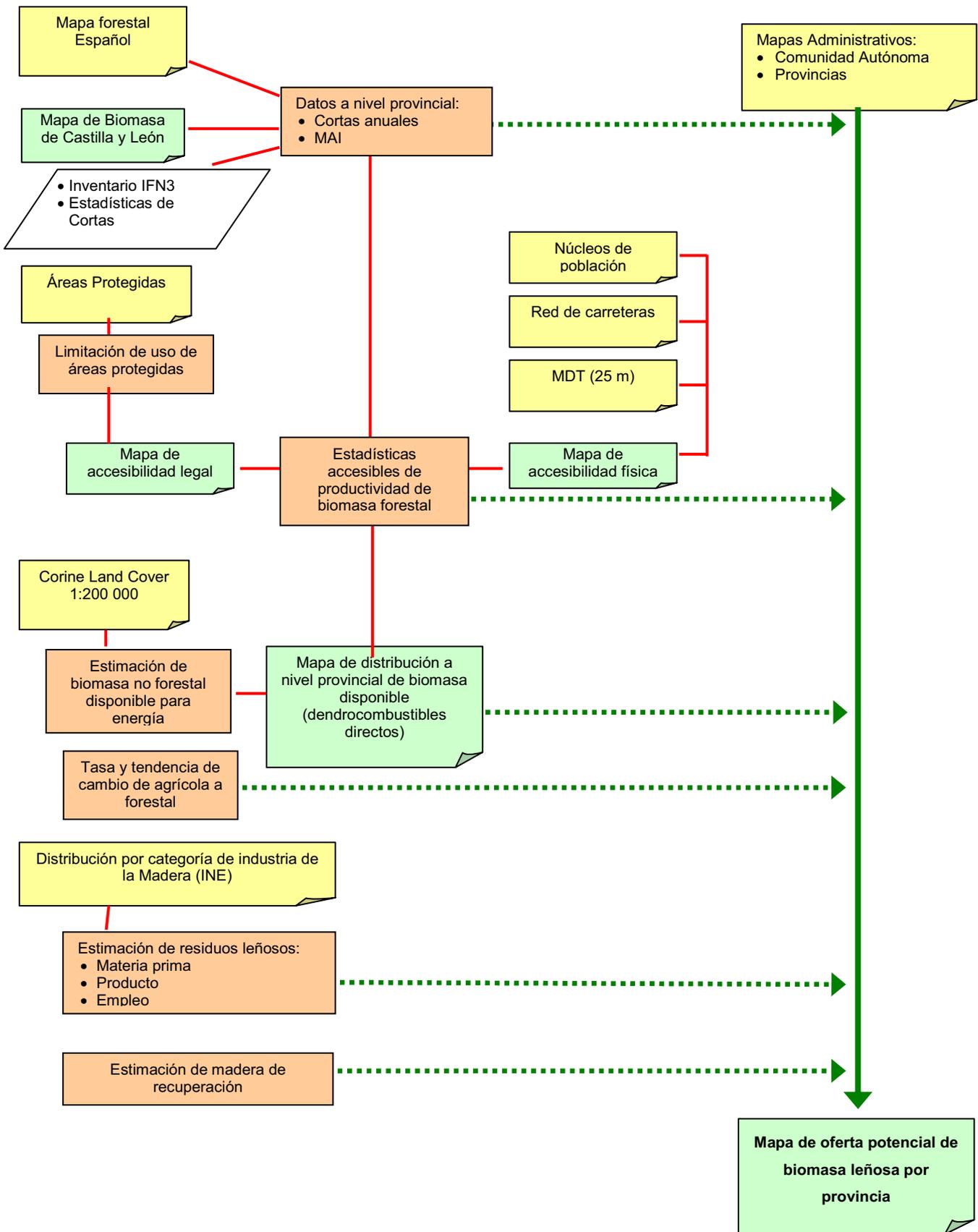


Figura 38. Diagrama de flujo del módulo de oferta nivel nacional. Flowchart of national-level supply module (province level)

Fuente: Propia

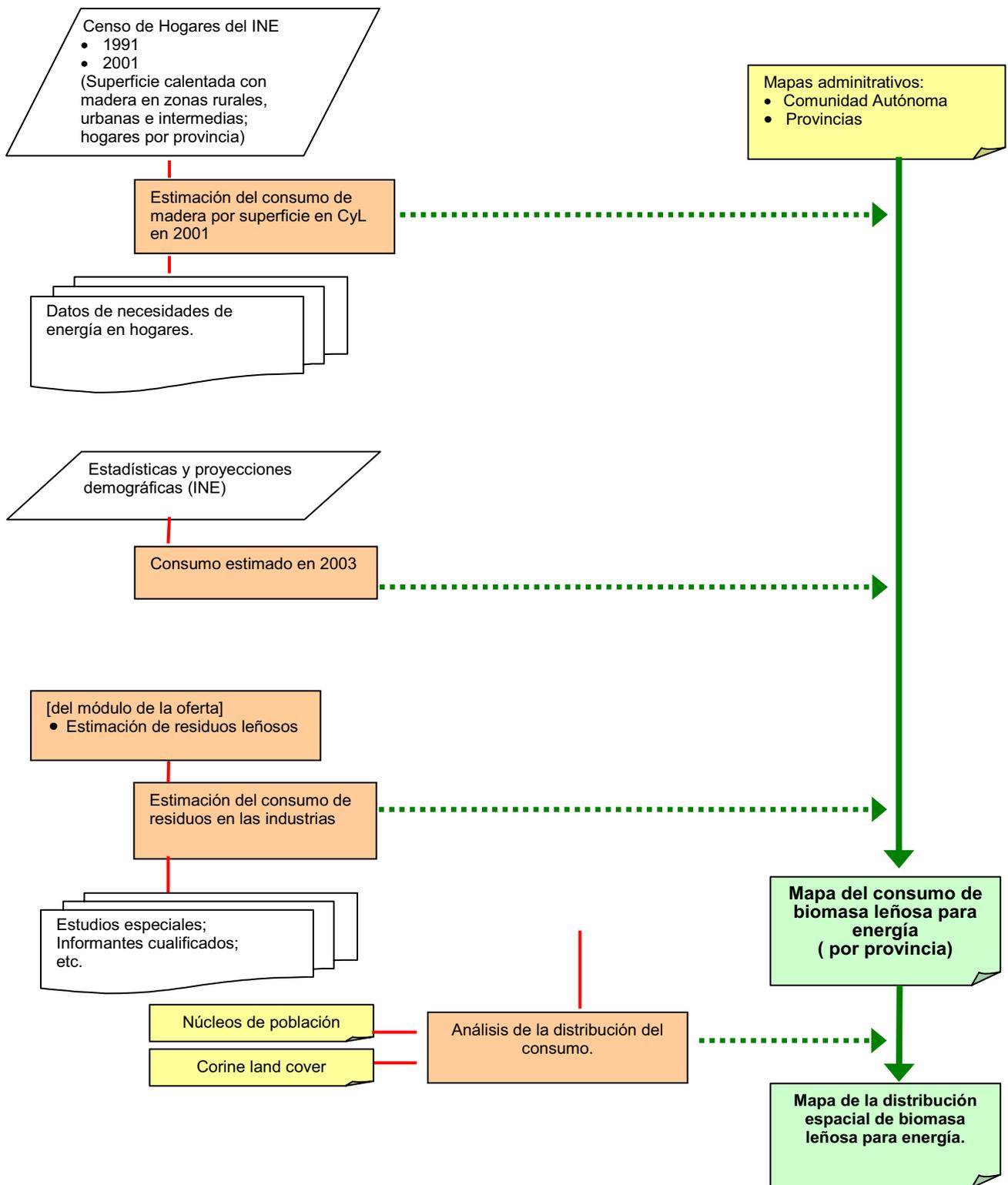


Figura 39. Diagrama de flujo del módulo de demanda a nivel nacional.

Fuente: Propia