

Trabajo Fin de Grado

Potencial e impacto económico, social y ambiental
de la biomasa: Aragón como caso de estudio

Potential and economic, social and environmental
impact of biomass: Aragon as a case study

Autor

Javier Manuel Sauras Audera

Directores

Norberto Fueyo Díaz
Antonio Gómez Samper

Grado en Ingeniería Mecánica

Agradecimientos

A mis padres y a toda mi familia, la que está y la que ha partido, por haberme indicado desde pequeño el camino a seguir, inculcándome el respeto y el amor a los pueblos y el paisaje de Aragón.

A todos mis amigos y compañeros, por el tiempo que hemos pasado frente a un mapa, pensando en la siguiente ruta. Sin ellos, los valles y montañas no serían más que nombres.

A Norberto y Antonio, por su atención y dedicación. También a todos los que han colaborado en este proyecto desde la Universidad de Zaragoza, Forestalia y a título personal.

Resumen

Los bosques y cultivos de Aragón atesoran una fuente de riqueza desaprovechada: la biomasa residual. Los pélets fabricados a partir de restos agrícolas y forestales son un combustible limpio y barato que está siendo infrautilizado por desconocimiento, escasa voluntad política y falta de iniciativa. Al mismo tiempo, el medio rural aragonés (y global) ve como se vacían sus pueblos y se abandonan sus campos, debido a la falta de oportunidades económicas y sociales.

El propósito de este Trabajo de Fin de Grado es cuantificar el potencial de recurso agrícola y forestal en Aragón y estudiar qué beneficios traería su explotación para la economía, el medio ambiente y la sociedad rural. Para ello, empleará metodologías ya asentadas y desarrollará otras novedosas. Así mismo, este trabajo pretende determinar cuales son los efectos del tamaño de las plantas de peletizado en la sostenibilidad del proceso y cuál es el tamaño óptimo de las mismas.

Para lograr sus objetivos, este trabajo se basará en estudios previos, aplicándolos al caso de Aragón. Mediante sistemas de información geográfica, determinará el potencial de biomasa de cada municipio y establecerá tres estrategias de aprovechamiento del recurso, en función del tamaño de la planta. Por último, comparará las distintas estrategias en función de su rentabilidad económica, sus emisiones de gases de efecto invernadero y su contribución a la lucha contra la despoblación.

Los resultados de este trabajo mostrarán el enorme potencial energético y de desarrollo que supone el aprovechamiento de la biomasa para el medio rural. Además, indicarán la existencia de un rango óptimo de plantas de peletizado, donde se maximizan los beneficios económicos, sociales y medioambientales. Por último, se sugieren futuros trabajos que mejorarían la precisión del análisis y arrojarían luz sobre otras facetas de la biomasa.

Abstract

Forests and crops in Aragon store an untapped source of wealth: residual biomass. Pellets made from agricultural and forest residues are a cheap and clean fuel that is being underused due to unawareness, limited political will and lack of initiative. At the same time, rural areas in Aragon (and elsewhere) are being abandoned, as a result of the lack of economic and social opportunities.

The purpose of this Final Degree Project is to quantify the potential of agricultural and forestry resources in Aragon and to study what benefits its exploitation would bring to the economy, the environment and rural society. To that end, it will use established methodologies and develop new ones. Likewise, this work aims to determine the effects of the size of the pelletizing plants on the sustainability of the process and what the optimal size is.

To achieve these objectives, this work will be based on previous studies, applying them to the region of Aragon. Through geographical information systems, it will determine the biomass potential of each municipality and will establish three exploitation strategies, with varying plant size. Finally, it will compare the different strategies based on their economic profitability, greenhouse gas emissions and contribution to the fight against rural depopulation.

The results of this work will show the enormous energy and development potential of the exploitation of biomass for rural areas. In addition, it will indicate the existence of an optimal range of pelletizing plants, where economic, social and environmental benefits are maximized. Finally, future work is suggested to improve the accuracy of the analysis and shed light on other aspects of biomass.

Índice

Índice	4
Índice de tablas	6
1. Introducción	7
1.1. Objetivo del trabajo	7
1.2. Antecedentes	7
1.3. Revisión bibliográfica	9
1.4. Metodología y estructura	9
2. Potencial de recurso.....	11
2.1. Definición del tipo de recurso.....	11
2.2. Descripción del cálculo.....	12
2.3. Análisis geográfico.....	13
2.4. Cálculo de productividad.....	14
2.5. Potencial de Aragón	15
3. Proceso de peletizado	18
3.1. Pélets de biomasa	18
3.2. Abastecimiento	18
3.2.1. Forestal.....	18
3.2.2. Herbáceo	19
3.2.3. Agrícola leñoso.....	19
3.3. Transporte	20
3.4. Planta.....	20
3.5. Capacidad de producción.....	22
3.6. Estrategias de aprovechamiento.....	23
3.6.1. Estrategia A	23
3.6.2. Estrategia B.....	24
3.6.3. Estrategia C.....	25
4. Análisis económico.....	26
4.1. Economía de la bioenergía.....	26
4.2. Rentabilidad del aprovechamiento de la biomasa.....	26
4.3. Estructura de costes.....	27
4.3.1. Abastecimiento	28
4.3.2. Transporte.....	29
4.3.3. Procesado	29

4.4. Economía de escala	32
4.5. Análisis de sensibilidad.....	33
4.6. Resultados	33
5. Análisis medioambiental	36
5.1. Biomasa y medio ambiente.....	36
5.2. Metodología del cálculo (Protocolo GHG)	37
5.3. Cálculo de emisiones.....	38
5.3.1. Abastecimiento	38
5.3.2. Transporte	39
5.3.3. Procesado.....	40
5.4. Resultados	40
6. Análisis social	43
6.1. Introducción	43
6.2. Generación de empleos	43
6.2.1. Empleos directos.....	43
6.2.2. Empleos indirectos	44
6.2.3. Empleos inducidos.....	45
6.3. Otros beneficios sociales.....	45
6.4. Zonas con riesgo demográfico	46
6.5. Resultados	48
7. Conclusión	51
7.1. Comparación multifactorial.....	51
7.2. Conclusiones.....	54
7.3. Trabajos futuros	55
8. Bibliografía	56
ANEXO A. Cálculo del potencial.....	61
ANEXO B. Cálculo de impuestos	66
ANEXO C. Divisiones territoriales	68
ANEXO D. Cálculo de riesgo de despoblación	70
ANEXO E. Tablas de resultados.....	72

Índice de tablas

Tabla 1: coeficientes de uso de suelo.....	15
Tabla 2: fracción de recurso.....	15
Tabla 3: costes de maquinaria de referencia, [5]	30
Tabla 4: precios de la electricidad industrial 1er semestre, 2020 [57].....	31
Tabla 5: consumos de energía [5], [58]	31
Tabla 6: valores de referencia de personal y costes salariales	31
Tabla 7: costes de producción desagregados por estrategia y actividad	33
Tabla 8: potencial de cambio climático (GWP)	38
Tabla 9: emisiones de kg CO2 equivalente	41
Tabla 10: comparación de emisiones de kg CO2 eq de diferentes combustibles.	42
Tabla 11: empleos equivalentes generados, desagregados por actividad y estrategia	48
Tabla 12: comparación de resultados	51

1. Introducción

1.1. Objetivo del trabajo

Este trabajo, *“Potencial e impacto económico, social y medioambiental de la biomasa; Aragón como caso de estudio”*, tiene como objetivo estudiar el potencial de biomasa aprovechable en la comunidad autónoma de Aragón y analizar estrategias de aprovechamiento desde el punto de vista de su impacto económico, medioambiental y social.

Los objetivos del trabajo son:

- Evaluar el potencial técnico de biomasa residual agrícola y forestal de Aragón.
- Analizar los costes del aprovechamiento de dicho residuo (análisis económico) para su conversión en pélets.
- Analizar las emisiones de gases de efecto invernadero (análisis medioambiental) de dicho aprovechamiento y las emisiones ahorradas respecto a combustibles fósiles.
- Analizar el impacto social que generaría esta actividad en el medio rural y su efecto en la generación de empleo en zonas despobladas.
- Establecer tres estrategias de aprovechamiento (A, B y C) en función de la escala de las plantas de peletizado y determinar cuál es la óptima.
- Extraer conclusiones acerca del tamaño de las plantas, su ubicación, la densidad de recurso y los potenciales beneficios sociales, medioambientales y económicos.

Estos objetivos están alineados con los establecidos por las Naciones Unidas en los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**, concretamente el ODS 7 (energía asequible y no contaminante), 8 (trabajo decente y desarrollo económico), 11 (comunidades sostenibles), 12 (producción y consumo responsables), 13 (acción por el clima) y 15 (vida de ecosistemas terrestres).

1.2. Antecedentes

El *Informe Brundtland* definió en 1987 el desarrollo sostenible como *“el desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades”* [1]. El **desarrollo sostenible** está

basado en tres pilares: economía, medio ambiente y sociedad. Los beneficios económicos han sido tradicionalmente el principal y único análisis en la planificación de un proyecto. Sin embargo, recientemente se ha visto la importancia de evaluar las consecuencias medioambientales de nuestras actividades, debido fundamentalmente al **cambio climático** y la **contaminación**.

De acuerdo con datos de la NASA, la temperatura del planeta ha aumentado más de 1 °C desde 1880 [2]. Se prevé que este calentamiento global de origen antropogénico traerá efectos adversos para muchos habitantes del planeta. En el Acuerdo de París (2015), los países firmantes se comprometían a *“mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales”* (Artículo 2, Acuerdo de París, Naciones Unidas). Para lograr dicha reducción, los países acordaban limitar sus emisiones de gases de efecto invernadero (principalmente dióxido de carbono). Para lograr estas metas, es imperativo desvincular el desarrollo actual de los combustibles fósiles mediante un cambio en el modelo productivo, desterrando la noción de economía lineal y abrazando **la economía circular**. Para ello, la biomasa se presenta como una excelente opción.

La biomasa es una fuente de energía renovable y neutra en carbono; las emisiones de carbono que se emiten en su combustión provienen del carbono absorbido por la planta durante su crecimiento. Sin embargo, el proceso de obtención y transformación de la biomasa emite gases de efecto invernadero, lo cual obliga a realizar un análisis de ciclo de vida para confirmar que su explotación es verdaderamente sostenible. Además, de entre todas las energías renovables, la biomasa es la única que genera una cantidad relevante de empleos fijos en las zonas que se instala. Esto la convierte en una herramienta útil para la lucha contra otro problema que, aunque global, se muestra con mayor crudeza en ciertas zonas de España, entre ellas Aragón: el abandono rural y la **despoblación**.

Desde la publicación en 2016 del libro *La España vacía: Viaje por un país que nunca fue* (Sergio del Molino, 2016) y la irrupción de Teruel Existe en el Congreso en 2019, se ha puesto sobre la mesa política nacional lo que venía siendo una realidad para muchos habitantes de la España rural: la despoblación. No es un fenómeno reciente, *El disputado voto del señor Cayo* (Miguel Delibes, 1978) o *La lluvia amarilla* (Julio Llamazares, 1988) ya trataron sus dramáticas consecuencias.

La despoblación es un fenómeno demográfico por el cual la población rural emigra del campo a la ciudad. Se aceleró en España a partir de la segunda mitad del siglo XX (desarrollismo)

y vació grandes áreas del país (sobre todo las zonas interiores y montañosas). Dichas zonas se encuentran actualmente envejecidas y muy poco pobladas. Esto genera pérdidas culturales, ambientales, sensación de desarraigo, mayor inseguridad y altos costes de provisión de servicios para el Estado.

Este trabajo se guía por la hipótesis de que la explotación y puesta en valor de residuos agrícolas y forestales en Aragón puede generar beneficios económicos, medioambientales y sociales. Económicamente, se analizará si la explotación de dichos recursos puede ser rentable, cuál es su estructura de costes, y cuál es el tamaño óptimo de planta para alcanzar dicha rentabilidad. Medioambientalmente, cuantificará las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de la cadena de producción de pélets de biomasa y lo comparará con otros combustibles. Por último, pretende calcular el impacto social de la actividad en el medio rural, cuantificando los empleos generados y los ingresos para las entidades locales.

1.3. Revisión bibliográfica

La metodología planteada para el proyecto se basa en un cálculo de potencial y un posterior triple análisis económico, medioambiental y social.

Respecto al cálculo de potencial de biomasa de Aragón, existen estudios a nivel nacional y provincial (Teruel, 2010, Zaragoza, 2012) [3]–[6]. Este tipo de cálculos están extendidos y tienen una metodología asentada. Existen variaciones relevantes entre ellos debido a la variabilidad de metodologías e hipótesis utilizadas en cada uno de los estudios, especialmente respecto a la determinación de los coeficientes de producción (ton/ha).

La literatura existente es muy prolífica en cuanto a análisis económicos de producción de pélets [7]–[9]. También está muy extendido el cálculo de emisiones (análisis de ciclo de vida) de los procesos de peletizado [10]–[12]. Sin embargo, de acuerdo con revisiones bibliográficas del 2014 [13] y 2019 [14], no existe ningún análisis exclusivamente de sostenibilidad social de la biomasa. Los únicos artículos científicos (*papers*) en los que se menciona dicho análisis, lo realizan multifactorialmente junto con el económico y medioambiental [15]–[18].

1.4. Metodología y estructura

El trabajo se divide en dos etapas: cálculo de potencial y análisis de impacto.

En la primera, cálculo de potencial, se estima una aproximación de las toneladas anuales de biomasa residual aprovechables en Aragón. Para ello, se analiza la información cartográfica publicada por el proyecto Corine Land Cover 2018 (CLC). Se realiza una revisión bibliográfica

para asignar a cada uso de suelo un coeficiente de productividad de biomasa. En dicha productividad se distinguen tres tipos de recurso: recurso herbáceo, recurso agrícola leñoso y recurso forestal. Así mismo, se aplican factores correctores en aquellas áreas que no pueden ser explotadas. La información extraída se desglosa a nivel municipal y se analiza.

La siguiente fase consiste en un análisis multifactorial del aprovechamiento de la biomasa. Se establecen tres estrategias de aprovechamiento del recurso (A, B y C) con distintos tamaños de plantas de peletizado, y se estudian sus correspondientes costes de producción (euros), emisiones de GEI (kg CO_2 equivalente) y creación de riqueza local (empleos equivalentes generados y euros invertidos en las comunidades locales). Por último, se comparan los resultados y se extraen conclusiones.

2. Potencial de recurso

2.1. Definición del tipo de recurso

La materia prima de la biomasa en este estudio son los residuos agrícolas y forestales. Estos se generan como subproductos de actividades económicas (agricultura, industria de la madera) o preventivas (limpiezas forestales, para evitar incendios). Estos recursos han de ser eliminados del campo por su riesgo de propagación de plagas, su papel como combustible en incendios y porque dificultan otras labores. Es importante recalcar que los subproductos se generan por necesidades económicas distintas al aprovechamiento energético. Así mismo, la calidad de estos subproductos no es la suficiente para otras aplicaciones de mayor valor añadido (madera para ebanistería o construcción).

Para este estudio, se ha clasificado la materia prima en tres categorías en función de su origen y naturaleza. Las categorías son:

- **Residuo herbáceo:** los restos de cultivos herbáceos se producen después de la cosecha de estos; incluyen pajas de cereales de invierno, tallos en el caso de cereales de primavera o cultivos industriales (como algodón o tabaco) y cascarillas en otros cultivos como el arroz. Estos subproductos se han aprovechado tradicionalmente como alimento o cama para el ganado, material de construcción, combustible o se han dejado en el campo para prevenir la erosión y la pérdida de nutrientes. Se comercializan en forma de balas o fardos. La principal desventaja de los cultivos herbáceos como combustible es su alto contenido en clorofila, que al combustionar se transforma en cloro y puede llegar a dañar las calderas. Además, el bajo punto de fusión de sus cenizas puede provocar problemas de escoriación.
- **Residuo agrícola leñoso:** es el proveniente de los restos de poda de cultivos leñosos: troncos, ramas, hojas. Los más comunes en Aragón son los restos de olivo, vid y frutales (destacando el almendro, el melocotonero o presquero [19], la nectarina y el cerezo). Estos restos eran antiguamente aprovechados como combustible; hoy en día este uso es minoritario. Las dos soluciones más comunes son la quema y el triturado en campo.
- **Residuo forestal:** los residuos forestales provienen de aprovechamientos madereros, limpieza de montes y mejora de masas forestales. Históricamente, los bosques han constituido la principal fuente de energía doméstica e industrial.

Esto hizo que los bosques aragoneses fueran desapareciendo. Hoy en día el problema es el contrario, ya que su baja rentabilidad desincentiva la actividad económica en los mismos y, por ello, su mantenimiento es bajo.

Es importante tener en cuenta la **estacionalidad** del recurso. Las fechas aproximadas de recogida de cada recurso aparecen en la figura 1. Los cereales de invierno (trigo, cebada o avena) se cosechan en verano (amarillo) y los de primavera (maíz, sorgo) entre septiembre y noviembre (marrón claro). Las podas agrícolas se realizan en épocas de parada vegetativa de las plantas; esto es, en invierno (color gris). Las cortas forestales se realizan a lo largo de todo el año, exceptuando las épocas de alto riesgo de incendios (color verde). De acuerdo con la Ley de Montes del Gobierno de Aragón, se establece la época de peligro de incendios forestales para el año 2020 durante el período comprendido entre el 1 de abril y el 15 de octubre. Dicha estacionalidad obliga a una buena organización en el acopio y el almacenaje de materia prima. Cuanto menor sea una planta, y más dependiente de un único tipo de recurso, más acusará las variaciones estacionales.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Herbáceo												
Agrícola												
Forestal												

Figura 1: calendario de recogida del recurso

2.2. Descripción del cálculo

El objetivo de este cálculo es determinar el potencial técnico de biomasa residual disponible en Aragón. El potencial técnico representa la cantidad de recurso que se puede extraer del medio con una determinada tecnología y eficiencia. Tiene en cuenta limitaciones topográficas, ambientales y de uso de la tierra. Para ello se han utilizado la herramienta de información geográfica QGIS y hojas de cálculo (Excel). El resultado de este inventario presenta las toneladas anuales de cada tipo de recurso (herbáceo, agrícola y forestal) disponible en cada municipio de Aragón. El proceso de cálculo se establece en la figura 2.

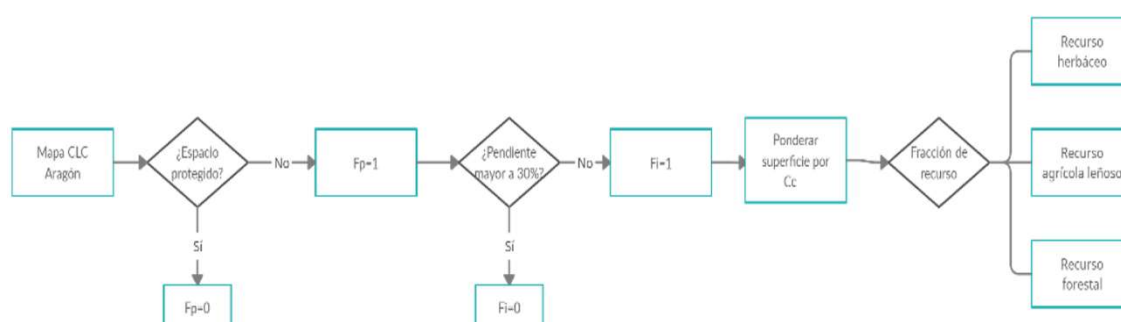


Figura 2: proceso de cálculo del potencial de recurso

2.3. Análisis geográfico

Para el análisis geográfico se ha utilizado como base el mapa del proyecto CORINE Land Cover. El proyecto CORINE (Coordination of Information on the Environment), también conocido por el acrónimo CLC, desarrolla la creación de una base de datos sobre la cobertura y uso del territorio en la Unión Europea. CORINE ha sido coordinado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) [20]. El proyecto CORINE se basa en la fotointerpretación de datos recogidos por satélite. Para este trabajo se ha utilizado la base de datos CLC del año 2018, recogidos por la red Sentinel-2 y LandSat-8. La unidad de mapeo mínima son 25 hectáreas para elementos superficiales y 100 metros para elementos lineales [21]. Así mismo, se han utilizado los mapas de municipios de Aragón del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y de la Red de Espacios Naturales Protegidos del Gobierno de Aragón en formato vectorial (.shp) y el modelo digital del terreno, resolución 20 metros del IGN en formato ráster.

Se utiliza el *software* de información geográfica *QGIS* para recortar el mapa CLC original (con cobertura de toda Europa), de tal manera que solo abarque los municipios de Aragón y se asigna a cada superficie A un atributo en función del municipio M y el uso de suelo C (figura 3).

$$A'_{M,C} = F_p \times F_i \times A_{M,C}$$

Después, se superpone la capa de Espacios Naturales Protegidos de Aragón (parques nacionales, parques naturales, reservas naturales, paisajes protegidos y monumentos naturales). Debido a la incompatibilidad de su protección con una explotación de sus recursos, se les asigna a las áreas protegidas un coeficiente de recurso nulo ($F_p=0$). Los espacios de la red Natura 2000 (LICS y ZEPAS) sí que forman parte del estudio ($F_p =1$), ya que su designación “*reconoce plenamente que el hombre es una parte integrante de la naturaleza*” y no impide las actividades económicas en el territorio, siempre que éstas sean respetuosas y sostenibles [22]. El resto de áreas no protegidas tiene un coeficiente $F_p =1$.

Mediante el modelo digital del terreno se crea un mapa de curvas de nivel y, en base a este, un mapa ráster de pendientes. Posteriormente, se filtran las teselas con pendientes mayores al 30% [6]; las zonas aisladas menores a 10 hectáreas no se han considerado, dado que su inclusión incrementaría significativamente el coste computacional sin afectar de forma relevante al resultado. Estas teselas reciben un coeficiente $F_i = 0$; resulta técnicamente muy difícil y de escasa rentabilidad los trabajos forestales en esas pendientes. El resto de teselas reciben un $F_i = 1$. Es significativo mencionar que ambas restricciones (espacios protegidos y

pendientes) afectan en su práctica totalidad al recurso forestal, concretamente en el área pirenaica y prepirenaica (figura 3).

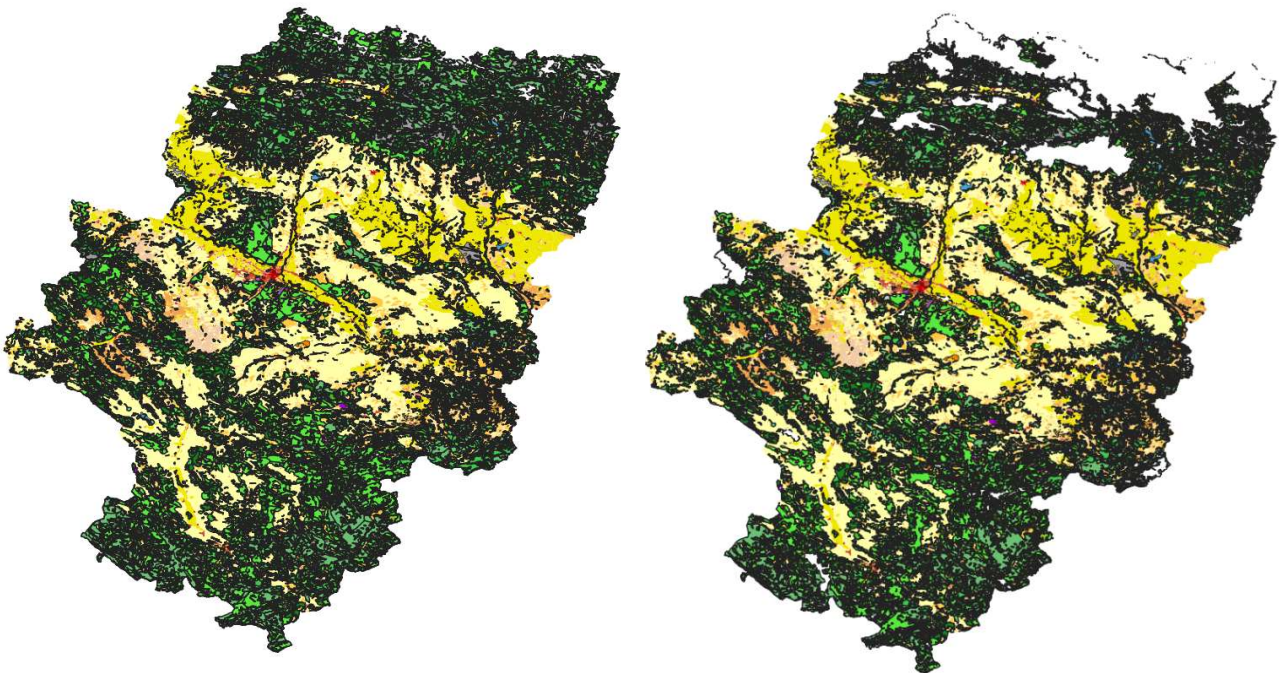


Figura 3: mapa CLC Aragón ($A_{M,C}$) y mapa CLC Aragón con restricciones de pendiente y ENP ($A'_{M,C}$). La leyenda figura en el anexo A.

Posteriormente, se exporta la información del mapa (formato .shp) a un fichero de valores separados por comas (.csv) con la superficie de cada área $A'_{M,C}$.

2.4. Cálculo de productividad

El siguiente paso es calcular cuántas toneladas anuales de recurso se generan en cada zona, dependiendo del tipo de suelo. Para ello, se aplica a cada superficie un coeficiente C_c (toneladas/ha anuales) en función del uso de suelo C. Los coeficientes para cada uso de suelo figuran en la tabla 1 y su cálculo figura en el anexo A. Se multiplica la productividad de cada superficie por $f_{n,C}$, que representa la fracción de recurso que se genera en cada tipo de suelo. Este factor es necesario debido a que existen usos mixtos, donde se producen recursos de distinto tipo. La fracción de recurso para cada tipo de suelo figura en la tabla 2 y su cálculo se puede consultar en el anexo A.

Una vez determinada la generación de residuo de cada área, se programa una macro en Visual Basic (herramienta de programación de Excel) que suma todas las áreas de un municipio M en función del tipo de recurso y de la fracción de cada tipo de suelo, obteniendo el total de recurso por municipio. La productividad municipal de cada residuo se expresa como

$$P_{M,herb} = \sum_C A'_{M,C} \times C_C \times f_{herb,C}$$

$$P_{M,agri} = \sum_C A'_{M,C} \times C_C \times f_{agri,C}$$

$$P_{M,for} = \sum_C A'_{M,C} \times C_C \times f_{for,C}$$

Por último, se estima qué porcentaje de dicho recurso se utilizará para la producción de pélets. En el caso de madera agrícola y forestal, se estima que el 100% del potencial será destinado a bioenergía, al no existir ningún otro consumo que compita. En el caso del residuo herbáceo (paja en su mayoría), al existir consumos de paja que no serán sustituidos, se estima un consumo de paja para bioenergía del 25% de la producción total [4].

USO DE SUELO	Coefic. (t/ha)
1. Superficies artificiales	-
2. Zona agrícola	
2.1 Tierras de labor	
2.1.1. Tierras de labor en secano	0,57
2.1.2. Terrenos de labor en regadío	1,64
2.1.3. Arrozales	3,80
2.2. Cultivos permanentes	
2.2.1. Viñedos	2,90
2.2.2. Frutales	3,40
2.2.3. Olivares	1,60
2.3. Prados y praderas	
2.3.1. Prados y praderas	-
2.4. Zonas agrícolas heterogéneas	
2.4.1. Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	1,19
2.4.2. Mosaico de cultivos	0,93
2.4.3. Terrenos principalmente agrícolas, pero con importante	1,02
2.4.4 Dehesa	0,18
3. Zonas forestales con vegetación natural y espacios abiertos	
3.1. Bosques	
3.1.1. Bosques de frondosas	0,91
3.1.2. Bosques de coníferas	1,22
3.1.3. Bosque mixto	1,06
3.2. Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea	
3.2.1. Pastizales naturales	-
3.2.2. Landas y matorrales mesófilos	-
3.2.3. Matorrales esclerófilos	-
3.2.4. Matorral boscoso de transición	0,32
3.3. Espacios abiertos con poca o sin vegetación	
3.3.1. Playas, dunas y arenales	-
3.3.2. Roquedo	-
3.3.3. Espacios con vegetación escasa	-
3.3.4. Zonas quemadas	-
3.3.5. Glaciares y nieves permanentes	-
4. Zonas húmedas	
4.1 Zonas húmedas continentales	
4.1.1. Humedales y zonas pantanosas	-
4.1.2. Turberas y prados turbosos	-
4.2. Zonas húmedas litorales	-
5. Superficies de agua	-

Tabla 1: coeficientes productividad de cada uso de suelo

USO DE SUELO	Fracción herbácea	Fracción agrícola	Fracción forestal
2.1.1. Tierras de labor en secano	1	0	0
2.1.2. Terrenos de labor en regadío	1	0	0
2.1.3. Arrozales	1	0	0
2.2.1. Viñedos	0	1	0
2.2.2. Frutales	0	1	0
2.2.3. Olivares	0	1	0
2.4.1. Cultivos anuales asociados con cultivos perman	0,7	0,3	0
2.4.2. Mosaico de cultivos	0,625	0,375	0
2.4.3. Terrenos principalmente agrícolas, pero con im	0,3	0,2	0,5
2.4.4 Dehesa	0	0	1
3.1.1. Bosques de frondosas	0	0	1
3.1.2. Bosques de coníferas	0	0	1
3.1.3. Bosque mixto	0	0	1
3.2.4. Matorral boscoso de transición	0	0	1

Tabla 2: fracción de recurso en cada uso de suelo

2.5. Potencial de Aragón

El cálculo de potencial determina un total de 506.765 toneladas/año de restos de poda agrícola y 929.072 toneladas/año de restos de cortas forestales. Dicho recurso muestra una gran variación espacial. Los municipios con mayor densidad de **recurso agrícola** son aquellos situados en zonas vinícolas (Borja, Cariñena y Barbastro) o de producción frutícola (Bajo Cinca, Bajo Aragón y Jalón). La mayor densidad municipal es la de Cariñena (Zaragoza), con 2,27 ton/ha de recurso (figura 4). El **recurso forestal** se localiza en las áreas de mayor altitud, donde existen grandes masas forestales (Prepirineo, Albarracín, Gúdar, Puertos de Beceite y algunas sierras aisladas del sistema Ibérico). Zonas con importante masa boscosa, pero de difícil extracción (Pirineo, algunas zonas de la provincia de Teruel), muestran una baja densidad de recurso aprovechable. El municipio con más densidad de recurso forestal es La Cerollera (Teruel), con 1,08 ton/ha (figura 5).

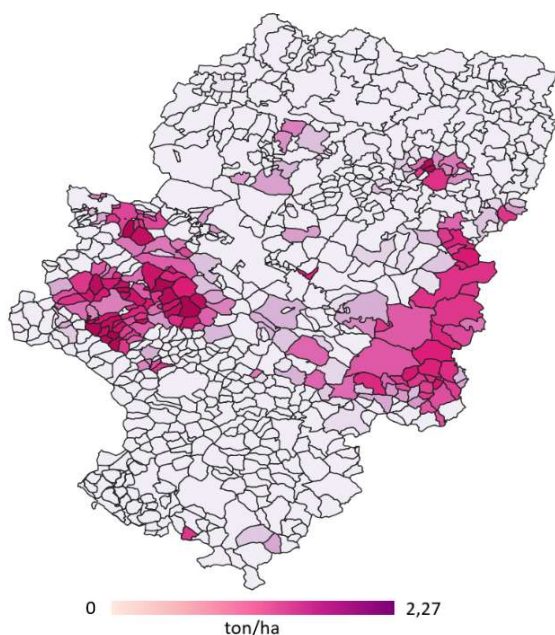


Figura 4: mapa de densidad de recurso agrícola leñoso a nivel municipal

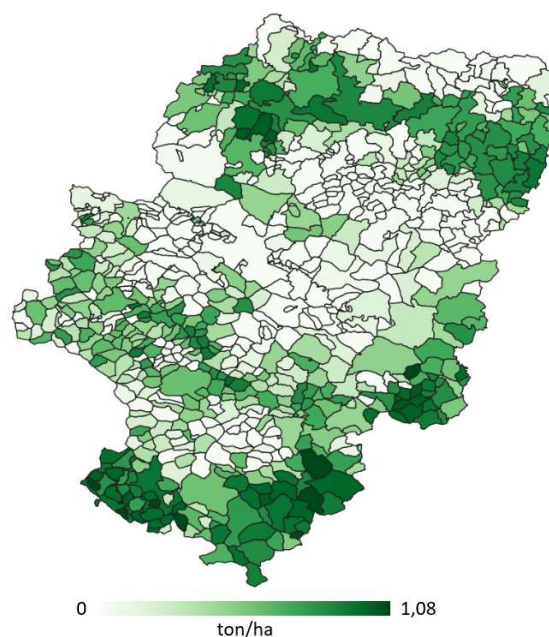


Figura 5: mapa de densidad de recurso forestal a nivel municipal

El cálculo de **recurso herbáceo** muestra una producción anual de 1.554.713 toneladas de subproducto herbáceo. De estas, se calcula que 388.678 toneladas son aprovechables para el peletizado. Los valores más altos de densidad municipal se sitúan en torno a las 2 ton/ha y se dan en zonas cerealistas de Aragón (regadíos de Cinco Villas, Monegros, Valle del Ebro y depresión del Jiloca). La figura 6 representa la densidad del recurso herbáceo municipal.

En total, se estima un potencial de recurso aprovechable de 1.824.515 toneladas anuales. El uso de distintos tipos de recurso disminuye las fluctuaciones estacionales y espaciales. La figura 7 muestra que, utilizando los tres tipos de recurso, se logra extender el impacto de la actividad a prácticamente todos los municipios de Aragón. Las únicas excepciones son municipios de secano con escasa agricultura y sin bosques y municipios de alta montaña en la provincia de Huesca. Los municipios con más producción anual absoluta de Aragón son Fraga (35.786 ton), Alcañiz (28.499 ton), Sabiñánigo (27.820 ton), Ejea de los Caballeros (26.031 ton) y Albarracín (25.454 ton). Los municipios con mayor densidad de recurso son Cariñena, Alarba, La Almunia de Doña Godina, Ainzón y Salas Bajas; todos ellos con una densidad de entre 2 a 2,3 ton/ha. La lista completa de municipios y sus potenciales figura en el anexo E.

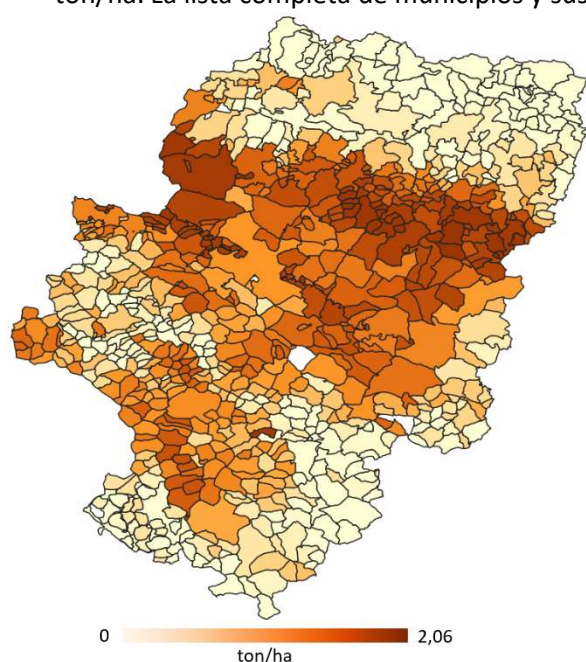


Figura 6: densidad de recurso herbáceo a nivel municipal

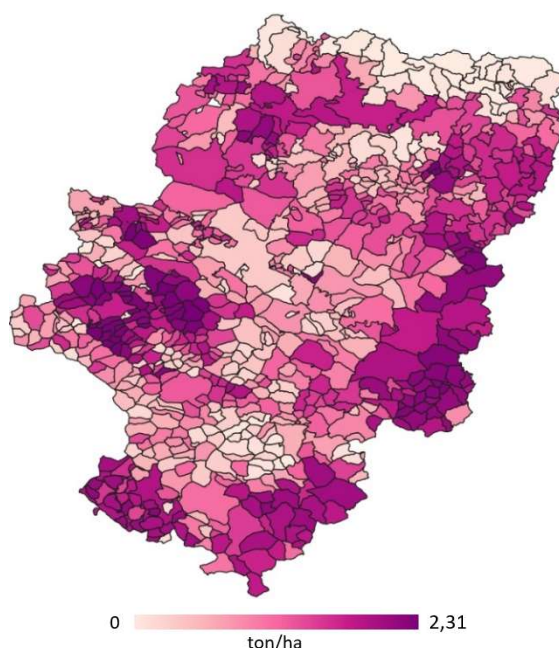


Figura 7: densidad de recurso total

De acuerdo con el estudio elaborado por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) [6], el potencial de biomasa forestal en Aragón era de 796.282 toneladas/año. Así mismo, estima un potencial anual de 1.257.356 toneladas de recurso herbáceo y 1.419.104 toneladas de recurso agrícola leñoso. Los resultados de potencial forestal y herbáceo son muy similares a los obtenidos en este trabajo. El resultado de restos agrícolas leñosos muestra una clara diferencia (tres veces mayor según IDAE). No está clara la fuente de esta divergencia, ya que IDAE no publica los coeficientes utilizados en su estudio. No obstante, la gran variabilidad de productividad reportada en la literatura científica [23]–[26] para el olivo (1,5–4,4 ton/ha), viñedo (2,2–7,8 ton/ha) y frutales (2–5,6 ton/ha) puede ser la causa de esta diferencia. En este trabajo, se ha optado por el rango inferior de los coeficientes publicados. Asimismo, la distribución de cultivos considerada en las zonas agrícolas heterogéneas también puede ser un factor que contribuya a esta diferencia de resultados.

3. Proceso de peletizado

3.1. Pélets de biomasa

Los pélets de biomasa (del inglés *pellets*, y este del latín *pilotta*) son un combustible granulado elaborado a partir de biomasa comprimida. Pueden ser de madera, corteza, restos herbáceos u otros subproductos industriales. Los pélets presentan diversas ventajas frente a otras formas de biomasa (leña, astilla o briquetas): permiten el aprovechamiento de residuos y subproductos de otras actividades (serrín, corteza), son más limpios (al no contener polvo), son más densos (reduciendo costes de almacenamiento y transporte) y su forma homogénea y granular permite la automatización de los procesos y la estandarización de la calidad del combustible. Esto lo convierte en el biocombustible sólido más apto para usos domésticos o industriales. Como contrapartida, su coste es mayor que el de la leña o la astilla al requerir más elaboración.

3.2. Abastecimiento

El abastecimiento describe el conjunto de trabajos necesarios para extraer la materia prima del medio, realizar una primera transformación y cargarla en el transporte de larga distancia. Dependiendo del recurso (forestal, herbáceo o agrícola leñoso), el abastecimiento requerirá de diferentes técnicas.

3.2.1. Forestal

El proceso de abastecimiento de restos forestales es el más complejo de las tres tipologías. Esto es así debido a lo escabroso del terreno, la baja densidad energética del medio y la necesidad de preservar el entorno natural y afectarlo lo mínimo posible. Los trabajos forestales se subdividen en tres tipos de operaciones: corta, saca y carga.

Las operaciones de **corta** incluyen todas las actividades dirigidas a apea los árboles en pie y prepararlos para el desembosque. La operación de corta comprende el apeo del árbol en pie, medición, desramado y el tronzado [27]. Estas tareas pueden ser mecanizadas, mediante multitaladores o cosechadores-procesadores, o manuales, mediante motosierras. En este estudio se asume que toda la madera forestal proviene de restos de poda de aclareos y limpiezas de montes y en ningún caso se extraerá madera en cantidades que puedan llevar a la deforestación.

La **saca** o desembosque es el proceso de transporte de la madera desde la zona de corta hasta un cargadero, donde serán convertidos en trozas o apilados junto a otros árboles para su transporte a la fábrica de elaboración o hacia otro destino final. En España, los métodos de saca más comunes son los tractores forestales, en su formato de arrastradores (skidders) o autocargadores (forwarders). Si el acceso al punto de tala es bueno, se utilizan tractores agrícolas preparados para la tarea. En terrenos muy escabrosos y con poca distancia al cargadero se pueden llegar a utilizar métodos de saca manual o con animales de tiro. En lugares muy complejos y con madera excepcionalmente valiosa se utilizan sistemas de saca aérea con cables o con helicóptero.

Las operaciones de **carga** se realizan en el cargadero. El cargadero es un punto en la linde de un camino o carretera hasta donde accede un vehículo de carga general, que transportará la madera hasta su destino final. En estos lugares, una cuadrilla se encarga de desramar y trozar los árboles que no hayan sido correctamente tratados en las operaciones de corte, y cargan los camiones mediante plumas de carga, cargadores frontales u otro tipo de grúa.

3.2.2. Herbáceo

Tradicionalmente se cosechaba con hoz. Hoy en día, una cosechadora-empacadora siega el trigo, separa el grano y lo vierte a un camión abierto que circula en paralelo. Al mismo tiempo, compacta la paja y la expulsa por detrás en formas de pacas. Estas pacas se recogen en el campo y se llevan en camiones a las lonjas o al consumidor final. La cosecha se hace cuando el cereal presenta un 10% de humedad, por lo que no necesita secado. Los principales subproductos para peletización son la paja de trigo y cebada y el cañote de maíz.

3.2.3. Agrícola leñoso

Las podas de árboles frutales, vides y olivos se realizan de forma periódica para asegurar su correcto crecimiento. Se distingue entre poda de formación (la que se realiza los primeros años para encauzar el crecimiento del árbol), poda de producción (la que se realiza para mantener la forma adecuada del árbol y que concentre la energía en la producción del fruto) y el arranque (cuando se arranca todos los árboles para sustituir por otros nuevos). El tiempo entre podas es muy variable, desde varias veces al año en ejemplares jóvenes hasta una vez cada 15 años en olivos viejos. El arranque da mucha más madera que las podas de mantenimiento, pero limita la producción de los siguientes años. Las tareas de poda son obligatorias para el aprovechamiento agrícola y por tanto son realizadas por el agricultor independientemente de que exista o no demanda de leña. Los restos de poda suelen ser quemados en el mismo campo,

triturados y esparcidos por la finca o aprovechados a pequeña escala para autoconsumo. No existe un mercado de compra de restos de poda a gran escala.

3.3. Transporte

El transporte consiste en el acarreo de la materia prima desde los puntos de recolección (cargaderos, lonjas o fincas) hasta la planta de peletizado. Se ha escogido como vehículo tipo un vehículo articulado de carga general: un camión con cabeza tractora de 2 ejes y semirremolque de 3 ejes. Su masa máxima autorizada es de 40 toneladas y su carga útil de 25 toneladas [28]. El volumen del remolque se ha estimado en 84 metros cúbicos (contenedor de 45 pies).

Para calcular la distancia recorrida, primero se mide la distancia euclidiana desde el centro del municipio donde se realiza el abastecimiento hasta la ubicación de la planta de peletizado mediante *QGIS*. Dicha distancia euclidiana se multiplica por un coeficiente corrector ($C=1,417$) [28], obteniendo una distancia estimada. A esta distancia se le aplica un factor de carga de 2,5 para tener en cuenta los viajes de regreso (en vacío), los tiempos de carga y descarga, descansos y retrasos [29]. En el caso de los residuos herbáceos, se estima que viajan en forma de pacas, de densidad 120 kg/m^3 [29]. En el caso de madera (agrícola y forestal), se estima una densidad promedio aparente de 240 kg/m^3 [30].

3.4. Planta

En la planta de peletizado se transforma la materia prima (madera o residuos herbáceos) en pélets homogéneos listos para su aprovechamiento. Para ello, pueden disponer de una o varias líneas de procesamiento en paralelo.

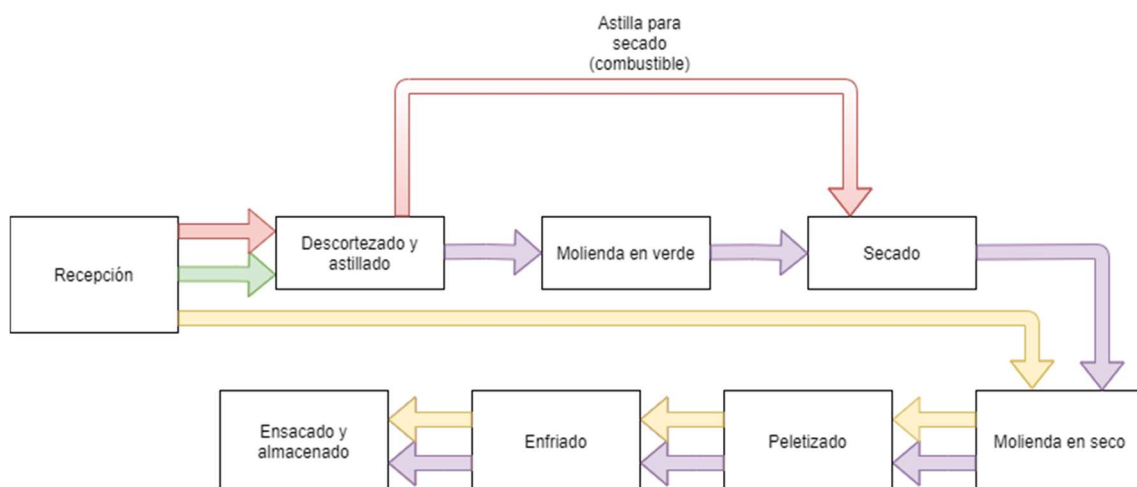


Figura 8: esquema del proceso de peletizado. Se representa el flujo de paja (amarillo), madera agrícola (rojo) y forestal (verde) y la madera mezclada (morado).

- **Recepción.** La materia prima es descargada de los camiones y almacenada en las campas de acopio, o directamente trasladada a la línea de producción, donde un detector de metales equipado con un electroimán filtrará cualquier posible esquirla de metal que haya entre los restos y pueda dañar la maquinaria.
- **Descortezado y astillado.** Los troncos grandes son descortezados. Esto mejora la calidad del pélet al contener la corteza gran cantidad de impurezas. Toda la madera es triturada y astillada (en una o varias fases) para facilitar la posterior molienda. Los residuos herbáceos no requieren de astillado.
- **Molienda en verde.** Las astillas entran en un molino de martillos que reduce las astillas a partículas de 15 mm [31]. Esto incrementa la superficie de contacto, lo cual redundará en una mayor eficiencia en el secado. Los residuos herbáceos no requieren de molienda en verde.
- **Secado.** La astilla de madera puede secarse de manera natural o mediante un horno de secado. Lo típico es optar por la segunda opción, ya que el secado natural depende de las condiciones meteorológicas y requiere de mucho espacio debido a su lentitud (de hasta medio año). Debido a la estacionalidad de llegada del recurso (temporadas de poda), habrá momentos en los que la madera acopiada en la campa se seque parcialmente de manera natural. La instalación de secado puede ser de trómel giratorio con ventilación forzada o de sistema por bandas. La fuente de calor puede ser un combustible fósil (como gas natural) o abastecerse de la propia biomasa. Para este trabajo se considera que, siempre que sea posible, la fuente de calor serán restos de corteza y astillas de madera agrícola (de menor calidad que los restos forestales). El material se debe secar hasta el 10-12% en base húmeda, resultando en pélets del 8-12%. El serrín o astillas húmedas tienen habitualmente una humedad de alrededor del 45%. Los residuos herbáceos no requieren de secado al haber sido cosechados al 10% de humedad. El proceso de peletizado requiere un mínimo de humedad, ya que el agua también actúa como agente ligante. Por el contrario, un exceso de agua origina un pélet de menor calidad ya que peletiza peor al alcanzar menos presión [31]. La ecuación que relaciona la cantidad de madera final e inicial en el proceso de secado es

$$M_f = M_i \times \frac{1 - H_i}{1 - H_f}$$

siendo M_i y M_f las toneladas de madera inicial y final y H_i y H_f el contenido de humedad en base húmeda. Para calcular las toneladas de astillas necesarias como combustible, se aplica la ecuación

$$Ast = (M_f - M_i) \times \frac{\Delta}{Q_{ast}}$$

siendo $(M_f - M_i)$ la masa de agua extraída, Δ la energía necesaria para extraer un kilogramo de agua (3,5 MJ/kg) y Q_{ast} el poder calorífico de la astilla al 45% de humedad (9,072 MJ/kg) [32].

- **Molienda en seco.** El producto entra en el molino, que puede ser de rodillos o de martillos, y es reducido hasta la granulometría óptima para el peletizado, alrededor de 4 mm para pélets de 6 mm [31].
- **Peletizado.** Las máquinas peletizadoras pueden ser de troquel plano o de anillos. En ambas, se introduce el polvo molido y, a través de una matriz, se comprime y se extruye el polvo hasta formar los pélets. Una cortadora a la salida secciona los pélets.
- **Enfriado.** Los pélets salen de la matriz a una temperatura de 90-100 °C. Es necesario enfriarlos para que la lignina se endurezca y actúe de aglomerante. El equipo enfriador se basa en una cámara vertical con ventiladores por donde circulan los pélets. Al aumentar la dureza y resistencia, se evitan problemas de manipulación posteriores [33]. En esta fase es crucial un sistema de filtrado y cribado de polvo que evite que el polvo suelto pase a la fase de ensacado, reduciendo la calidad del pélet.
- **Ensacado, almacenaje y distribución.** Dependiendo de la demanda, los pélets se pueden comercializar en sacos, big-bags o a granel. Para venta a particulares, el formato más común es el saco de 15 kg. Posteriormente, se almacena en silos (granel) o en palets (sacos), a la espera de su distribución.

3.5. Capacidad de producción

Se ha estimado una capacidad de producción anual de pélets de 1.104.185 toneladas, 373.688 toneladas de pélet de paja y 730.498 toneladas de pélet de madera. El cálculo de producción se ha basado en las siguientes hipótesis:

- El rendimiento de recurso por etapa es del 99% (1% de pérdida en masa cada etapa).
- La paja no requiere de secado.
- La humedad inicial de la madera es del 45% en b.h. y la final 12% b.h.

- La astilla usada como combustible para el proceso de secado se extrae de la línea de peletizado después del astillado y previa a la molienda en verde. Dicha astilla se obtendrá preferencialmente de los restos de madera agrícola y corteza.

Las ecuaciones resultantes son

$$P_{paja} = 0,99^n \times Paja_{inicial}$$

$$P_{madera} = 0,99^n \times Madera_{inicial} - Ast - (M_f - M_i)$$

siendo P la producción anual, n el número de procesos, $Paja_{inicial}$ y $Madera_{inicial}$ la cantidad de recurso comprado, Ast las toneladas de astillas utilizadas como combustible y $(M_f - M_i)$ la masa perdida en el proceso de secado. La relación entre paja comprada y pélet es del 96%, en la madera es del 51%. Se consumen 178.967 toneladas de astilla.

3.6. Estrategias de aprovechamiento

Para estudiar la relación entre la escala de las plantas y la sostenibilidad, se han planteado tres estrategias de aprovechamiento de la biomasa. Se realizará el análisis económico, medioambiental y social a cada una de las tres estrategias, y se compararán los resultados.

3.6.1. Estrategia A

La primera estrategia de aprovechamiento consiste en instalar una planta en cada comarca de Aragón. El área de acopio de material para cada planta coincide con los límites de la comarca. Al ser las comarcas variables en tamaño y densidad de recurso, las plantas de

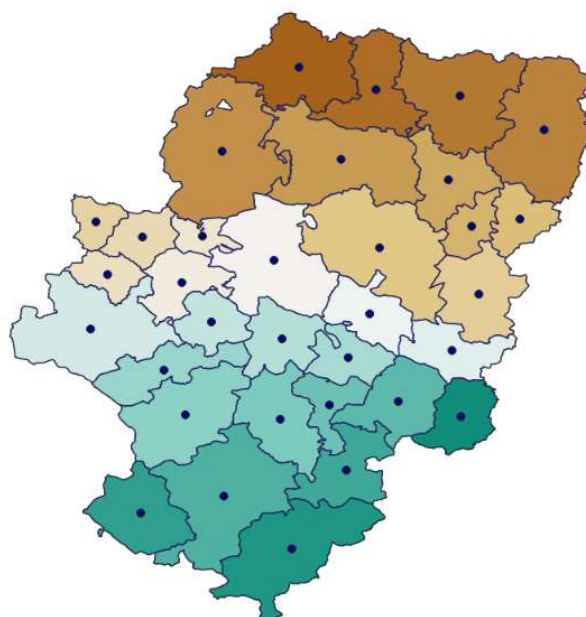


Figura 9: ubicación de plantas y sus zonas de acopio (estrategia A)

peletizado son de una escala muy amplia, desde las 7.441 toneladas de producción de Tarazona hasta las 85.500 de las Cinco Villas.

Para modelizar los costes, se han utilizado los datos publicados por Uasuf y Becker en 2011 [7]. En dicho estudio, plantean los costes de dos plantas de diferente capacidad (23.652 ton/año y 47.304 ton/año). Se han empleado los datos de la planta de 23.652 toneladas como referencia para las plantas menores a 35.478 ton/año y los datos de la de 47.304 ton/año como referencia para las de mayor capacidad (siendo 35.478 ton/año el punto medio entre las dos).

3.6.2. Estrategia B

La estrategia B consiste en la división de Aragón en cinco áreas de potencial de recurso similar y la instalación de una única planta en cada área. Se ha escogido la división en cinco áreas ya que da una capacidad estimada de 220.700 toneladas de pélets, cerca de las 210.000 toneladas del proyecto de planta más grande de España (Andorra, Forestalia). Esto permite utilizar datos reales que la empresa ha facilitado. En concreto, permite modelizar el personal de la planta y la inversión total. Para los costes de maquinaria e instalación se han utilizado los datos de la planta de referencia de 47.304 ton/año [7], ajustados en función de la economía de escala (explicada en el subapartado 4.4). La determinación de los sectores y la ubicación de los centros figuran en el anexo B.

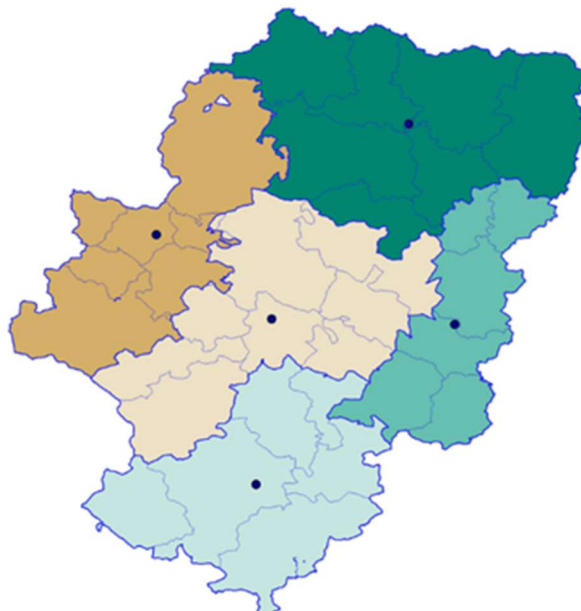


Figura 10: ubicación de plantas y sus zonas de acopio (estrategia B)

3.6.3. Estrategia C

De acuerdo con los resultados de las estrategias A y B, parece existir un punto óptimo en cuanto a costes económicos y emisiones alrededor de las 120.000 toneladas de capacidad. Este punto responde a razones que se explicarán más adelante, y se encuentra cerca de las 140.000 toneladas de capacidad de la planta de Forestalia en Erla (Zaragoza). La estrategia C consiste en dividir Aragón en 8 áreas de potencial similar (anexo B), situando una planta de peletizado en cada centro. Dichas plantas tienen una capacidad alrededor de las 140.000 toneladas. Los costes de maquinaria e instalación responden a los de la planta de 47.304 ton/año [7], ajustados en función de la economía de escala.



Figura 11: ubicación de plantas y sus zonas de acopio (estrategia C)

4. Análisis económico

4.1. Economía de la bioenergía

La explotación de la biomasa genera múltiples beneficios económicos. Desde el punto de vista macroeconómico, disminuye la dependencia energética del exterior, evitando la salida de divisas a países productores de combustibles fósiles. Para agricultores y propietarios forestales, permite dar valor económico a subproductos que antes eran considerados una carga económica. Para consumidores, ofrece un combustible de calefacción hasta un 60% más barato que el gasóleo [34]. Además, al considerarse la biomasa un combustible neutro en carbono, queda exento del mercado de derechos de emisión (EU ETS), el cual previsiblemente cobrará cada vez mayor importancia en los análisis económicos.

En 2017, la economía de la bioenergía movió en Aragón una cifra de negocio de 46 millones de euros y dio trabajo a 427 personas [35]. En Aragón existen en el año 2020 una planta de peletizado a pequeña escala en la provincia de Huesca (Campo) y tres en la provincia de Teruel (Albarracín, Torre de Arcas y Bea). El grupo Forestalia es propietario de la planta Erla Pellets (140.000 toneladas) en Erla (Zaragoza). Esta planta es la más grande de España. El mismo grupo está construyendo en Andorra (Teruel) la que será la próxima planta más grande del país, con una producción de 210.000 toneladas anuales.

4.2. Rentabilidad del aprovechamiento de la biomasa

Los pélets de madera se elaboran a partir de los restos de madera agrícola y forestal. La norma que regula la calidad de los pélets requiere que aquellos de mayor calidad (ENPlus A1) provengan de fustes enteros, no tratados químicamente. Esta calidad obligaría a utilizar únicamente pies enteros, con una tala selectiva. Como la finalidad de este estudio es el aprovechamiento de restos de poda (ramas, troncos trozados, árboles pequeños), se estima que la mezcla de residuos de corta y poda entrarían en las siguientes categorías (A2 y B). Los pélets de madera son los más adecuados para combustión en calderas domésticas debido a su mayor poder calorífico y a un contenido bajo en cenizas y partículas en emisiones.

Los pélets de paja provienen de los residuos herbáceos. Debido a sus características (alto contenido en clorofila y bajo punto de fusión de cenizas), estos pélets son más indicados para usos industriales y en grandes superficies, donde existe un mayor mantenimiento y control de emisiones. Los pélets de paja también pueden ser utilizados en alimentación animal, jardinería o camas para ganadería.

El IDAE publica trimestralmente un índice de precios de biomasa (figura 12). En los últimos años, los precios de pélets ensacados con certificado A1 se han mantenido estables en torno a los 200 euros/ton. El primer trimestre de 2020, el precio por tonelada era de 190,62 € para pélets con certificado A1 y 181,87 € para los pélets no certificados. El pélet de paja figura a 150 €/ton [36]. Todos los precios son sin IVA. Es importante destacar que estos precios son en punto de entrega; los límites del estudio son “*cradle to gate*” (desde la materia prima hasta la puerta de salida de la planta del peletizado) por lo que a estos precios hay que descontar el coste de distribución para hallar el precio de venta en planta.

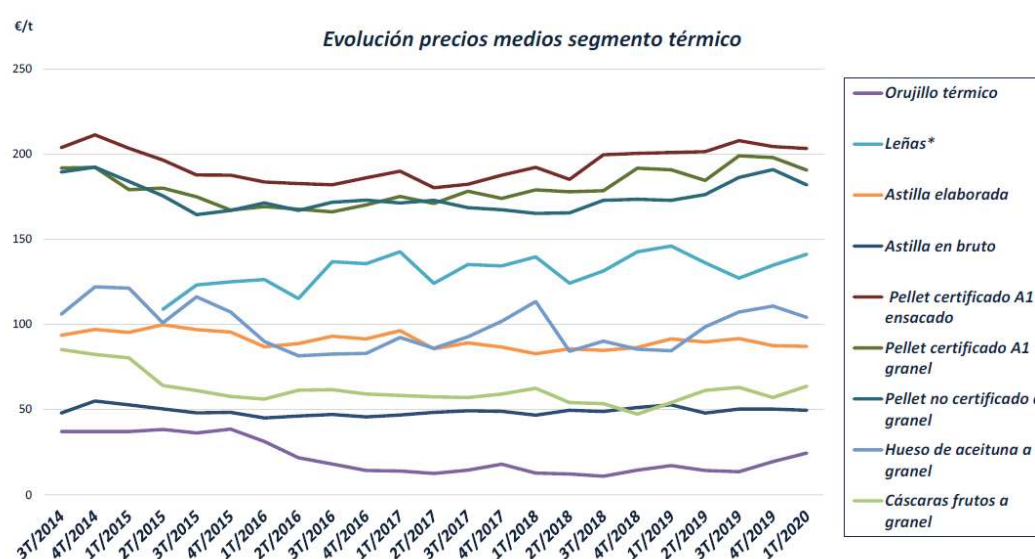


Figura 12: precios de biocombustibles 2014-2020 [7], [64]

Considerando el precio de pélet de paja (150€/ton) y de madera no certificada (181,87 €/ton) en punto de entrega y descontando un 10% en concepto de gastos de distribución y comisiones de venta, el precio de venta de los pélets en fábrica considera es 153,98 €/ton (163,683 € para los pélets de madera y 135 €/ton para los pélets de paja). El margen entre este precio de venta y los costes de producción serán el margen de beneficio. Los ingresos totales por la venta de los pélets serían de 166,28 millones de euros anuales (46,71 y 119,57 por la paja y madera, respectivamente).

4.3. Estructura de costes

Los costes de producción se clasifican en costes de abastecimiento de materia prima, transporte y planta; dentro de la planta se distingue entre costes de capital y costes de operación.

$$C_T = C_{abast} + C_{trans} + (C_c + C_{op})$$

4.3.1. Abastecimiento

Los costes asociados a la compra de la biomasa dependen del tipo de recurso. Este estudio trabaja con la hipótesis de que los precios de abastecimiento son independientes de la demanda y no varían entre las estrategias.

$$C_{abast} = C_{fo} + C_{agri} + C_{herb}$$

- **Residuo forestal:** las operaciones de tala y desembosque las suelen realizar en Aragón las brigadas forestales del consorcio público SARGA. También existen empresas privadas que realizan estas actividades. Según el Anuario de Estadística Forestal de 2018 [37], el precio de coníferas para leña en cargadero fue de 35,3 €/ton y el de frondosas de 38,9 €/ton. Ponderando los precios con el porcentaje de cada tipo (31% frondosas, 69% coníferas), el precio medio de leña en cargadero es de 36,41 €/ton.

$$C_{for} = P_{conif} \times f_{conif} + P_{frond} \times f_{frond}$$

- **Residuos agrícolas leñosos:** los datos económicos sobre la poda agrícola son muy escasos. Es práctica habitual que las empresas de biomasa se ofrezcan a cubrir al agricultor los costes de recogida a cambio de los restos. Por tanto, se han estimado los costes de recogida de la siguiente manera. Un tractor de 96 HP con dos operarios en suelo plano recoge 7,62 m³/hora, consumiendo 3 litros diésel/hora [38]. Con una densidad media aparente de madera de 240 kg/m³, un sueldo de 8,2 €/h para el tractorista y 7,2 €/h para los operarios [39], un precio del diésel de 1,0183 €/litro [40] y un coste de alquiler del tractor de 18 €/h [41], el coste de recogida de madera agrícola es de 23,8 €/ton.

$$Recog_{agri}[\text{ton/h}] = Rend_{tractor}[\text{m}^3/\text{h}] \times Dens_{mad}[\text{ton/m}^3]$$

$$C_{agri} = \frac{C_{diesel} + C_{maq} + C_{personal}}{Recog_{agri}}$$

- **Residuos herbáceos:** son diferentes a los restos de madera. El aprovechamiento de la paja como producto económico tiene un mercado consolidado. Normalmente el agricultor se encarga de la recolección del recurso y lo comercializa en las lonjas o lo lleva directamente a las instalaciones del consumidor. El precio de la paja tiene una gran variabilidad interanual. En noviembre de este año (2020), la paja cotiza en la lonja de Vic a 87

euros/tonelada. Sin embargo, otros años la sobreabundancia de cosecha baja tanto el precio que hace que no sea rentable ni la propia recogida y se queda en el campo. De acuerdo con fuentes del sector [42], un precio medio estimado interanual es 50 euros/tonelada.

$$C_{herb} = P_{paja}$$

4.3.2. Transporte

El transporte se realiza en camiones de 5 ejes de 25 toneladas de carga. Según el observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera de abril de 2020, el coste en carga se estima en 1,21 €/km, incluyendo amortización, mantenimiento, seguros, combustible y conductor [40].

$$C_{trans,herb} = \frac{C_{km}}{Dens_{paja} \times V_{camion}} \times F_{carga} \times Distancia$$

$$C_{trans,ma} = \frac{C_{km}}{Dens_{ma} \times V_{camion}} \times F_{carga} \times Distancia$$

4.3.3. Procesado

El proceso de peletizado convierte la materia prima en pélets, para su posterior venta. Los costes económicos se clasifican en costes de capital y costes de operación.

Los **costes de capital** los conforman la inversión en maquinaria y en instalaciones.

$$C_c = C_{maq} + C_{inst}$$

- **Costes de maquinaria:** los valores de referencia para la inversión en maquinaria figuran en la tabla 3. Los costes se han ajustado a la inflación para el año 2020. Se consideran unos costes generales relacionados con maquinaria auxiliar (cintas transportadoras, tolvas, ventilación, instalación eléctrica). Para calcular la amortización anual de la inversión, se aplica la fórmula

$$C_{maq} = e \times Inv_{maq,x}$$

siendo e el factor de recuperación de capital, igual a la fórmula

$$e = \frac{i \times (1 + i)^{N_x}}{(1 + i)^{N_x} - 1}$$

donde i es el interés (7% anual) y N_x el número de años de amortización de la máquina x (tabla 3). Se estima una pala cargadora por planta en la estrategia A, tres en la estrategia B y dos en la estrategia C.

	23.652 ton	47.304 ton		
Máquina	Coste (€)		Mantenimiento (% anual)	Amortización (años)
Cargadero (pala cargadora)	100.000	100.000	2%	10
Descortezado y astillado	90.000	170.000	18%	10
Molienda en verde	90.000	170.000	18%	10
Secado	502.000	770.000	3%	15
Secado (quemador)	90.000	141.400	2%	10
Molienda en seco	90.000	170.000	18%	10
Pelletizado	200.000	400.000	10%	10
Enfriado y ensacado	20.000	28.000	2%	15
Costes generales	195.000	250.000	2%	10

Tabla 1: inversión de maquinaria de referencia, [7]

- **Costes de instalaciones:** la superficie necesaria para las plantas se ha calculado a partir de la superficie de plantas existentes (imágenes por satélite), obteniendo una ratio $Coef_{nave} = 0,2 \text{ m}^2/\text{ton}$ para el recinto construido y de $Coef_{suelo} = 0,7 \text{ m}^2/\text{ton}$ para la superficie total. Como no es posible establecer los municipios concretos donde se instalarán cada planta i , se ha asumido un coste medio de 30 €/m^2 (P_{suelo}) de suelo industrial para todo Aragón y un coste de construcción de la nave de 250 €/m^2 (P_{nave}). Las instalaciones se amortizan en $N=25$ años.

$$Inv_{inst} = (P_{suelo} \times Coef_{suelo} + P_{nave} \times Coef_{nav}) \times T_i$$

$$C_{inst} = e \times Inv_{inst}$$

Los **costes de operación** son los costes de mantenimiento, de energía, personal e impuestos.

$$C_{op} = C_{mant} + C_{energ} + C_{personal} + C_{impuestos}$$

- **Costes de mantenimiento:** los costes de mantenimiento de maquinaria e instalaciones se calculan como un porcentaje del coste de capital (tabla 3). El mantenimiento de las instalaciones se estima como un 2% anual [7].

$$C_{mant,maq} = \sum_x C_{maq,x} \times Mant_x$$

$$C_{mant,inst} = C_{inst} \times Mant_{inst}$$

- **Costes de energía:** el consumo energético de la planta se reparte entre el consumo de diésel de las palas cargadoras y el consumo eléctrico de los procesos. El coste del diésel depende del número n de palas cargadoras en planta, su consumo de diésel [7] y el precio del diésel [40]. El coste eléctrico es igual al consumo eléctrico de cada máquina x (tabla 4), multiplicado por un factor de

utilización de 0,85 [7] y por el precio de la electricidad. El precio de la electricidad depende del tamaño de planta i (tabla 5). Más adelante se realiza un análisis de sensibilidad del coste de la energía. Como la energía calorífica del proceso de secado proviene de astillas de madera agrícola obtenidas en la propia planta (se extraen tras el proceso de astillado), el coste del combustible queda internalizado en los costes de compra, transporte y astillado de la materia prima.

$$C_{energ} = n \times \frac{Cons_{diesel,pala}}{T_i} \times P_{diesel} + F_u \times \sum_x W_{maq,x} \times P_{elect,i}$$

ENERGÍA	
Consumo combustible	litros diesel/h
Pala cargadora (23.652 ton)	15
Pala cargadora (47.304 ton)	20,00
Consumo eléctrico	kWh/ton pellet
Descortezado y astillado	48,0
Molienda en verde	36,7
Secado (electricidad)	39,7
Molienda en seco	36,7
Pelletizado	73,7
Enfriado y ensacado	42,5
Consumos generales	16,3

Tabla 4: consumos de energía [7], [64]

Banda	Precio (€/kWh)
Banda IC (500 a 2000 MWh)	0,1302
Banda ID (2000 a 20000 MWh)	0,1017
Banda IE (20000 a 70000 MWh)	0,0853
Banda IG (mayor a 150 MWh)	0,0608

Tabla 5: precios de la electricidad industrial 1er semestre, 2020 [59]

- **Costes de personal:** los costes salariales de personal se extraen del convenio colectivo de industrias de la madera de Zaragoza. Se clasifican los trabajadores en tres escalas: operarios, administrativos y directivos. El sueldo de los operarios es de 18.830,57 € (Grupo V, oficial de primera), los administrativos 26.920,79 € (Grupo I, titulados universitarios) y los directivos, 35.000 € [43].

	Caso A	Caso B	Caso C	Coste laboral
Operarios	11	30	23	18.831 €
Administración	2	7	5	26.921 €
Dirección técnica	1	3	2	35.000 €
Total	14	40	30	
Toneladas	47.304	140.000	210.000	

Tabla 6: valores de referencia de personal y costes salariales

- **Impuestos:** los principales impuestos que gravan una empresa son el impuesto de sociedades, las cotizaciones a la Seguridad Social, el impuesto de bienes

inmuebles y el impuesto de actividades económicas. De estos, el impuesto de sociedades se extrae de los beneficios y no figura como coste de operación y las cotizaciones a la S.S. entran en los salarios del personal. La empresa es responsable de otros impuestos y tasas como el impuesto de vehículos de tracción mecánica (IVTM) o tasas de vertidos. Sin embargo, la pequeña cuantía de estos los hace irrelevantes para el cálculo global y su variabilidad entre municipios, muy difícil de calcular. Los impuestos que repercuten de manera directa y relevante en la actividad son el impuesto de bienes inmuebles (IBI) y el impuesto de actividades económicas (IAE). El cálculo de estos impuestos se ha desarrollado en el anexo B.

4.4. Economía de escala

El aprovechamiento de la biomasa, como cualquier otro sector económico, no es ajeno al fenómeno de la economía de escala. Al aumentar el tamaño de la planta, se abarata el coste específico de producción.

La economía de escala afecta en gran medida a los costes de maquinaria. Es importante destacar, sin embargo, que la mayor unidad de peletizado del mercado es de 50.000 toneladas anuales [44]; cualquier planta de mayor tamaño consistirá en varias unidades en paralelo. Por ello, la economía de escala a partir de ciertos valores es limitada y se basa más en ahorros en la instalación, mantenimiento y descuentos por compras en gran cantidad. Para el cálculo de la economía de escala, se ha utilizado la fórmula

$$C_{eq1} = C_{eq2} \times \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^g$$

siendo T_2 y C_{eq2} la capacidad en toneladas y el coste de la referencia, T_1 y C_{eq1} la capacidad y el coste de la planta objetivo y g el factor de escala, igual a 0,85 [8].

Otro factor económico muy influido por la escala son los costes de personal. Al ser las plantas de peletizado altamente automatizadas, el personal en las plantas grandes se mantiene al mínimo necesario. Algunos estudios estiman el factor de escala del personal en 0,25 [45]. Sin embargo, se ha preferido una aproximación directa respecto a información conocida de distintas plantas.

El coste de las instalaciones se considera lineal y no sufre efecto de economía de escala.

Los consumos eléctricos se considera que varían linealmente y no existen mejoras apreciables de la eficiencia con la escala. Sin embargo, el coste energético relacionado con las palas cargadoras sí varía fuertemente con el tamaño. Las plantas de la estrategia A tienen una pala cargadora, las de la estrategia B, tres, y las de la estrategia C tienen dos; una relación que favorece a las plantas de mayor tamaño.

4.5. Análisis de sensibilidad

Se ha realizado un análisis de sensibilidad respecto al precio de la energía, al ser este variable y dependiente de la coyuntura económica.

Se ha estudiado qué ocurriría si el precio del diésel sube hasta el máximo de los últimos diez años (1,445 €/l, septiembre 2012) o baja al mínimo (0,831 €/l, marzo 2009). Esto impactaría directamente en el coste de operación de las palas cargadoras y del transporte de la materia prima. Indirectamente afectaría a los demás factores a lo largo de todo el ciclo de vida, pero no forma parte de este estudio calcular esas variaciones.

Así mismo, se ha calculado que ocurriría en el coste de la electricidad si, en cada una de las estrategias, todas las plantas fueran del mismo propietario y pudieran contratar la banda IG (consumo mayor a 150 MWh).

4.6. Resultados

El análisis económico revela un coste total de producción de 123,975 millones de euros para la estrategia A, 124,66 millones para la estrategia B y de 120,85 millones para la estrategia C (tabla 7). A priori, no existe gran diferencia entre las distintas estrategias. Sin embargo, desagregando los costes por actividad, vemos ciertos patrones.

Costes de producción										
Estrategia	Ud.	ABASTECIMIENTO	TRANSPORTE	COSTES DE CAPITAL		COSTES DE OPERACIÓN				
				Maquinaria	Instalaciones	Mant. Maq.	Mant. Inst.	Coste energía	Personal	Impuestos
A	€	65.362.851	7.297.831	8.389.666	6.874.172	533.697	137.483	28.530.876	8.985.276	536.492
	€/ton	59,2	6,6	7,6	6,2	0,5	0,1	25,8	8,1	0,5
B	€	65.362.851	20.314.371	6.180.126	6.874.172	416.973	137.483	22.503.236	4.555.441	536.492
	€/ton	59,2	18,4	5,6	6,2	0,4	0,1	20,4	4,1	0,5
C	€	65.362.851	15.174.723	6.567.665	6.874.172	443.120	137.483	22.616.182	5.214.640	536.492
	€/ton	59,2	13,7	5,9	6,2	0,4	0,1	20,5	4,7	0,5
										123.975.047
										112,3
										124.665.303
										112,9
										120.852.603
										109,4

Tabla 7: costes de producción desagregados por estrategia y actividad

Los **costes de abastecimiento** son iguales para las tres estrategias. Son, con diferencia, la mayor partida de gasto, alrededor del 50% del total. El gasto unitario de esta partida es de 56,8 euros/tonelada.

Los **costes de transporte** son uno de los gastos que más dependen de la escala de la planta. Se ve una clara diseconomía de escala al aumentar el área de acopio de las plantas. En

la estrategia A, el transporte tiene un coste de 6,6 €/tonelada y supone un 6% del gasto total (figura 13). En la estrategia B, el transporte cuesta 18,4 euros/tonelada y supone un 16% del total (figura 13). La estrategia C, de tamaño intermedio, tiene un coste de transporte de 13,2 €/ton, suponiendo un 13% del total.

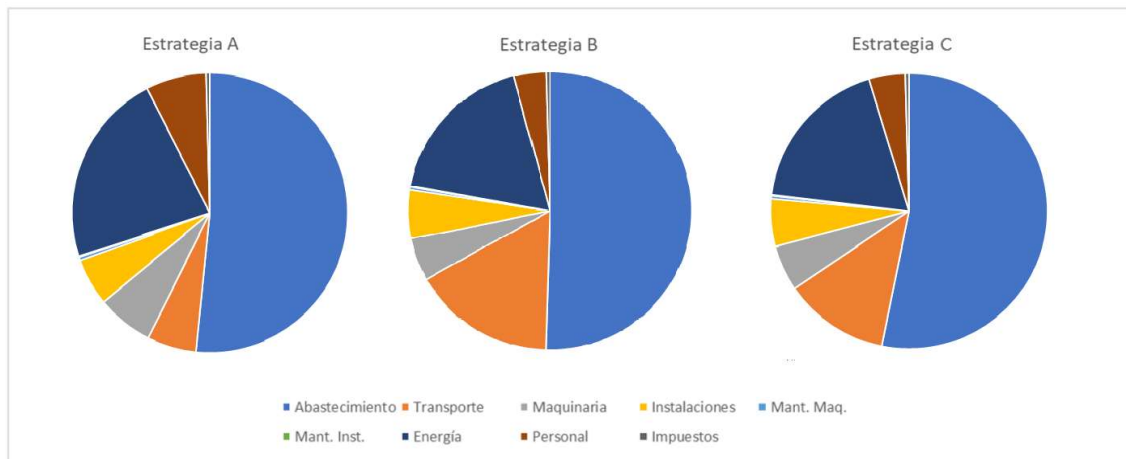


Figura 13: costes de producción desglosados por actividad

Los **costes de capital** benefician ligeramente a las plantas grandes (11,7 €/ton en B frente a 13,8 €/ton en la A). Suponen alrededor de un 14% del total.

Los **costes de mantenimiento** son muy pequeños, no superando los 0,6 €/ton.

Los **costes de energía** son la segunda partida más importante tras la materia prima, entre un 20 y un 25% del coste total. Las plantas más pequeñas (estrategia A) se ven penalizadas por un precio más alto de la electricidad y un uso más ineficiente de la maquinaria (palas cargadoras).

El **coste de personal** varía fuertemente con la escala. La estrategia A desembolsa 8,98 millones de euros (8,1 €/ton), la estrategia B 4,55 (4,1 €/ton) y la C, 5,2 (4,7 €/ton).

Los **impuestos** son parecidos en los tres casos, alrededor de 0,6 €/ton.

El **análisis de sensibilidad** revela que el precio del pélet no es muy sensible al precio de los combustibles fósiles (figura 14). También indica que sería muy ventajoso para los productores negociar contratos conjuntos de electricidad, al mejorar sensiblemente el precio del pélet (figura 15). La más beneficiada sería la estrategia A.

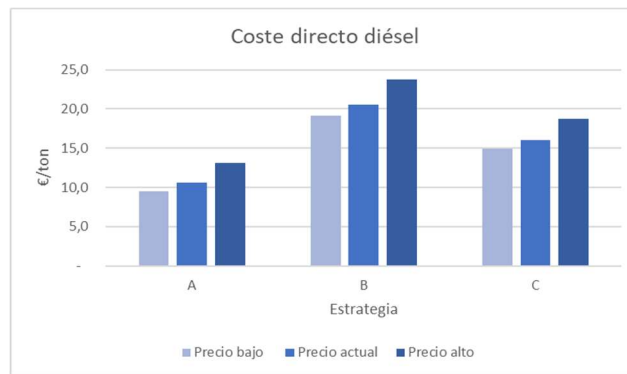


Figura 14: análisis de sensibilidad del coste de producción en función del precio del diésel

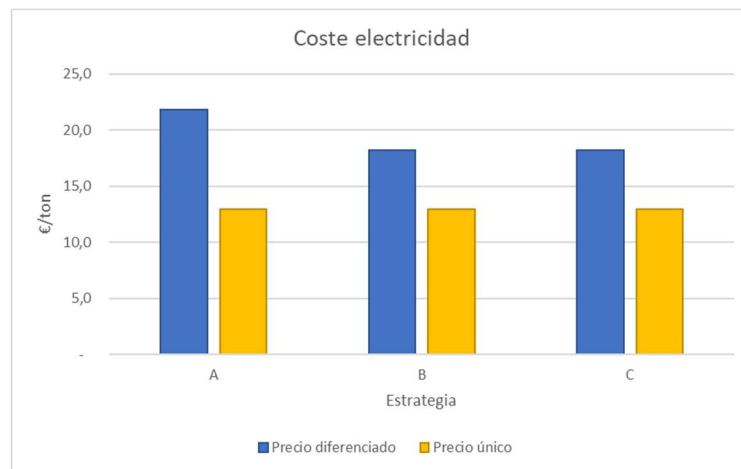


Figura 15: análisis del coste de la electricidad en función del tipo de contrato

Es importante destacar que existen dentro de la estrategia A grandes diferencias de coste entre las plantas. La más pequeña (Tarazona, 7.300 ton), tiene un coste de producción de 153 €/ton. Por contra, la más grande (Cinco Villas, 85.000 ton) presenta un coste de producción de 107 €/ton.

Los resultados, en la horquilla de los 100-150 €/ton están en consonancia con los hallados en la literatura. Así mismo, la estructura de costes con el abastecimiento y la energía como principales factores también entra dentro de los valores bibliográficos [8], [11].

5. Análisis medioambiental

5.1. Biomasa y medio ambiente

Es común la idea de que la biomasa es un combustible renovable y neutro en carbono. Ambas afirmaciones son discutibles. Por un lado, la biomasa es una fuente de energía renovable siempre y cuando la explotación sea diseñada con criterios sostenibles y teniendo en cuenta la velocidad de crecimiento del recurso. Por otro lado, la visión de la biomasa como neutra en carbono es reduccionista. Si bien la combustión no aporta más carbono a la atmósfera que el capturado previamente, es necesario realizar un análisis de ciclo de vida de la biomasa para examinar todas las emisiones que ocurren a lo largo de su aprovechamiento.

Las emisiones de gases de efecto invernadero son solo uno de varios efectos colaterales relacionados con la explotación de la biomasa. La mayor parte de las consecuencias negativas pueden ser mitigadas o eliminadas siguiendo criterios de sostenibilidad y aplicando buenas prácticas forestales, agrícolas e industriales. Procedemos a dividir los diferentes impactos en tres categorías.

El primer grupo es el derivado de la explotación de biomasa forestal. La principal y más publicitada consecuencia negativa es la deforestación que genera esta industria. Esta deforestación lleva a una mayor erosión del terreno, riesgo de desertificación, menor permeabilidad del terreno (lo cual favorece las inundaciones) y pérdida de biodiversidad. Estas consecuencias negativas son fácilmente evitables con una buena planificación forestal que respete los ciclos regenerativos de la vegetación. De hecho, en nuestros bosques altamente antropizados, la limpieza periódica de los bosques es beneficiosa y necesaria para un correcto funcionamiento [46]. En este trabajo se asume que los residuos forestales son producto de limpieza de montes, por lo que no existe peligro de deforestación.

El segundo grupo es el derivado de la explotación de cultivos energéticos. Estos son cultivos cuya finalidad principal es la posterior conversión en biocombustibles. Pueden ser leñosas como sauces o chopos o herbáceas como el miscanthus, el sorgo, el maíz o la caña de azúcar. Estos cultivos requieren una ingente cantidad de agua [47]. Además, al no ser plantas destinadas al consumo humano, se aplican potentes fertilizantes y pesticidas, que repercuten en el suelo y las aguas subterráneas. Así mismo, la competencia por el uso del suelo repercute en el precio de los alimentos (el denominado por la FAO como *food-energy nexus*), u obliga a

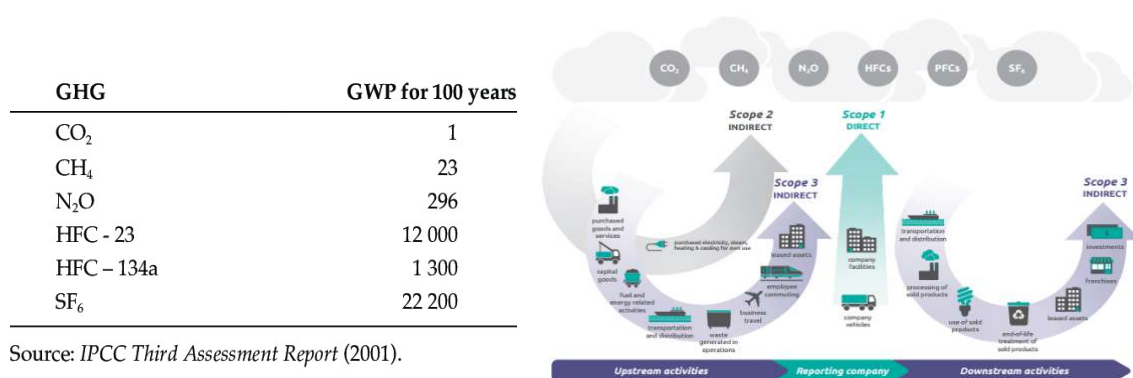
roturar zonas vírgenes para ponerlas en cultivo. Al tratar este trabajo únicamente con subproductos de cultivos agrícolas, no es necesario tomar ninguna medida preventiva.

Por último, el tercer grupo de consecuencias son aquellas directamente derivadas de la combustión de la biomasa. La combustión de la biomasa genera gran cantidad de material particulado (Pm10) y especies tóxicas tales como monóxido de carbono, hidrocarburos, compuestos oxigenados y cloro. Una prolongada exposición a estos compuestos puede provocar infecciones respiratorias, malformaciones fetales y enfermedades cardiovasculares. Un tercio de la población mundial (mayoritariamente en el Sur global) sigue utilizando madera u otras formas de bioenergía tradicional para iluminarse, cocinar y calentarse. Esto afecta en gran medida a mujeres y niños [48]. Incluso en los países industrializados, estas emisiones generan problemas de contaminación que se agravan en entornos urbanos con alta concentración de emisiones [49]. La mejor solución es la modernización del parque de calderas domésticas y el uso de calderas de biomasa centralizadas que, gracias a economías de escala, usan tecnologías más eficientes de captura de partículas y limpieza de gases.

5.2. Metodología del cálculo (Protocolo GHG)

El cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se ha realizado mediante un análisis de ciclo de vida (LCA) parcial, usando un enfoque de la cuna a la puerta (*cradle to gate*) y teniendo en cuenta sólo aquellas actividades que forman parte del ciclo de producción del pélet; no contabilizando aquellas emisiones que formen parte de otros ciclos de vida (agrícolas), evitando así una doble contabilidad. Esto significa que se calcula las emisiones en la cadena de valor desde la recogida de la materia prima en el campo, su transporte a la planta y todos los procesos de transformación y preparación del pélet hasta que está listo para su comercialización. No tiene en cuenta las emisiones derivadas de la distribución del producto, ni su utilización final (aunque, como ya se ha explicado antes, las emisiones en la combustión son netamente cero). Para realizar este estudio se ha aplicado el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (*GHG Protocol*). Esta es la herramienta internacional más utilizada para el cálculo y comunicación del Inventario de emisiones. Las emisiones de GEI se cuantifican en kilogramos de CO_2 equivalente. Esta unidad mide los kilogramos de GEI emitidos en función de su potencial de cambio climático (*GWP*), respecto al potencial de cambio climático del dióxido de carbono. Los coeficientes de *GWP* para cada gas figuran en la tabla 8.

El *GHG Protocol* (desarrollado entre el *World Resources Institute* (WRI) y el *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD)) es una serie de directrices que facilitan el cálculo del impacto climático de una actividad, tanto de forma directa como derivada de otras actividades. Este protocolo considera tres tipos de emisiones. El alcance 1 engloba todas las emisiones directas de GEI. Estos ocurren de fuentes controladas por la empresa, cómo calderas, hornos, vehículos propios o procesos químicos. El alcance 2, emisiones de GEI indirectas asociadas a la electricidad contabiliza las emisiones producidas por la generación de electricidad necesaria para el desarrollo de la actividad. El alcance 3, otras emisiones indirectas, es una categoría opcional que permite contabilizar emisiones que son consecuencia de la actividad, pero que ocurren en fuentes asociadas pero independientes de la misma. Esto incluye la construcción de las instalaciones, las emisiones asociadas a la transformación de combustibles adquiridos, las emisiones de productos adquiridos o vendidos. Estas emisiones pueden ser “aguas arriba” (si proceden de actividades o productos consumidos) o “aguas abajo” (derivadas de la distribución, comercialización o degradación de productos vendidos).



Source: IPCC Third Assessment Report (2001).

Tabla 8: potencial de cambio climático (GWP)

Figura 16: alcances del Protocolo GHG

5.3. Cálculo de emisiones

El cálculo de toneladas de CO₂ equivalente se subdivide en las fases de abastecimiento, transporte y procesado.

5.3.1. Abastecimiento

Las emisiones producidas en el abastecimiento de la materia prima dependen del tipo de recurso.

En el caso de los **restos de poda forestal**, estas emisiones incluyen el transporte de las cuadrillas y el uso de motosierras, maquinaria y tractores forestales, además del desembosque de la madera hasta el área de cargadero. Se ha obtenido de la revisión bibliográfica un

coeficiente de emisiones de 12,76 kg CO_2 eq/tonelada de madera (30% corta selectiva, mezcla de madera) [9].

$$E_{for} = E$$

En el caso de los **restos de poda agrícola**, no existe ningún estudio de rendimientos de recogida de poda. Como la poda es un proceso más dentro de las tareas agrícolas, y se realiza independientemente de la producción de pélets, no se consideran sus emisiones para este estudio. Las emisiones a tener en cuenta son las del proceso de recolección, acopio y carga en los camiones. Siguiendo la misma metodología que en el análisis económico, un tractor recogiendo 1,83 ton leña/hora (y consumiendo 1,02 litros diésel/hora) emite 4,28 kg CO_2 eq/ton madera (aplicando un coeficiente de emisiones de 2,61 kg CO_2 /litro diésel [50]). Hay que tener en cuenta que la opción alternativa de trituración en el campo y aportación al suelo también incluiría emisiones de gases de efecto invernadero, las cuales ahorramos en este paso.

$$E_{agri} = \frac{Cons_{tractor} \times Emis_{diesel}}{Recog_{agri}}$$

En la recolección de **residuos herbáceos** (paja y cañote), la literatura al respecto es muy escasa. Las emisiones previas a la recolección de las balas de paja no se tienen en cuenta (labranza, fertilizantes, cosecha, empaçado) ya que se consideran parte de las labores agrícolas. Por tanto, las únicas emisiones a tener en cuenta en este apartado serían las de recolección de pacas de paja diseminadas por el campo y su carga en los camiones. Para ello se utilizará un tractor agrícola con mecanismo elevador, que carga una media de 15 pacas de 200 kg a la hora. Aplicando los mismos consumos de combustible y coeficientes de emisiones, las emisiones de recogida de recurso herbáceo son de 2,6 kg CO_2 eq/ton.

$$Recog_{herb} = Peso_{paca} \times V_{recog,paca}$$

$$E_{her} = \frac{Cons_{tractor} \times Emis_{diesel}}{Recog_{herb}}$$

5.3.2. Transporte

El transporte engloba el traslado de la materia prima desde los puntos de recolección a la planta de peletizado. Los camiones son articulados de carga general, de 25 toneladas de carga máxima y con un volumen estimado de contenedor de 45 pies (84 metros cúbicos). El camión consume 0,35 l diésel/km [40] y las emisiones del diésel son de 2,61 kg CO_2 eq/l. Las emisiones son de 0,23 kg CO_2 /ton*km para los residuos herbáceos, y de 0,11 kg CO_2 eq/ton*km para la madera (agrícola y forestal).

$$E_{trans,herb} = \frac{Cons_{camion} \times Emis_{diesel}}{Dens_{paja} \times V_{camion}} \times F_{carga}$$

$$E_{trans,mad} = \frac{Cons_{camion} \times Emis_{diesel}}{Dens_{mad} \times V_{camion}} \times F_{carga}$$

5.3.3. Procesado

Durante el procesado, se consume gran cantidad de energía, que es lo que permite la valorización del pélet. Las emisiones de GEI en la planta de peletizado proceden de las emisiones directas de vehículos (alcance 1), energía de secado (alcance 1) y consumo de energía eléctrica (alcance 2).

Las palas cargadoras que trabajan en el área de acopio consumen 20 l diésel/hora trabajando a plena potencia y 15 l/h a potencia parcial [7]. Teniendo en cuenta las 7784 horas anuales de trabajo de la planta y el coeficiente de emisiones del diésel de 2,61 kg CO_2 eq/litro, las emisiones son de 304,74 ton CO_2 eq anuales para una pala a trabajo parcial y de 406,33 ton CO_2 eq anuales para una pala a plena carga.

$$E_{palas} = n \times Cons_{diesel,pala} \times Emis_{diesel}$$

De acuerdo con el informe de REE [51], el factor de emisiones de generación en la red eléctrica peninsular es de 0,19 kg CO_2 eq/kWh. Aplicando un factor de pérdidas en transmisión, transformación y distribución del 10% [52], las emisiones correspondientes al consumo de electricidad serían de 0,211 kg CO_2 eq/kWh.

$$E_{elect} = F_u \times \sum_x W_{maq,x} \times \frac{Emis_{REE,gen}}{F_t}$$

El secado consume gran cantidad de energía, que se aporta con astillas obtenidas de los restos de poda agrícola (de peor calidad para la fabricación del pélet) o corteza, en la medida de lo posible. Al ser la combustión de astilla neutra en carbono, no se realizan aportaciones netas de GEI durante el secado. En el caso de que el secado fuera mediante gas natural sería necesario computar dichas emisiones.

5.4. Resultados

Las emisiones de gases de efecto invernadero se sitúan alrededor de las 85.000 toneladas de CO_2 equivalente, unos 75 kg CO_2 eq/ton pélet en las tres estrategias. Aplicando un poder calorífico de 16,9 MJ/kg pélet [7], resulta en unas emisiones de 57 g CO_2 eq/MJ pélet. Las emisiones de cada estrategia figuran en la tabla 9.

Las emisiones en el **abastecimiento** son iguales en las tres estrategias y alrededor de 14.800 toneladas de CO_2 equivalente. Se distingue una clara variación entre comarcas dependiendo del recurso predominante en las mismas. Las comarcas forestales tienen unas emisiones más altas (Gúdar-Javalambre 21 kg CO_2 eq/ton pélet). Por el contrario, las comarcas con menos emisiones son comarcas agrícolas (Ribera Alta del Ebro y Cinca Medio) con 3,4 y 3,9 kg CO_2 eq/tonelada de pélet.

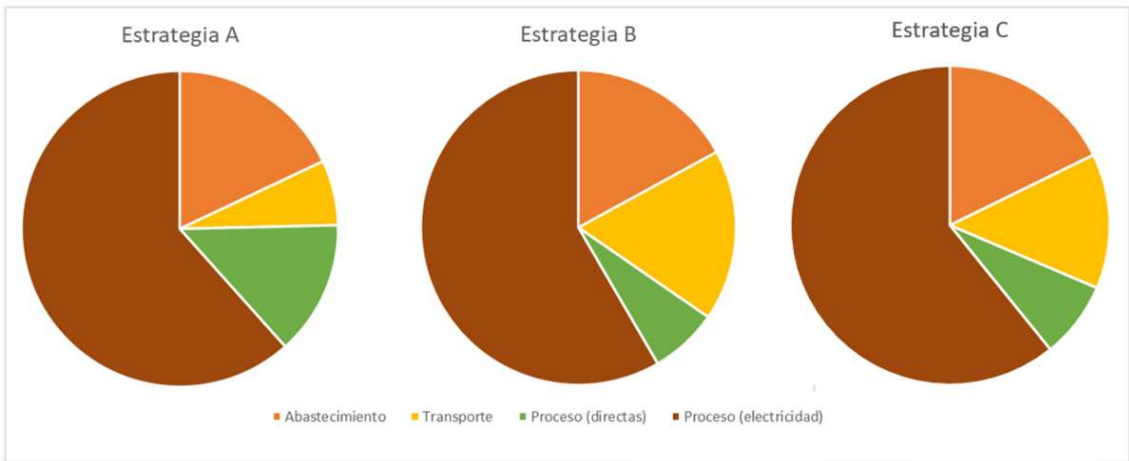


Figura 17: emisiones desglosadas por actividad (estrategias A, B y C)

Las emisiones en **transporte** aumentan con la escala de la planta, al aumentar el área de acopio y las distancias. La estrategia A emite 5 kg CO_2 eq/ton pélet frente a las 14 de la B.

En el **procesado**, las plantas pequeñas se ven penalizadas por un uso más ineficiente de la maquinaria (palas cargadoras). La estrategia A emite 11.380 toneladas de CO_2 en este concepto frente a las 6.100 toneladas de B. Las emisiones indirectas debido al consumo eléctrico son la principal fuente de emisiones, igual en todas las estrategias, contribuyendo con 46 kg CO_2 eq/ton pélet (figura 17).

Es necesario destacar que, dentro de la estrategia A, existe gran variación comarcal. Tarazona emite 98 kg CO_2 eq/ton frente a los 67 kg CO_2 eq/ton de las Cinco Villas.

Emisiones de GEI						
Estrategia	Unidad	ABASTECIMIENTO	TRANSPORTE	PROCESO		TOTAL
				Directas	Electricidad	
A	kg CO_2 eq	14.844.071	5.509.561	11.377.094	50.897.828	82.628.555
	kg CO_2 eq/ton	13	5	10	46	75
B	kg CO_2 eq	14.844.071	15.336.510	6.094.872	50.897.828	87.173.282
	kg CO_2 eq/ton	13	14	6	46	79
C	kg CO_2 eq	14.844.071	11.456.289	6.501.197	50.897.828	83.699.385
	kg CO_2 eq/ton	13	10	6	46	76

Tabla 9: emisiones de kg CO_2 equivalente

La bibliografía muestra una gran variación de resultados, desde -18 a 488 g CO_2 /MJ pélets [11]. Un resultado de alrededor de 75 kg CO_2 eq/ton pélet (57 g CO_2 eq/MJ), concuerda con la mayoría de estudios, situados entre 25 y 50 g CO_2 eq/MJ [12], y 83 kg CO_2 eq/ton pélet [11].

Cada tonelada de pélet consumida para calefacción ahorra la emisión de 958 kg CO_2 equivalente respecto a una caldera de gas natural y 1.400 kg CO_2 equivalente respecto a una caldera de gasoil.

Comparación de emisiones de combustibles		
Combustible	kg CO2 eq/kWh	Eficiencia
Pellet	0,021	80%
Astilla	0,033	80%
Gasolina	0,316	80%
Gasoil	0,329	80%
Gas natural	0,229	90%
Carbón	0,494	70%
Radiador eléctrico	0,211	100%
Bomba de calor	0,084	250%

Tabla 10: comparación de emisiones de kg CO_2 eq respecto a los kWh térmicos aportados por diferentes combustibles.

6. Análisis social

6.1. Introducción

El impacto social es el más reciente (y menos estudiado) de los pilares de la sostenibilidad. Es difícil de cuantificar debido a la falta de consenso en su definición. Busca reflejar el impacto de las actividades en preservar la vitalidad de las comunidades y promover una mayor calidad de vida en los habitantes. Existen muchas métricas para contabilizarlo, dependiendo de cuál sea el enfoque del estudio: promover el desarrollo en países del tercer mundo, reducir los accidentes laborales en una determinada industria, mejorar la educación, la situación de colectivos vulnerables o reducir la tasa de paro. Debido a las condiciones particulares de Aragón como región y la biomasa como actividad económica, creemos apropiado realizar un análisis social que cuantifique los empleos generados por esta actividad, haciendo hincapié en los empleos generados en zonas en riesgo de despoblación.

La demografía de Aragón está, como la de muchas regiones españolas, marcada por la despoblación. Fuera del corredor del Ebro, la mayor parte de los municipios se definen como desiertos demográficos (según la UE, una densidad de población menor a $12,5 \text{ hab/km}^2$).

6.2. Generación de empleos

En este análisis social, se usará el empleo estable generado como unidad de medida del impacto de la actividad en las comunidades locales. Dichos empleos repercuten en otros medidores socioeconómicos (renta media, cohesión social, nivel de educación). El empleo generado se clasifica en directo, indirecto e inducido. Para normalizar los datos de empleo tanto en fijos como eventuales, calcularemos el empleo en horas generadas. Posteriormente, dividiremos las horas generadas entre una jornada completa de 1770 horas y se expresará el resultado en empleos equivalentes a tiempo completo.

6.2.1. Empleos directos

Los empleos directos son aquellos generados en la actividad de la planta de peletizado. Para ello, hemos tomado como referencia los empleos calculados por Uasuf y Becker para el caso A [7], los de la futura planta de Andorra para el caso B [42] y los de la planta de Erla para el caso C [53]. De acuerdo con el Convenio del sector de la madera de la provincia de Zaragoza, la jornada de trabajo h_{planta} es de 1752 horas anuales.

Siendo $n_{dir,i}$, el número de empleados en cada planta i , el número de horas directas en cada estrategia se calcula según la ecuación

$$H_{dir} = \sum_i n_{dir,i} \times h_{planta}$$

6.2.2. Empleos indirectos

Para el cálculo de empleos indirectos, se suman aquellos empleos generados en actividades “aguas arriba” del peletizado: abastecimiento (cuadrillas forestales, recogida de poda agrícola y palas de paja) y transporte de materia prima a la planta. No se tiene en cuenta empleos que se generen fuera de la región en actividades de distribución del producto (“aguas abajo”). Los empleos en **abastecimiento** se calculan de la siguiente manera.

$$H_{indir} = (H_{for} + H_{agri} + H_{herb}) + H_{trans}$$

- **Recurso forestal:** de acuerdo con Eurostat, se extraían en 2017 en España $0,8 \times 10^3 m^3$ de madera por cada empleo generado [54]. Teniendo en cuenta una densidad orientativa de coníferas de $440 kg/m^3$, de frondosas $1.000 kg/m^3$, y una proporción frondosas/total del 37%, estimamos una densidad promedio forestal de $647 kg/m^3$. Según el Convenio estatal de actividades forestales, un empleo a jornada completa son 1770 horas. Se requieren, por tanto, 3,4 horas de trabajo por cada tonelada extraída.

$$H_{for} = \frac{1}{Volumen_{empleo} \times Dens_{mad}} \times h_{conv,for}$$

- **Recurso agrícola:** en cálculos previos se había estimado una velocidad de recogida de 1,83 ton/hora, requiriendo esta actividad de 2 peones y un tractorista. Por lo tanto, la relación es de 1,6 horas de empleo generadas por tonelada.

$$H_{agri} = \frac{1}{Recog_{agri}} \times n_{agri}$$

- **Recurso herbáceo:** se estima que un tractorista recoge 15 pacas de 200 kilogramos cada hora. Esto da un coeficiente de 0,3 horas de empleo por tonelada recogida.

$$H_{agri} = \frac{1}{Recog_{herb}} \times n_{herb}$$

En el **transporte**, se calculan las horas de empleo generadas ($\frac{\text{horas}}{\text{km} \times \text{ton}}$) de acuerdo con la siguiente ecuación

$$H_{trans,herb} = \frac{1}{Dens_{paja} \times V_{camion} \times v_m} \times F_{carga}$$

$$H_{trans,mad} = \frac{1}{Dens_{mad} \times V_{camion} \times v_m} \times F_{carga}$$

siendo v_m la velocidad media (66,67 km/h), $Dens$ la densidad de la carga (120 kg/m³ para la paja y 240 kg/m³ para la madera troceada), V_{camion} el volumen del camión (83,77 m³) y F_c el factor de carga, 2,5.

El resultado es 0,0037 $\frac{\text{horas}}{\text{km} \times \text{ton}}$ de empleo generado en el transporte de residuos herbáceos y 0,0019 $\frac{\text{horas}}{\text{km} \times \text{ton}}$ de empleo generado en el transporte de madera.

6.2.3. Empleos inducidos

El empleo inducido es el generado por el consumo de los trabajadores directos e indirectos (y sus familias) en la economía local. Son puestos de trabajo creados fuera del sector económico de la bioenergía y sus ramificaciones (forestal, agricultura). Por ejemplo, hostelería, educación, administración pública, construcción, ocio.

De acuerdo con Chazara, Negny y Montastruc (2017) [55], la fórmula para calcular el empleo inducido generado es

$$H_{inducido} = Trab_{zona} \times I_{cd} \times \frac{(H_d + H_{ind}) \times H_m}{P}$$

donde $Trab_{zona}$ representa el número de afiliados a la Seguridad Social en la zona de estudio, I_{cd} el porcentaje del PIB debido al consumo doméstico (de acuerdo con lo propuesto por el Banco Mundial, diferente al porcentaje de consumo doméstico en el PIB). $H_d + H_{ind}$ es la suma de empleos directos e indirectos en el área de estudio. H_m es el tamaño medio de los hogares (2,45 personas en Aragón) y P la población total de la zona de estudio.

6.3. Otros beneficios sociales

Existen otros beneficios sociales más allá de la creación de empleos, que no se calculan en este análisis porque son difíciles de cuantificar. Por nombrar algunos de ellos, la mejora en el estado de los bosques y el aumento de su interés económico pueden llevar a reforestar más zonas y mejorar el estado ambiental de los montes y su calidad paisajística. Esta calidad puede

atraer turistas y visitantes, impulsando el sector del turismo rural en la zona. La limpieza de los montes reduce el riesgo de plagas e incendios forestales, los cuales provocan graves perturbaciones en las comunidades cercanas (además de cuantiosas pérdidas económicas). Así mismo, son intangibles y quedan fuera del ámbito de este estudio impactos artísticos o culturales relacionados con la autoestima, el sentimiento de comunidad y de identidad.

Un impacto social que sí es cuantificable son los impuestos municipales que las actividades generan. Estos impuestos locales (IBI y cuota municipal del IAE, principalmente) generarían alrededor de 470.000 euros de ingresos para las arcas municipales. Este dinero podría revertir en las comunidades locales para fijar población o mejorar servicios. Como no es posible discernir cuánta población asentará cada ayuntamiento con dichos ingresos, se ha decidido no incluirlo en el cálculo de empleos.

6.4. Zonas con riesgo demográfico

El impacto que generará la creación de un puesto de trabajo no es la misma para todos los municipios. La creación de empleo en una comarca industrial no es tan prioritaria como la creación de empleo en comarcas montañosas y/o sin gran actividad económica. Por ello, se quiere clasificar las comarcas en función de su riesgo demográfico. Para ello, se modela un índice similar al estudio *“Mapa 174. Zonificación de los municipios españoles sujetos a desventajas demográficas graves y permanentes”*.

El artículo 174 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea reza:

La Unión se propondrá, en particular, reducir las diferencias entre los niveles de desarrollo de las diversas regiones y el retraso de las regiones menos favorecidas. Entre las regiones afectadas se prestará especial atención a las zonas rurales, a las zonas afectadas por una transición industrial y a las regiones que padecen desventajas naturales o demográficas graves y permanentes como, por ejemplo, las regiones más septentrionales con una escasa densidad de población y las regiones insulares, transfronterizas y de montaña.

En Mapa 174, los autores buscan *“identificar los territorios que efectivamente sufren desventajas demográficas graves y permanentes”*. Para ello crean un modelo que evalúa del 1 al 4 la situación demográfica de los municipios en función de factores poblacionales y geográficos (para ver cómo se construye el modelo, anexo D). Se ha replicado el modelo que sigue dicho estudio para calificar a los municipios, y se ha calculado la situación demográfica de los municipios y comarcas de Aragón. Posteriormente, se filtran los empleos, cuantificando únicamente aquellos generados en las áreas de situación 3 y 4 (grave y muy grave). De esta

manera, se puede comparar no solo la estrategia que más empleos genera, sino también donde se están generando dichos empleos.

Los empleos generados en el **abastecimiento** son indirectos y no es posible cuantificar con exactitud en qué municipios estarían radicados. Sin embargo, por su naturaleza, las horas de trabajo están claramente vinculadas con el municipio en el que se realizan las actividades y no varían entre las distintas estrategias. Por ello, se realiza el filtrado a nivel municipal, teniendo en cuenta los municipios de nivel 3 y 4.

La ubicación teórica de las plantas se considera, para el estudio de distancias, en el centro geográfico de cada zona. Sin embargo, la distancia no es el único factor a tener en cuenta a la hora de instalar una planta; existen factores administrativos, de infraestructuras o laborales que probablemente aconsejen ubicar la planta en algún otro municipio próximo. Por ello, los **empleos directos en planta** se han filtrado de acuerdo con la situación demográfica de la comarca en la que se ubica el centro, permitiendo de esta manera un cálculo menos adulterado por una posible elección arbitraria de la ubicación. Se filtran los puestos de trabajo en comarcas de nivel 3 y 4.

Los empleos generados en el **transporte** de la materia prima son móviles por naturaleza, y por lo tanto se adscriben a la comarca donde se ubica la planta, siguiendo el mismo criterio que para los empleos de planta.

Los **empleos inducidos** se consideran radicados en la comarca donde se ubique la planta.

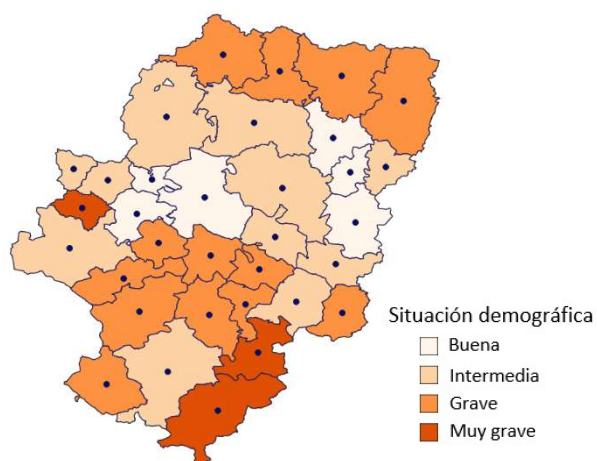


Figura 18: mapa de situación demográfica comarcal. La tabla de resultados figura en el anexo D.

6.5. Resultados

Los resultados del análisis social muestran la creación de entre 2.700 y 2.825 empleos directos e indirectos en Aragón, junto con entre 760 y 830 empleos inducidos. De estos, más de 1.200 empleos directos e indirectos, junto con entre 300 y 500 empleos inducidos se generarían en zonas con riesgo de despoblación (tabla 11).

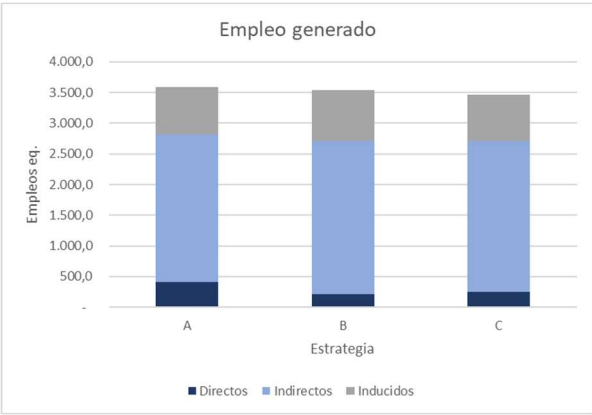


Figura 19: empleos generados en cada estrategia

Los **empleos directos** son los que más variación acusan dependiendo de la escala. Frente a los 416 de la estrategia A, se generan 212 en la estrategia B.

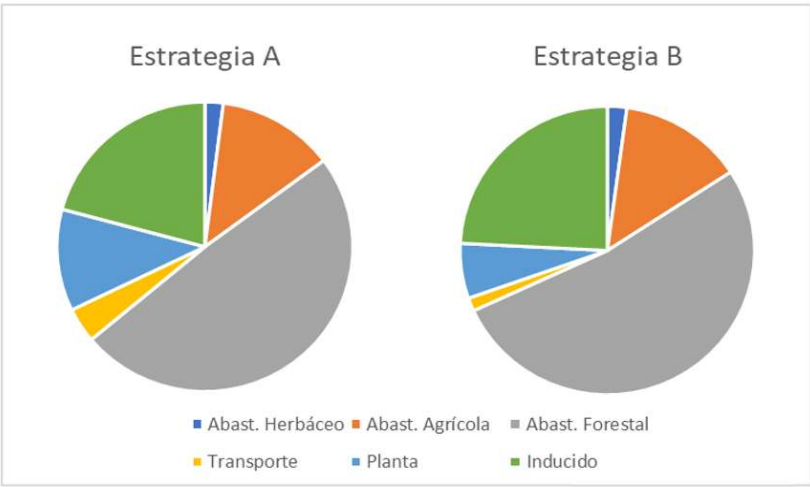


Figura 20: empleos generados desglosados por actividad. Se puede observar que las diferencias entre la estrategia de menor y mayor escala son pequeñas.

Los **empleos indirectos** suponen la gran mayoría de todos los empleos generados. De estos, más del 90% se generan en el abastecimiento, que es constante para todas las escalas. Las plantas grandes generan más empleos en el transporte que las pequeñas, pero esta diferencia es poco significativa. El número de **empleos inducidos** supone alrededor de 800 empleos a jornada completa.

Empleos generados									
Estrategia	Ud.	Total				Zonas con situación demográfica grave o muy grave			
		Directo	Indirecto	Inducido	TOTAL	Directo	Indirecto	Inducido	TOTAL
A	Empleos eq.	416	2.408	761	3.586	190	1.086	370	1.646
B	Empleos eq.	212	2.499	830	3.541	85	1.125	312	1.522
C	Empleos eq.	243	2.463	763	3.469	153	1.133	528	1.815

Tabla 11: empleos equivalentes generados, desagregados por actividad y estrategia

En cuanto a los empleos generados en **zonas con riesgo de despoblación**, suponen algo menos de la mitad en los tres casos. Las plantas comarcales en A generan más del doble de empleos en zonas con despoblación que B. Sin embargo, como el grueso de los empleos se generan en el abastecimiento y estos empleos no dependen de la ubicación o tamaño de las plantas, la diferencia no afecta a la suma global.

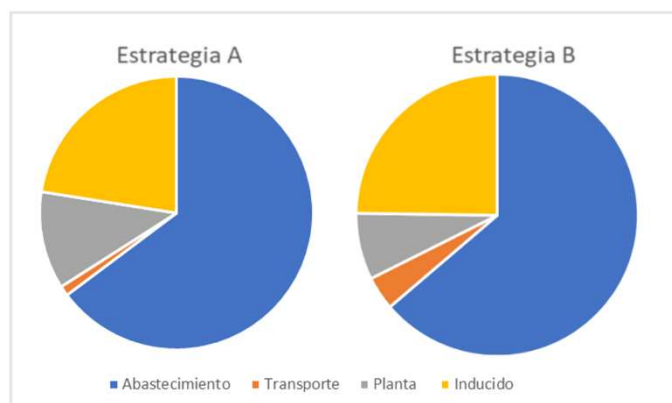


Figura 21: empleos generados en zonas en situación demográfica grave o muy grave. Las diferencias entre la estrategia de menor y mayor escala son pequeñas.

Las zonas proporcionalmente más beneficiadas por la generación de empleo son las comarcas forestales de Teruel (Gúdar, Albarracín, Matarraña) y algunas comarcas agrícolas (La Litera). En valores absolutos, las comarcas con mayor número de empleos generados son Gúdar, Calatayud, Cinco Villas, La Ribagorza y Albarracín. Si bien el número total de empleos para Aragón no es excesivamente alto (representa un 0,6% de la población ocupada de la comunidad), en algunas comarcas su efecto es muy significativo (16% de la población ocupada actual en Albarracín y 12% en Gúdar).

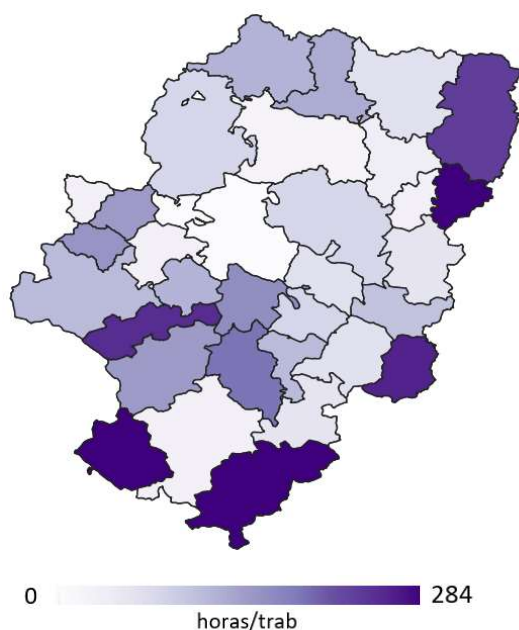


Figura 22: mapa de horas de empleo generadas respecto a los afiliados a la SS en cada comarca

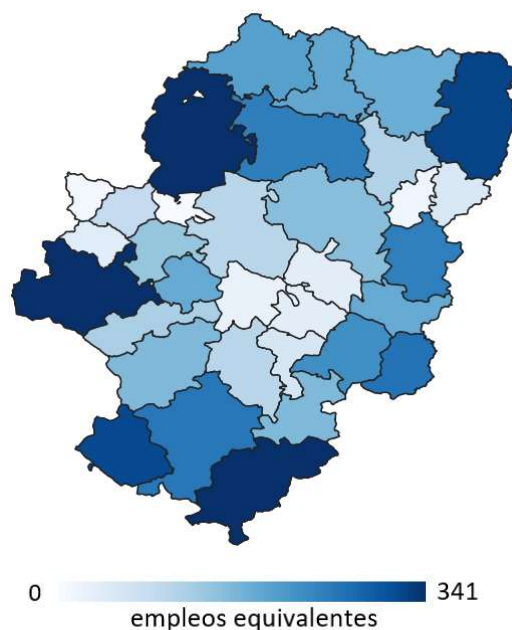


Figura 23: mapa de generación de empleo absoluto por comarcas

El empleo está muy repartido territorialmente, con alrededor de un 40% de la generación en zonas de situación grave o muy grave y menos de un 20% del total de empleos en zonas con situación buena (figura 24). Es interesante comparar este reparto con el reparto de la población aragonesa. Como podemos comprobar, casi la mitad del empleo se genera en zonas con una situación demográfica desfavorable, donde apenas vive el 10% de la población aragonesa. Estos resultados refuerzan la hipótesis de que la explotación de la biomasa agrícola y forestal es un acicate en la lucha contra la despoblación y una fuente de generación de empleo para las zonas rurales.

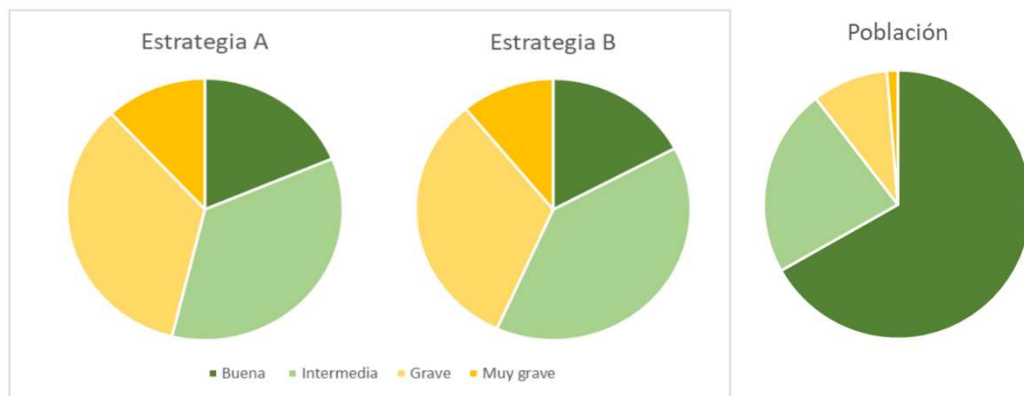


Figura 24: empleos totales generados (estrategias A y B) y población de Aragón en función de la situación geográfica del municipio en que residen. Las diferencias entre las estrategias de menor y mayor escala son muy pequeñas.

7. Conclusión

7.1. Comparación multifactorial

En los análisis de un único factor, resulta muy sencilla la comparación de resultados. Sin embargo, en los análisis con varias métricas que no se pueden relacionar de manera directa no existe una única o mejor solución. Esta dependerá de las preferencias del observador y de los valores que, en cada situación, se quieran priorizar.

En este trabajo, se analizan tres métricas independientes. Sería posible normalizar los tres resultados en las mismas unidades (euros), aplicando a las emisiones el precio de emisión del mercado europeo (33,6 €/ton, enero 2020) y al cálculo social los salarios de los empleados. Sin embargo, creemos que esta normalización eliminaría claridad a los resultados, en vez de aportar información. La comparación de las tres estrategias se muestra en la tabla 12.

ESTRATEGIA	ECONÓMICO (costes €)	MEDIOAMBIENTAL (kg CO2 eq)	SOCIAL		
			Total (empleos eq)	Zona despoblada (empleos eq)	Porcentaje
Estrategia A	123.975.047 €	82.628.555	3.586	1.646	46%
Estrategia B	124.665.303 €	87.173.282	3.541	1.522	43%
Estrategia C	120.852.603 €	83.699.385	3.469	1.815	52%

Tabla 12: comparación de resultados multifactorial

Como podemos observar, económicamente existe muy poca diferencia entre las tres estrategias, siendo ligeramente favorecida la estrategia C. Medioambientalmente, la estrategia B destaca por ineficiente, frente a la práctica igualdad de A y C. Por último, si bien en empleo absoluto la C es la estrategia con menor creación, es la más ventajosa en cuanto a creación de empleos en entornos con mala situación demográfica (figura 25).

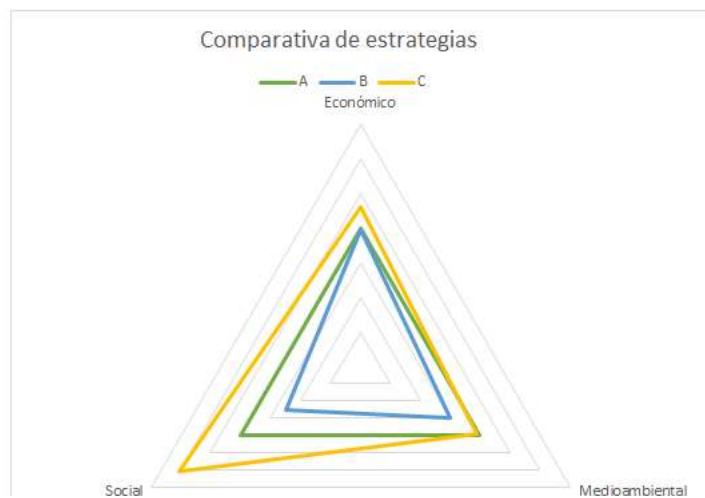


Figura 25: comparación de estrategias. Las unidades son adimensionales y están normalizadas con respecto a la estrategia A. En social, se representa los empleos generados en zonas con despoblación. Cuanto más alejado del centro, más favorable es el análisis.

Es interesante destacar la similitud de costes en las estrategias A y B. En un caso (grandes plantas) la economía de escala en planta se ve compensada por deseconomías de escala al alargar sus líneas de suministro. En el caso opuesto ocurre lo contrario. Representando en un gráfico (figura 26) el coste específico de producción (sin incluir el coste de abastecimiento) frente a la capacidad de las plantas, parece existir un mínimo en el rango de las 100.000 a 150.000 toneladas de producción. Se excluye el coste de compra ya que, dependiendo del tipo de recurso predominante en cada comarca, se distorsionan los datos. Si bien la regresión sugiere unos costes por debajo de 40 euros/ton, los cálculos de la estrategia C muestran un coste sin compra de 51,5 euros/ton. Estos costes coinciden con el rango superior de la estrategia A, lo que muestra una estabilización de costes a partir de cierta escala, que comienzan a subir más adelante por deseconomías de escala relacionadas con el transporte.

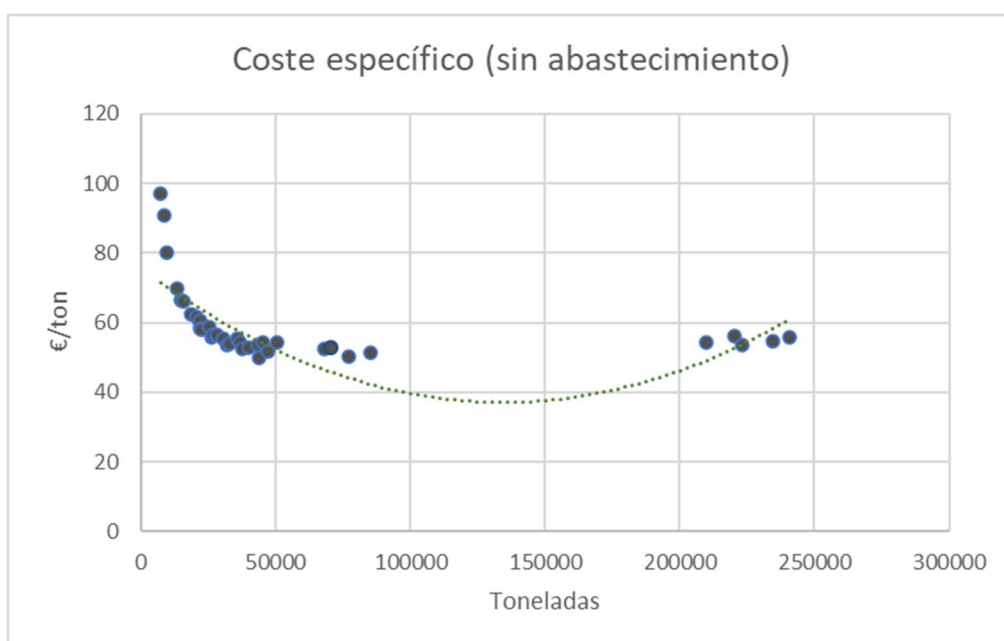


Figura 26: relación entre coste específico y tamaño de las plantas en casos A y B

En el cálculo de emisiones sucede el mismo fenómeno (figura 27). La regresión de los resultados de A y B sugiere un punto óptimo de emisiones en el mismo rango 100.000-150.000 toneladas. Los cálculos de la estrategia C revelan unas emisiones (sin abastecimiento) de 59-62 kg CO_2 eq/ton pélet, similares al rango superior de las plantas comarcales.

Por último, el análisis social muestra un número parecido de empleos generados, independientemente de la escala (figuras 29 y 30). Este es el más sorprendente de los resultados, teniendo en cuenta la acusada relación de escala presente en las plantas de peletizado. Si bien la diferencia entre empleos directos es notable, esta diferencia queda amortiguada por el mayor papel de los empleos en abastecimiento (gran parte en el sector

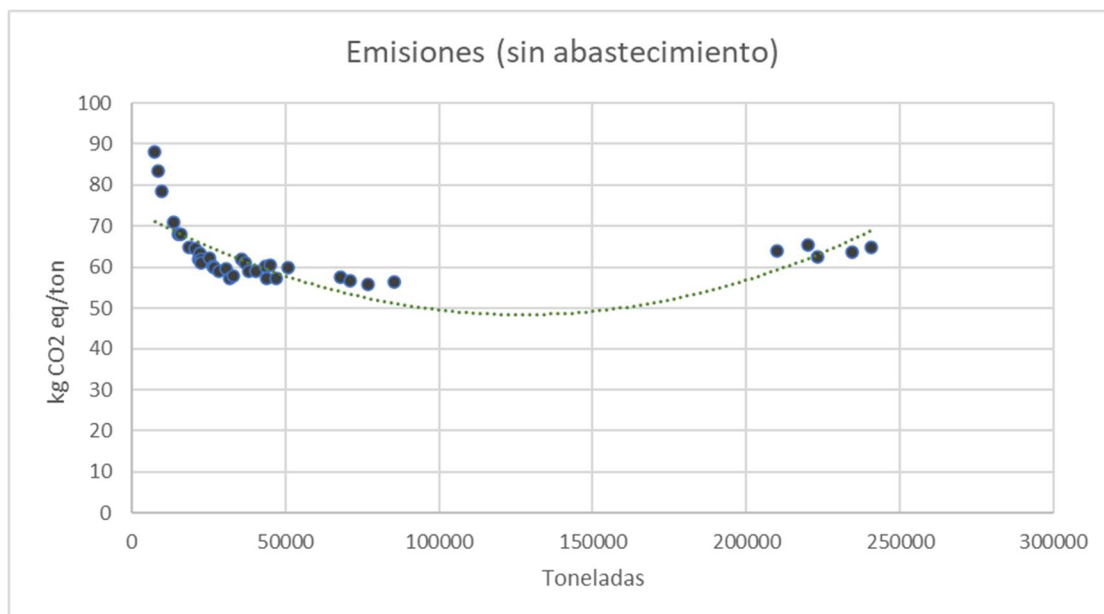


Figura 27: relación entre emisiones específicas y tamaño de las plantas de los casos A y B

forestal), que al mantenerse constantes anulan la diferencia. Así mismo, el propio carácter localizado de estos empleos hace que los empleos generados en zonas en riesgo demográfico sean independientes del tamaño de la escala.

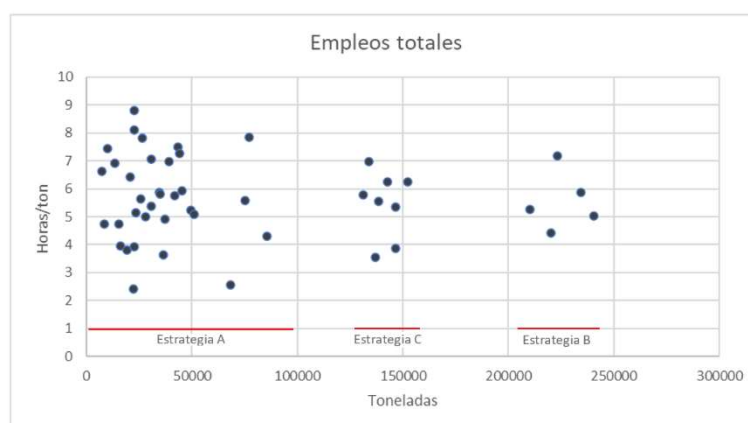


Figura 28: empleos generados en función del tamaño de la planta (casos A, B y C)

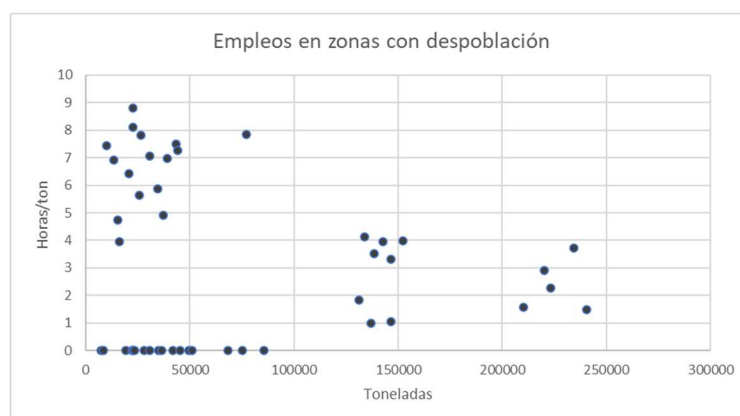


Figura 29: empleos generados en zonas con situación demográfica grave o muy grave en función del tamaño de la planta (casos A, B y C). Las plantas comarcales presentan un rango mucho mas amplio (0-9 horas/ton), pero no hay correlación entre tamaño y generación de empleo en zona de riesgo

Este resultado está basado en premisas simplificadas que no tienen por qué cumplirse; la ubicación del empleo no es el único criterio que los trabajadores usan para ubicar su residencia. Los resultados muestran que, si el resto de factores son favorables (acceso a la vivienda, servicios, educación, comunicaciones), más de 1.500 trabajadores (y sus familias) podrían localizarse idealmente en dichas zonas despobladas. Así mismo, si tuviésemos en cuenta todas las zonas rurales (independientemente de su riesgo de despoblación), el número de empleos generados en el medio rural sería mucho mayor.

Comparando multifactorialmente los tres análisis de sostenibilidad, se concluye que existe un rango óptimo para el tamaño de plantas de peletizado. Esta conclusión va en la línea de lo desarrollado por Shahrukh et al. (2016) [45]. Sin embargo, dicho estudio analiza únicamente el coste económico, y encuentra el punto óptimo entre las 150.000-190.000 toneladas. Dicha diferencia puede deberse a una menor densidad de recurso en el caso de Aragón con respecto al área de estudio (Oeste de Canadá). Esta menor densidad aumenta costes de transporte y acerca el punto óptimo hacia una menor escala de planta.

7.2. Conclusiones

La conclusión principal de este trabajo es que el potencial de biomasa aprovechable en Aragón es muy superior a su actual explotación y que la valorización de este recurso para producir pélets puede generar cuantiosos beneficios económicos, ecológicos y sociales, especialmente en el medio rural. Explotando el potencial actual, se producirían 1,1 millones de toneladas de pélets, generando una cifra de negocio de más de 150 millones de euros, ahorrando la emisión de 1,54 millones de toneladas de CO₂ equivalente (sustituyendo calderas de gasoil) y se generarían 1.500 empleos en zonas aquejadas de despoblación (3.500 en todo Aragón).

Los resultados de este trabajo sugieren que, a partir de cierta escala (alrededor de las 50.000 toneladas) no es posible afirmar que una estrategia de aprovechamiento (centralizada vs descentralizada) sea beneficiosa económica-, medioambiental- o socialmente. La adopción de una u otra estrategia dependerá de motivos diferentes a los estudiados. Estos pueden ser, entre otros, de carácter político, técnico, comunicaciones, seguridad de suministro o financieros.

En el ámbito social, la conclusión de que se generarían más de 1.500 empleos en zonas con una situación demográfica grave o muy grave muestra un gran potencial de generación de riqueza y fijación de población para algunas de las zonas más deprimidas de Aragón. Así mismo, debe servir de toque de atención a las administraciones públicas; frente a grandes proyectos

con poco retorno a las comunidades locales, políticas sociales efectivas y de bajo coste (rebajas fiscales en zonas despobladas, fomento del cooperativismo, activación del sector forestal, adecuación de viviendas de alquiler, mejora de servicios) pueden tener mayor impacto en la lucha contra la despoblación, aunque generen menos titulares.

7.3. Trabajos futuros

Debido al ámbito limitado de un Trabajo de Fin de Grado, existen muchas cuestiones que han sido simplificadas y que sería interesante abordar en futuros trabajos.

Existen grandes variaciones en la literatura en cuanto a costes y potenciales de biomasa. Estos últimos dependen mucho de la ubicación y climatología. Así mismo, la literatura que existe respecto de las podas agrícolas muestra una gran variabilidad regional. Sería de gran ayuda realizar informes *in situ* o encuestas a agricultores que permitieran reducir la incertidumbre de los datos para Aragón (e incluso a nivel comarcal).

El cálculo del transporte basado en distancias euclidianas es simplista y, si bien globalmente resulta satisfactorio, incurre en grandes desviaciones en entornos muy montañosos y con malas comunicaciones. Sería de gran interés mejorar los modelos existentes, discriminando las rutas en función de su sinuosidad.

El análisis social de este trabajo es una primera aproximación a la materia. Es imperativo ahondar en metodologías fiables que permitan proponer soluciones para la despoblación y calcular su impacto, guiando políticas públicas y evitando el despilfarro de recursos y esfuerzos en iniciativas de dudoso provecho.

8. Bibliografía

- [1] N. Unidas, "Informe Brundtland," 1987. Accessed: Dec. 21, 2020. [Online]. Available: <https://undocs.org/es/A/42/427>.
- [2] J. Hansen, R. Ruedy, M. Sato, and K. Lo, "Global surface temperature change," *Reviews of Geophysics*, vol. 48, no. 4, Dec. 2010, doi: 10.1029/2010RG000345.
- [3] Esmedagro, *Situación y potencial de la energía de la biomasa forestal en la provincia de Zaragoza*. 2012.
- [4] UNESA, "Evaluación del potencial de generación mediante transformación de la biomasa," 2008.
- [5] A. García, *Evaluación del potencial energético de los bosques de Teruel mediante teledetección y SIG*. 2010.
- [6] Idae, "Evaluación del potencial de energía de la biomasa. Estudio técnico PER 2011-2020.," p. 196, 2011.
- [7] A. Uasuf and G. Becker, "Wood pellets production costs and energy consumption under different framework conditions in Northeast Argentina," *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 3, pp. 1357–1366, 2011, doi: 10.1016/j.biombioe.2010.12.029.
- [8] L. Visser, R. Hoefnagels, and M. Junginger, "Wood pellet supply chain costs – A review and cost optimization analysis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 118, no. October 2019, p. 109506, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2019.109506.
- [9] F. Zhang, D. M. Johnson, J. Wang, and C. Yu, "Cost, energy use and GHG emissions for forest biomass harvesting operations," *Energy*, vol. 114, pp. 1053–1062, 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.07.086.
- [10] R. Díaz Martín, "Analysis of Production, Transport and Lifecycle of Pellets," *American Journal of Environmental Protection*, vol. 4, no. 2, p. 91, 2015, doi: 10.11648/j.ajep.20150402.13.
- [11] M. Pergola *et al.*, "An environmental and economic analysis of the wood-pellet chain: two case studies in Southern Italy," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 23, no. 8, pp. 1675–1684, 2018, doi: 10.1007/s11367-017-1374-z.
- [12] M. Martín-Gamboa, P. Marques, F. Freire, L. Arroja, and A. C. Dias, "Life cycle assessment of biomass pellets: A review of methodological choices and results," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 133, no. July, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.110278.
- [13] C. Cambero and T. Sowlati, "Assessment and optimization of forest biomass supply chains from economic, social and environmental perspectives - A review of literature," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 36, pp. 62–73, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.04.041.

- [14] A. Santos, A. Carvalho, A. P. Barbosa-Póvoa, A. Marques, and P. Amorim, "Assessment and optimization of sustainable forest wood supply chains – A systematic literature review," *Forest Policy and Economics*, vol. 105, no. February, pp. 112–135, 2019, doi: 10.1016/j.forpol.2019.05.026.
- [15] M. den Herder, M. Kolström, M. Lindner, T. Suominen, D. Tuomasjukka, and M. Pekkanen, "Sustainability impact assessment on the production and use of different wood and fossil fuels employed for energy production in North Karelia, Finland," *Energies*, vol. 5, no. 11, pp. 4870–4891, 2012, doi: 10.3390/en5114870.
- [16] S. Sacchelli *et al.*, "Matching socio-economic and environmental efficiency of wood-residues energy chain: A partial equilibrium model for a case study in Alpine area," *Journal of Cleaner Production*, vol. 66, pp. 431–442, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.11.059.
- [17] L. Čuček, P. S. Varbanov, J. J. Klemeš, and Z. Kravanja, "Total footprints-based multi-criteria optimisation of regional biomass energy supply chains," *Energy*, vol. 44, no. 1, pp. 135–145, 2012, doi: 10.1016/j.energy.2012.01.040.
- [18] W. Werhahn-Mees, T. Palosuo, J. Garcia-Gonzalo, D. Röser, and M. Lindner, "Sustainability impact assessment of increasing resource use intensity in forest bioenergy production chains," *GCB Bioenergy*, vol. 3, no. 2, pp. 91–106, 2011, doi: 10.1111/j.1757-1707.2010.01068.x.
- [19] DiCom Medios SL, "Gran Enciclopedia Aragonesa Online," 2010. http://www.enciclopedia-aragonesa.com/voz.asp?voz_id=6402%5Cnhttp://www.enciclopedia-aragonesa.com/m/voz.asp?voz_id=11156&voz_id_origen=6522%5Cnhttp://www.enciclopedia-aragonesa.com/voz.asp?voz_id=11156&voz_id_origen=6522 (accessed Dec. 20, 2020).
- [20] AEMA, "CORINE Land Cover - Wikipedia, la enciclopedia libre," 2019. https://es.wikipedia.org/wiki/CORINE_Land_Cover (accessed Dec. 17, 2020).
- [21] Copernicus, "CORINE Land Cover — Copernicus Land Monitoring Service," *Copernicus Program*, 2020. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (accessed Dec. 20, 2020).
- [22] "F.A.Q. - Environment - European Commission." https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/faq_es.htm (accessed Dec. 20, 2020).
- [23] D. Voivontas, D. Assimacopoulos, and E. G. Koukios, "Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method," 2001. Accessed: Jan. 12, 2021. [Online].
- [24] U. Fernandes and M. Costa, "Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal," 2010, doi: 10.1016/j.biombioe.2010.01.009.
- [25] Agencia Extremeña de la Energía, "Los residuos agrícolas de poda," pp. 1–32, 2014.
- [26] M. Borja, "La biomasa residual de las plantaciones agrícolas como energía renovable," *Agrónomos*, vol. 41, no. 12, pp. 18–27, 2011.

- [27] FAO, "Capítulo 4 - Las operaciones de corta," pp. 1–4, 2019, Accessed: Dec. 18, 2020. [Online]. Available: <http://www.fao.org/3/v6530s/v6530s07.htm#capitulo 4 las operaciones de corta>.
- [28] F. P. Boscoe, K. A. Henry, and M. S. Zdeb, "A Nationwide Comparison of Driving Distance Versus Straight-Line Distance to Hospitals," *Professional Geographer*, vol. 64, no. 2, pp. 188–196, May 2012, doi: 10.1080/00330124.2011.583586.
- [29] I. Romans Torres, "Estudio y análisis de la construcción con balas de paja," *Universidad Politécnica de Valencia*, 2014.
- [30] DFM, "Tabla de Densidad de maderas - Forestal Maderero," 2016, Accessed: Jan. 06, 2021. [Online]. Available: <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/tabla-de-densidad-de-maderas.html>.
- [31] M. Masche *et al.*, "From wood chips to pellets to milled pellets: The mechanical processing pathway of Austrian pine and European beech," *Powder Technology*, vol. 350, pp. 134–145, 2019, doi: 10.1016/j.powtec.2019.03.002.
- [32] V. Francescato, E. Antonini, and L. Zuccoli Bergomi, "Manual De Combustibles de Madera. Producción, requisitos de calidad, comercialización," *Avebiom*, p. 82, 2008, [Online]. Available: www.biomassstradecentre2.eu%5CnWWW.AVEBIOM.ORG.
- [33] J. Rodríguez, "Biomasa forestal - Producción de pélets."
- [34] "Ahorro económico y biomasa: una realidad contrastada." <https://blogedificacionyenergia.com/ahorro-economico-biomasa/> (accessed Dec. 20, 2020).
- [35] "El negocio de la biomasa en Aragón crece más de un 20% hasta llegar a 46 millones en 2017 | Noticias de Economía en Heraldo.es." <https://www.heraldo.es/noticias/economia/2018/08/06/el-negocio-biomasa-aragon-crece-mas-hasta-llegar-millones-2017-1260858-309.html> (accessed Dec. 20, 2020).
- [36] "Pellet de Paja Melazada - Inicio - - Poballe." <https://www.poballe.com/alimentacionanimal/home/68-pellet-de-paja-melazada.html> (accessed Dec. 20, 2020).
- [37] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, "Anuario de estadística forestal 2018," pp. 1–28, 2018.
- [38] "Departamento de Producción Forestal y Tecnología de la Madera Tecnología de los Productos Forestales," pp. 1–9.
- [39] S. P. D. E. Huesca, "Convenio colectivo del sector agrícola de Huesca," pp. 2708–2731, 2017.
- [40] M. de Transportes, "Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera; Abril 2020," vol. 4, no. 1, pp. 64–75, 2020.
- [41] "Alquiler de tractores y aperos agrícolas - Repuestos Agrícola Segovia. Concesionario Oficial New Holland." <https://www.agrsegovia.com/alquiler-tractores-aperos-agricolas/> (accessed Dec. 20, 2020).
- [42] A. Martínez, "Contacto sobre TFG.," 2020.

- [43] S. P. D. E. Zaragoza, *Convenio colectivo de industrias de la madera de Zaragoza*. 2019.
- [44] M. de A. P. y Alimentación, “Informe de precios de la biomasa para usos térmicos (1er trimestre 2020),” pp. 1–3, 2020.
- [45] H. Shahrukh, A. O. Oyedun, A. Kumar, B. Ghiasi, L. Kumar, and S. Sokhansanj, “Techno-economic assessment of pellets produced from steam pretreated biomass feedstock,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 87, pp. 131–143, 2016, doi: 10.1016/j.biombioe.2016.03.001.
- [46] R. Cho, “Is Biomass Really Renewable?,” *ENERGY*, 2011.
<https://blogs.ei.columbia.edu/2011/08/18/is-biomass-really-renewable/> (accessed Dec. 21, 2020).
- [47] W. Gerbens-Leenes, A. Y. Hoekstra, and T. H. van der Meer, “The water footprint of bioenergy,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 106, no. 25, pp. 10219–10223, Jun. 2009, doi: 10.1073/pnas.0812619106.
- [48] D. G. Fullerton, N. Bruce, and S. B. Gordon, “Indoor air pollution from biomass fuel smoke is a major health concern in the developing world,” *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, vol. 102, no. 9. Elsevier, pp. 843–851, Sep. 2008, doi: 10.1016/j.trstmh.2008.05.028.
- [49] “Air pollution | Partnership for Policy Integrity.” <https://www.pfpi.net/air-pollution-2> (accessed Dec. 21, 2020).
- [50] G. de Catalunya, C. Interdepartamental, and D. C. Climático, “Gases, Emisiones D E Invernadero, D E Efecto,” pp. 0–66, 2011.
- [51] Red Eléctrica de España, “Emisiones de CO2 asociadas a la generación de electricidad en España,” 2020, [Online]. Available: <https://api.esios.ree.es/documents/580/download?locale=es>.
- [52] “Transmisión de energía eléctrica y pérdidas en la distribución (% de producción) | Data.” <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.LOSS.ZS> (accessed Dec. 21, 2020).
- [53] “Forestalia invierte 17 millones en una planta de biomasa en Erla que generará 130 empleos | Noticias de Economía en Herald.es.” <https://www.heraldo.es/noticias/economia/2019/02/18/forestalia-invierte-millones-euros-una-planta-biomasa-erla-que-generara-130-empleos-1293230-309.html> (accessed Dec. 27, 2020).
- [54] Eurostat, “Employment in forestry and forest-based industry,” 2017.
https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-datasets/-/FOR_EMP_LFS (accessed Jan. 06, 2021).
- [55] P. Chazara, S. Negny, and L. Montastruc, “Quantitative method to assess the number of jobs created by production systems: Application to multi-criteria decision analysis for sustainable biomass supply chain,” *Sustainable Production and Consumption*, vol. 12, no. August, pp. 134–154, 2017, doi: 10.1016/j.spc.2017.07.002.
- [56] M. D. E. Agricultura, “Anuario de estadística 2019,” 2019.

- [57] Agencia Andaluza de la Energía, “Potencial de biomasa en andalucía. metodología,” pp. 1–48, 2011.
- [58] B. Kosztra, G. Büttner, G. Hazeu, and S. Arnold, “Updated CLC illustrated nomenclature guidelines,” *European Environment Agency*, no. 3436, pp. 1–124, 2017, [Online]. Available: https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/docs/pdf/CLC2018_Nomenclature_illustrated_guide_20190510.pdf.
- [59] C. of the E. U. European Parliament, “Statistics | Eurostat,” *Eurostat*, 2019. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_pc_205/default/table?lang=en (accessed Dec. 29, 2020).
- [60] I. Aguilera Aragon, S. Monteagudo Latorre, J. Castaños Jover, A. González-Jiménez, and R. Escudero Barbero, “El nivel 3 de la nomenclatura CORINE y la pérdida de representatividad de algunas clases importantes en el clc06 de la C.A. Aragon,” *XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, no. 23–26, pp. 393–396, 2009.
- [61] J. A. Guillen Gracia and M. Zúñiga-Antón, “Mapa 174. Zonificación de los municipios españoles sujetos a desventajas demográficas graves y permanentes,” *SSPA, Áreas Escasamente Pobladas del Sur de Europa*, 2020. www.sspa-network.eu (accessed Dec. 22, 2020).
- [62] María Zúñiga, “TFG Biomasa y despoblación.” 2020.
- [63] M. Pantic, “Delineation of mountains and mountain areas in Europe - a planning approach,” *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASAZbornik radova Geografskog instituta Jovan Cvijic, SANU*, vol. 65, no. 1, pp. 43–58, 2015, doi: 10.2298/ijgi1501043p.
- [64] J. G. G. Jonker, M. Junginger, and A. Faaij, “Carbon payback period and carbon offset parity point of wood pellet production in the South-eastern United States,” *GCB Bioenergy*, vol. 6, no. 4, pp. 371–389, 2014, doi: 10.1111/gcbb.12056.

El cálculo de potencial hace uso de la cartografía municipal de IGN (figura 30), el mapa de la red de ENP del Gobierno de Aragón (figura 32) y un mapa ráster de zonas con pendiente mayor al 30%, obtenido en base al modelo digital de terreno del IGN (figura 31).

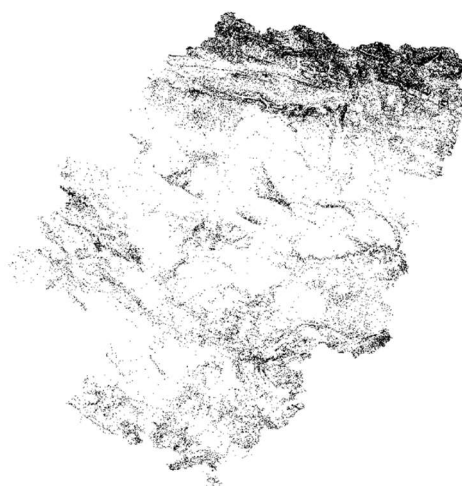


Figura 31: mapa de pendientes mayores al 30%.



El proyecto CORINE clasifica los usos del suelo siguiendo un esquema de tres niveles. El primer nivel cuenta con cinco categorías: superficies artificiales, zonas agrícolas, zonas forestales y espacios abiertos, zonas húmedas y superficies acuáticas.

Las categorías de **superficies artificiales**, **zonas húmedas** y **superficies de agua** no son relevantes para este estudio, y por tanto se les aplica un coeficiente de cero.

$$C_{1xx} = 0, \quad C_{4xx} = 0, \quad C_{5xx} = 0$$

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	CODIGO	RGB
Superficies artificiales	Zonas urbanas	Tejido urbano continuo	111	230-000-077
		Tejido urbano discontinuo	112	255-000-000
	Zonas industriales, comerciales y de transporte	Zonas industriales o comerciales	121	204-077-242
		Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	122	204-000-000
		Zonas portuarias	123	230-204-204
		Aeropuertos	124	230-204-230
	Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción	Zonas de extracción minera	131	166-000-204
		Escombreras y vertederos	132	166-077-000
		Zonas en construcción	133	255-077-255
	Zonas verdes artificiales, no agrícolas	Zonas verdes urbanas	141	255-166-255
		Instalaciones deportivas y recreativas	142	255-230-255
Zona agrícolas	Tierras de labor	Tierras de labor en secano	211	255-255-168
		Terrenos regados permanentemente	212	255-255-000
		Arrozales	213	230-230-000
	Cultivos permanentes	Viñedos	221	230-128-000
		Frutales	222	242-166-077
		Olivares	223	230-166-000
	Prados y praderas	Prados y praderas	231	230-230-077
		Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	241	255-230-166
	Zonas agrícolas heterogéneas	Mosaico de cultivos	242	255-230-077
		Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	243	230-204-077
Zonas forestales con vegetación natural y espacios abiertos	Bosques	Sistemas agroforestales	244	242-204-166
		Bosques de frondosas	311	128-255-000
		Bosques de coníferas	312	000-166-000
	Espacios de vegetación arbustiva y o herbácea	Bosque mixto	313	077-255-000
		Pastizales naturales	321	204-242-077
		Landas y matorrales mesófilos	322	166-255-128
		Matorrales esclerófilos	323	166-230-077
		Matorral boscoso de transición	324	166-242-000
	Espacios abiertos con poca o sin vegetación	Playas, dunas y arenales	331	230-230-230
		Roquedo	332	204-204-204
		Espacios con vegetación escasa	333	204-255-204
		Zonas quemadas	334	000-000-000
		Glaciares y nieves permanentes	335	166-230-204
Zonas húmedas	Zonas húmedas continentales	Humedales y zonas pantanosas	411	166-166-255
		Turberas y prados turbosos	412	077-077-255
	Zonas húmedas litorales	Marismas	421	204-204-255
		Salinas	422	230-230-255
		Zonas llanas intermareales	423	166-166-230
Superficies de agua	Aguas continentales	Cursos de agua	511	000-204-242
		Láminas de agua	512	128-242-230
	Aguas marinas	Lagunas costeras	521	000-255-166
		Estuarios	522	166-255-230
		Mares y océanos	523	230-242-255

Figura 33: leyenda del proyecto CORINE Land Cover

Zonas agrícolas

Tierras de labor: las tierras de labor en secano (211) y en regadío (212) corresponden a las superficies de cultivos herbáceos. De acuerdo con los datos publicados en 2019 por el Gobierno de Aragón en el Anuario de Estadística de 2019 [56], el 81,44% de la superficie de cultivos herbáceos de la comunidad está ocupada por cereales para grano. De estos, el 79,8% está formado por trigo y cebada. Según el Anuario estadístico, el rendimiento del trigo en Aragón en 2018 fue de 2,313 ton/ha en secano y 4,815 ton/ha en regadío, frente a las 2,738 y 5,344 ton/ha respectivamente en cebada. Se adoptan los coeficientes de rendimiento del trigo (más restrictivos). Así mismo, se obtiene de la misma tabla la relación paja/grano para ese año. Se aplica un factor de 0,3948 para secano y 0,1599 para regadío correspondiente al porcentaje de tierras en barbecho de Aragón (Tabla 3.4, [56]). A los arrozales (213) se les aplica un coeficiente de 3,8 tonelada residuo/ha [57]

$$C_{211} = P_{t,sec} \times R_{p,g} \times (1 - B_{sec})$$

$$C_{212} = P_{t,reg} \times R_{p,g} \times (1 - B_{reg})$$

$$C_{213} = C_{arroz}$$

Cultivos permanentes: las superficies de viñedos (221), frutales (222) y olivares (223) han sido multiplicadas por sus respectivos coeficientes: 2,9, 3,4 y 1,6 [4].

$$C_{221} = C_{viña}$$

$$C_{222} = C_{frutal}$$

$$C_{223} = C_{olivar}$$

Prados y praderas: debido a la naturaleza de su uso se han considerado como no productivos para este estudio.

$$C_{231} = 0$$

Zonas agrícolas heterogéneas: estas categorías engloban tipos de cultivos muy diversos, muchos de ellos característicos de la agricultura tradicional mediterránea y que por su poca definición obligan a tomar aproximaciones empíricas.

La categoría de cultivos anuales asociados con cultivos permanentes (241) engloba a tierras de labor yuxtapuestas con cultivos permanentes (olivo, vid y frutales). También incluye aquellas cuyos lindes con otras parcelas están definidos por hileras de árboles o viñedos. La única restricción es que el cultivo no permanente tiene que ocupar más del 50% y menos del

75% [58]. Una vez analizadas una muestra de parcelas definidas en CORINE como 241 y de las que se conoce previamente su ocupación, se concluye que una estimación razonable sería asignar a esta categoría un 70% labor (secano) junto con un 30% de cultivos permanentes (promediados).

$$C_{241} = C_{211} \times 0,7 + (C_{221} + C_{222} + C_{223}) \times 0,1$$

La categoría mosaico de cultivos (242) es aún más problemática, ya que define todas las parcelas de menos de 25 hectáreas en las cuales se dan dos de los tres siguientes usos: tierra de labor, pasto y cultivos permanentes. Esto incluye mosaicos de parcelas de viñedo, frutal y olivar, huertos de autoconsumo, minifundios de secano y zonas de regadío donde se mezcla la producción con fincas de ocio (casetas, torres, masicos o huertas, dependiendo de la denominación local). De acuerdo con las restricciones incluidas en la Guía de nomenclatura de CLC 2019 [58], se ha estimado prudente un reparto de 50% labor (secano), 30% cultivos permanentes y un 20% de superficie improductiva (pastos, superficies edificadas y huertas).

$$C_{242} = C_{211} \times 0,5 + (C_{221} + C_{222} + C_{223}) \times 0,1 + 0 \times 0,2$$

La siguiente categoría, terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y seminatural (243), aplica a los mosaicos de parcelas menores a 25 hectáreas donde se mezcla un uso antrópico (tierras de labor, olivares, viña o frutales) con manchas de vegetación natural que ocupen entre un 25 y un 75% del mismo. Analizando una selección de parcelas, se ha considerado razonable asignar un 50% bosque mixto más un 50% de tierra agrícola cultivada; 30% de labor en secano junto con un 20% de olivar.

$$C_{243} = C_{313} \times 0,5 + C_{211} \times 0,3 + C_{223} \times 0,2$$

Por último, bajo el nombre de sistemas agroforestales (244) se encuentran las dehesas. Su único aprovechamiento energético se equipara al de una finca ocupada en un 20% por Quercus (carrascas).

$$C_{244} = Q \times 0,2$$

Zonas forestales

Bosques: los bosques de frondosas (311) se estiman compuestos de árboles del género Quercus, los de coníferas (312) del género Pinus. El coeficiente de productividad para Quercus se estima en 0,9085 ton/ha y el de Pinus en 1,215 ton/ha [59]. El bosque mixto se calcula como la media entre el bosque de frondosas y el de coníferas.

$$C_{311} = Q$$

$$C_{312} = P$$

$$C_{313} = \frac{C_{311} + C_{312}}{2}$$

Espacios arbustivos: los biomas de pastizal natural (321), landas (322) y matorrales esclerófilos (323) se consideran improductivos en este estudio debido a su baja o nula densidad energética. La categoría matorral boscoso de transición (324) se utiliza en CORINE para aquellas superficies de expansión de bosques o donde estos tienen una densidad arbórea menor. Se le aplica un coeficiente del 30% de un bosque mixto.

$$C_{324} = C_{313} \times 0,3$$

Espacios abiertos con poca o sin vegetación: las playas, roquedos, zonas quemadas, glaciares y nieves permanentes no albergan biomasa que pueda ser valorizada energéticamente.

En la versión CLC 2000, la leyenda venía desagregada en cinco niveles. Sin embargo, a partir de la versión CLC 2006, la información de usos de suelo pasó a estar codificada únicamente hasta el nivel tres. Esto genera una **pérdida de representatividad**, que en el caso de Aragón (y otros paisajes mediterráneos) es especialmente perjudicial. En concreto, en los cultivos permanentes (2.2.) no distingue entre parcelas de secano y de regadío, siendo esta diferencia crucial en este clima para evaluar la productividad. Así mismo, considera parcela de regadío (2.1.2.) aquellas regadas durante el año de recogida de datos, sin tener en cuenta posibles sequías puntuales que hayan obligado a no regar ese año concreto [60]. Las zonas agrícolas heterogéneas (2.4.) son también excesivamente generalistas en el contexto mediterráneo al englobar huertas de ribera, minifundios de regadío, olivares de secano, zonas de ocio y muchas otras formas complejas de ordenación del territorio, típicas del paisaje aragonés.

ANEXO B. Cálculo de impuestos

El cálculo de los impuestos es necesario para estimar los costes de operación y los beneficios sociales inducidos en los municipios.

Impuesto de bienes inmuebles (IBI)

El impuesto de bienes inmuebles se paga como un porcentaje del valor catastral del edificio, que varía en función del municipio. Se ha establecido el valor catastral como el 50% del valor de la instalación. Tras una revisión de coeficientes municipales, se ha estimado un coeficiente de IBI de 0,65% para todos los municipios.

$$T_{IBI} = V_{inst} \times 0,5 \times 0,0065$$

Impuesto de actividades económicas (IAE)

La liquidación del impuesto de actividades económicas consta de varios factores. El primero es la cuota de tarifa, que depende del epígrafe de la actividad y de la superficie ocupada.

$$Cuota_{tarifa} = Componente_{epígrafe} + Componente_{superficie}$$

Las empresas de peletizado de biomasa figuran bajo el epígrafe 465.9 del IAE. Dicho epígrafe establece una cuota de 4,543652 €/kW instalado. Para calcular la potencia instalada se sumarán todas las potencias de cada máquina y se multiplicará por el factor de utilización (0,85).

$$Componente_{epígrafe} = Cuota_{465.9} \times F_u \times \sum W_{maq,x}$$

El componente de superficie depende de la superficie de los locales y el uso de estos. Para las plantas de peletizado corresponderá a la superficie construida más la superficie descubierta por un coeficiente de 0,2. Dicha suma se multiplica por un coeficiente corrector de 0,95 para dar la superficie computable. Por último, se multiplica dicha superficie por una cuota relacionada con la superficie y el tamaño del municipio (figura 34) y por un coeficiente corrector en función del componente relacionado con el epígrafe (figura 35). Se ha utilizado un $C_{munip} = 0,024024$.

$$Superficie = (Superficie_{construida} + Superficie_{descubierta} \times 0,2) \times 0,95$$

$$Componente_{superficie} = C_{correc} \times C_{munip} \times Superficie$$

Superficie del local	Población de derecho					
	Más de 500.000 habitantes	De 100.001 a 500.000 hbs.	De 50.001 a 100.000 hbs.	De 20.001 a 50.000 hbs.	De 5.001 a 20.000 hbs.	Menos de 5.000 hbs.
De 0 a 500 m2	0,721215	0,504850	0,330557	0,204344	0,102172	0,042071
De 500,1 a 3.000 m2	0,558941	0,390658	0,252425	0,150253	0,078132	0,036061
De 3.000,1 a 6.000 m2	0,444749	0,312526	0,210354	0,126213	0,066111	0,030051
De 6.000,1 a 10.000 m2	0,384648	0,270455	0,174294	0,108182	0,060101	0,030051
Exceso de 10.000 m2	0,330557	0,234395	0,150253	0,090152	0,048081	0,024040

Figura 34: cuota municipio

Tramos de cuota Euros	Sección 1.ª: Divisiones 1 a 7 y 9. Sección 2.ª	Sección 1.ª: División 8
De 37,32 a 622,05	1,0	0,5
De 622,06 a 1.244,10	1,5	0,5
De 1.244,11 a 3.110,24	2,0	1,0
De 3.110,25 a 6.220,48	2,5	1,5
Más de 6.220,48	3,0	2,0

Figura 35: coeficiente corrector

La cuota de tarifa se multiplica por un coeficiente de ponderación que depende de la cifra de negocio para hallar la cuota ponderada (figura 36).

$$Cuota_{ponderada} = Coef_{ponderación} \times Cuota_{tarifa}$$

Importe neto de la cifra de negocios (euros)	Coeficiente
Desde 1.000.000,00 hasta 5.000.000,00	1,29
Desde 5.000.000,00 hasta 10.000.000,00	1,30
Desde 10.000.000,00 hasta 50.000.000,00	1,32
Desde 50.000.000,00 hasta 100.000.000,00	1,33
Más de 100.000.000,00	1,35
Sin cifra neta de negocio	1,31

Figura 36: coeficiente de ponderación

Por último, se multiplica la cuota ponderada por un coeficiente de situación, en función del tipo de calle donde se ubiquen las instalaciones de la empresa. Dicho coeficiente depende del municipio y no puede ser inferior a 0,4 ni superior a 3,8. Como no se puede discernir el municipio ni el tipo de calle donde se ubicará la planta, se utiliza un $Coef_{situación} = 1$.

$$Cuota_{municipal} = Coef_{situación} \times Cuota_{ponderada}$$

A dicha cuota municipal hay que sumar un recargo provincial que recauda cada diputación. En Aragón, supone un 0,32 en la provincia de Huesca y 0,30 en Zaragoza y Teruel.

$$Recargo_{provincial} = Cuota_{municipal} \times Coef_{provincial}$$

El total de deuda tributaria es la suma entre la cuota municipal y el recargo provincial.

$$Deuda_{tributaria} = Cuota_{municipal} + Recargo_{provincial}$$

ANEXO C. Divisiones territoriales

Cada estrategia dispone de un número diferente de plantas (33, 5, 8). Cada planta se ubica en el centro geométrico del área de acopio que le corresponde.

Estrategia A

El caso A sigue las divisiones comarcales de Aragón. Dentro de cada comarca, la planta se ubica en el centro geométrico de la misma.

Comarca	Código municipal	Municipio centro	Capacidad (t)
Tarazona y El Moncayo	34025050122	Grisel	7.441
Ribera Alta del Ebro	34025050204	Pedrola	8.553
Aranda	34025050198	Oseja	10.105
Andorra - Sierra de Arcos	34024444022	Alloza	13.576
Bajo Martín	34024444122	Híjar	15.361
Campo de Belchite	34025050023	Almonacid de la Cuba	16.133
Ribera Baja del Ebro	34025050278	Velilla de Ebro	19.074
Cuencas Mineras	34024444155	Montalbán	20.592
Cinca Medio	34022222193	Pueyo de Santa Cruz	22.196
Maestrazgo	34024444260	Villaluengo	22.427
Sobrarbe	34022222189	Puértolas	22.429
La Litera / La Llitera	34022222225	Tamarite de Litera	22.479
Campo de Borja	34025050061	Bureta	23.312
Campo de Daroca	34025050094	Daroca	25.852
Alto Gállego	34022222059	Biescas	26.416
Somontano de Barbastro	34022222186	Pozán de Vero	27.802
Valdejalón	34025050146	Lucena de Jalón	30.583
La Jacetania	34022222901	Valle de Hecho	30.765
Campo de Cariñena	34025050143	Longares	34.446
Bajo Aragón - Caspe / Baix Aragó - Casp	34025050074	Caspe	34.705
D.C. Zaragoza	34025050297	Zaragoza	36.234
Jiloca	34024444050	Calamocha	37.117
Matarraña / Matarranya	34024444187	La Portellada	39.298
Bajo Aragón	34024444051	Calanda	41.742
La Ribagorza	34022222129	Isábena	43.448
Sierra de Albarracín	34024444009	Albarracín	44.007
Comunidad de Teruel	34024444216	Teruel	45.322
Bajo Cinca / Baix Cinca	34022222112	Fraga	49.612
Hoya de Huesca / Plana de Uesca	34022222904	La Sotonera	51.142
Los Monegros	34022222137	Lanaja	68.410
Comunidad de Calatayud	34025050038	Ateca	75.064
Gúdar - Javalambre	34024444158	Mora de Rubielos	77.140
Cinco Villas	34025050095	Ejea de los Caballeros	85.505

Figura 37: centros estrategia A

Estrategia B

El caso B divide Aragón en cinco regiones con un potencial similar. Para encontrar dichas áreas, se parte de las comarcas más externas de Aragón y se barajan diferentes opciones, de tal manera que cada área esté formada por comarcas adyacentes y que, en total, sumen un número cercano a 225.660 toneladas. La única comarca que ha sido dividida es Los Monegros, repartida entre el sector Norte y Centro.

Se estima que las plantas se ubican en el centro de cada zona. Sin embargo, algunos centros se ubican en municipios muy pequeños y con escaso suelo industrial e infraestructuras, lo cual hace difícil que se implantaran en dichos municipios.

Sector	Código municipal	Municipio centro	Comarca	Capacidad (ton.)
Oeste	34025050153	Magallón	Campo de Borja	240.564
Centro	34025050218	Puebla de Albortón	Campo de Belchite	220.185
Sur	34025050218	Escorihuela	Comunidad de Teruel	223.063
Este	34025050074	Caspe	Bajo Aragón - Caspe / Baix	210.034
Norte	34022222199	Sabiñánigo	Alto Gállego	234.446

Figura 38: centros estrategia B

Estrategia C

El caso C busca establecer plantas con una capacidad de 140.000 toneladas. Para ello, se divide Aragón en ocho áreas de un potencial similar. Se ha optado por un procedimiento similar a la estrategia B, agrupando por comarcas. La única comarca que se ha dividido es Cinco Villas.

Sector	Código municipal	Municipio centro	Comarca	Capacidad (ton.)
Teruel Oeste	34024444213	Singra	Jiloca	152.299
Teruel Este	34024444150	Miravete de la Sierra	Maestrazgo	133.734
Pirineo Este	34022222117	Graus	Ribagorza	138.355
Pirineo Oeste	34022222072	Caldearenas	Alto Gállego	142.744
Central	34025050297	Zaragoza	Comarca central	146.451
Ibérica Norte	34025050126	Illueca	Aranda	146.505
Bajo Aragón	34024444013	Alcañiz	Bajo Aragón	131.107
Monegros	34022222083	Castejón de Monegros	Los Monegros	137.097

Figura 39: centros estrategia C

ANEXO D. Cálculo de riesgo de despoblación

Se ha realizado un estudio de riesgo de despoblación para cada comarca, de acuerdo con la metodología empleada en el estudio: “*Mapa 174. Zonificación de los municipios españoles sujetos a desventajas demográficas graves y permanentes*” [61]. En dicho estudio, se sirven de seis factores para determinar el riesgo demográfico de un municipio: crecimiento acumulado (1991-2018), densidad de población (2018), índice de envejecimiento (2018), porcentaje de población entre 0 y 4 años, altitud y pendiente media. Las fuentes de datos de las que disponemos son, para la densidad de población, el índice de envejecimiento, la población infantil y el crecimiento, el Instituto Nacional de Estadística. Para la altitud y pendiente media la fuente es el Instituto Geográfico Nacional.

El crecimiento acumulado representa el crecimiento de una población P durante un período de tiempo n , se calcula mediante la fórmula

$$C_{acum} = \left(\frac{P_f}{P_i}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

La densidad de población representa el número de habitantes por unidad de superficie. El índice de envejecimiento representa la relación de personas mayores de 65 años respecto a las menores de 15 años.

Dichos valores se clasifican en tres terciles. Dichos terciles son proporcionales para el crecimiento de población, el índice de envejecimiento y la población infantil [62]. Para la densidad de población, se usan los límites de 12,5 hab/km² (clasificación de desierto demográfico según la UE) y 93 hab/km² (media de España). Para la altitud y para la pendiente media, se usan los valores con los que la UE define las zonas montañosas: 600 y 1000 metros para la altitud, 15 y 20% para la pendiente [63].

Posteriormente, se suman todas las variables, ponderando todas por igual. Por último, se establecen cuatro intervalos y se clasifican las comarcas de acuerdo con los mismos.

Comarca	Riesgo demográfico
Bajo Cinca / Baix Cinca	1
Cinca Medio	1
D.C. Zaragoza	1
Ribera Alta del Ebro	1
Somontano de Barbastro	1
Valdejalón	1
Bajo Aragón	2
Bajo Aragón-Caspe / Baix A	2
Campo de Borja	2
Cinco Villas	2
Comunidad de Calatayud	2
Comunidad de Teruel	2
Hoya de Huesca / Plana de	2
La Litera / La Llitera	2
Los Monegros	2
Ribera Baja del Ebro	2
Tarazona y el Moncayo	2
Alto Gállego	3
Andorra-Sierra de Arcos	3
Bajo Martín	3
Campo de Belchite	3
Campo de Cariñena	3
Campo de Daroca	3
Cuencas Mineras	3
Jiloca	3
La Jacetania	3
La Ribagorza	3
Matarraña / Matarranya	3
Sierra de Albarracín	3
Sobrarbe	3
Aranda	4
Gúdar-Javalambre	4
Maestrazgo	4

Figura 40: situación demográfica comarcal

ANEXO E. Tablas de resultados

Resultados económicos

CASO A												
Comarca	Toneladas pellet	Tipo	COMPRA Coste	TRANSPORTE Coste	COSTES DE CAPITAL		COSTES DE OPERACIÓN					TOTAL
					Maquinaria	Instalaciones	Mant. maquinaria	Mant. Instalacion	Coste energía	Personal	Impuestos	
Tarazona y El Moncayo	7.323	1	419.795	19.566 €	19.566 €	76.211 €	45.338 €	4.335 €	907 €	322.027 €	239.486 €	3.547 €
Ribera Alta del Ebro	8.537	1	450.567	30.257 €	86.626 €	52.108 €	5.187 €	1.042 €	356.404 €	239.486 €	4.103 €	1.225.959 €
Aranda	9.752	1	598.277	41.800 €	97.227 €	61.563 €	5.785 €	1.231 €	330.828 €	239.486 €	4.776 €	1.380.974 €
Andorra - Sierra de Arcos	13.378	1	808.011	61.549 €	127.196 €	82.713 €	7.569 €	1.654 €	409.618 €	239.486 €	6.475 €	1.744.271 €
Bajo Aragón	15.057	1	849.552	62.101 €	140.641 €	93.586 €	8.369 €	1.872 €	446.100 €	239.486 €	7.309 €	1.849.016 €
Campo de Belchite	15.837	1	886.478	83.328 €	146.809 €	98.290 €	8.736 €	1.966 €	463.047 €	239.486 €	7.681 €	1.935.821 €
Ribera Baja del Ebro	18.747	1	1.040.171	95.121 €	169.444 €	116.211 €	10.083 €	2.324 €	526.286 €	239.486 €	9.087 €	2.208.213 €
Cuencas Mineras	20.483	1	1.226.942	125.064 €	182.692 €	125.459 €	10.871 €	2.509 €	564.012 €	239.486 €	9.862 €	2.486.897 €
Campo de Borja	21.845	1	1.176.505	90.333 €	192.968 €	135.231 €	11.483 €	2.705 €	593.610 €	239.486 €	10.580 €	2.452.901 €
Cinca Medio	21.928	1	1.380.697	120.306 €	193.593 €	136.635 €	11.520 €	2.733 €	595.420 €	239.486 €	10.660 €	2.691.050 €
La Litera / La Litera	22.196	1	1.385.837	143.741 €	195.606 €	136.651 €	11.640 €	2.733 €	601.255 €	239.486 €	10.718 €	2.727.666 €
Maestrazgo	22.316	1	1.247.953	100.010 €	196.504 €	138.956 €	11.993 €	2.739 €	603.862 €	239.486 €	10.757 €	2.549.959 €
Sobrarbe	22.406	1	1.313.640	89.223 €	197.176 €	142.029 €	11.733 €	2.841 €	605.912 €	239.486 €	10.997 €	2.612.939 €
Campo de Daroca	25.356	1	1.502.287	178.426 €	219.034 €	157.507 €	13.034 €	3.150 €	669.917 €	239.486 €	12.305 €	2.995.146 €
Alto Gállego	26.405	1	1.632.044	124.655 €	226.713 €	160.942 €	13.491 €	3.219 €	692.716 €	239.486 €	12.679 €	3.105.946 €
Somontano de Barba	26.916	1	1.572.787	145.725 €	230.440 €	169.386 €	13.712 €	3.388 €	703.828 €	239.486 €	13.157 €	3.091.908 €
Valdejalán	28.246	1	1.711.738	161.603 €	240.080 €	186.330 €	14.286 €	3.727 €	732.721 €	239.486 €	14.182 €	3.304.153 €
La Jacetania	30.732	1	1.878.398	193.437 €	257.926 €	187.439 €	15.348 €	3.749 €	786.746 €	239.486 €	14.762 €	3.577.292 €
Campo de Cariñena	31.847	1	1.955.344	145.768 €	265.862 €	209.862 €	15.820 €	4.197 €	810.985 €	239.673 €	15.980 €	3.673.491 €
Bajo Aragón - Caspe	32.786	1	2.003.290	177.580 €	272.509 €	211.445 €	16.216 €	4.229 €	831.389 €	240.811 €	16.250 €	3.773.720 €
D.C. Zaragoza	35.843	2	1.996.193	274.671 €	261.545 €	220.758 €	17.492 €	4.415 €	937.444 €	247.504 €	17.311 €	3.977.334 €
Jiloca	36.921	2	2.141.445	252.817 €	268.215 €	226.138 €	17.938 €	4.523 €	960.868 €	251.371 €	17.777 €	4.141.093 €
Matarrasca / Matarr	37.945	2	2.356.180	189.998 €	274.529 €	239.427 €	18.360 €	4.789 €	983.136 €	260.923 €	18.576 €	4.345.920 €
Bajo Aragón	40.163	2	2.427.650	233.991 €	288.109 €	254.318 €	19.269 €	5.086 €	1.031.130 €	271.625 €	19.705 €	4.551.080 €
La Ribagorza	43.376	2	2.673.346	329.124 €	307.583 €	264.710 €	20.974 €	5.294 €	1.101.142 €	279.094 €	20.840 €	5.001.716 €
Sierra de Albaracín	43.971	2	2.722.761	178.469 €	311.170 €	268.117 €	20.811 €	5.362 €	1.114.088 €	281.542 €	21.119 €	4.923.420 €
Comunidad de Teruel	45.151	2	2.637.483	388.421 €	318.255 €	276.125 €	21.285 €	5.522 €	1.139.734 €	287.298 €	21.721 €	5.095.843 €
Bajo Cinca / Baix Cin	47.047	2	2.802.078	265.309 €	329.574 €	302.265 €	22.042 €	6.045 €	1.180.930 €	306.085 €	23.268 €	5.237.586 €
Hoya de Huesca / Plar	50.614	2	2.914.794	461.407 €	350.698 €	311.588 €	23.454 €	6.232 €	1.258.442 €	312.786 €	24.439 €	5.663.839 €
Los Monegros	68.063	2	3.691.688	603.296 €	451.103 €	416.793 €	30.170 €	8.336 €	1.637.625 €	388.399 €	32.767 €	7.260.177 €
Comunidad de Calatay	70.800	2	4.355.334	621.779 €	466.476 €	457.332 €	31.198 €	9.147 €	1.697.102 €	417.535 €	35.123 €	8.091.025 €
GÁndar - Javalambre	76.951	2	4.771.545	572.678 €	500.709 €	469.976 €	33.487 €	9.400 €	1.830.779 €	426.623 €	36.992 €	8.652.188 €
Cinco Villas	85.248	2	4.822.037	736.276 €	546.241 €	520.946 €	36.532 €	10.419 €	2.011.084 €	463.256 €	40.994 €	9.187.785 €

CASO B											
Sector	Toneladas pellet	COMPRA Coste	TRANSPORTE Coste	COSTES DE CAPITAL		COSTES DE OPERACIÓN					TOTAL
				Maquinaria	Instalaciones	Mant. maquinaria	Mant. Instalaciones	Coste energía	Personal	Impuestos	
Oeste	235.415	13.671.391	4.692.797 €	1.317.667 €	1.465.645 €	88.903 €	29.313 €	4.766.510 €	952.515 €	114.386 €	27.099.125 €
Centro	215.473	12.368.073	4.278.070 €	1.206.045 €	1.341.487 €	81.372 €	26.830 €	4.403.018 €	896.024 €	104.696 €	24.705.615 €
Sur	218.290	13.547.438	3.511.009 €	1.221.811 €	1.359.025 €	82.436 €	27.180 €	4.454.361 €	896.024 €	106.065 €	25.205.349 €
Este	205.539	12.013.656	3.639.943 €	1.150.444 €	1.279.642 €	77.620 €	25.593 €	4.221.955 €	877.193 €	99.869 €	23.385.916 €
Norte	229.429	13.762.292	4.192.552 €	1.284.159 €	1.428.374 €	86.642 €	28.567 €	4.657.392 €	933.685 €	111.477 €	26.485.140 €

Sector	Toneladas pellet	COMPRA Coste	TRANSPORTE Coste	COSTES DE CAPITAL		COSTES DE OPERACIÓN					TOTAL
				Maquinaria	Instalaciones	Mant. maquinaria	Mant. Instalaciones	Coste energía	Personal	Impuestos	
Teruel Oeste	149.040	9.003.977	2.284.966 €	886.514 €	927.887 €	59.813 €	18.558 €	3.027.906 €	694.199 €	72.417 €	16.976.237 €
Teruel Este	130.872	8.187.194	1.869.781 €	778.453 €	814.783 €	52.522 €	16.296 €	2.696.775 €	618.876 €	63.589 €	15.098.270 €
Pinero Este	135.394	8.056.428	1.864.088 €	805.349 €	842.934 €	54.337 €	16.859 €	2.779.192 €	637.707 €	65.786 €	15.122.680 €
Pinero Oeste	139.689	8.455.176	1.756.088 €	830.896 €	869.679 €	56.060 €	17.393 €	2.857.474 €	656.538 €	67.873 €	15.567.173 €
Central	143.317	8.090.679	2.437.761 €	852.475 €	892.259 €	57.516 €	17.845 €	2.923.600 €	675.368 €	69.636 €	16.017.141 €
Ibérica Norte	143.370	8.398.786	1.786.044 €	852.792 €	892.591 €	57.538 €	17.852 €	2.924.570 €	675.368 €	69.662 €	15.675.203 €
Bajo Aragón	128.301	7.636.673	1.324.323 €	763.160 €	798.776 €	51.490 €	15.976 €	2.649.911 €	618.876 €	62.340 €	13.921.525 €
Monegros	134.163	7.533.937	1.851.673 €	798.026 €	835.270 €	53.843 €	16.705 €	2.756.753 €	637.707 €	65.188 €	14.549.102 €

Resultados medioambientales

CASO A									
Comarca	Toneladas pellet	Tipo	RECOLECCIÓN Emisiones GEI (kg CO2 eq)	TRANSPORTE Emisiones GEI (kg CO2 eq)	PROCESO		TOTAL		
					Emisiones GEI directas (kg CO2 eq)	Emisiones GEI eléctricas (kg CO2 eq)			
Tarazona y El Moncayo	7.441	1	76.799	14.772	304.744	335.689			732.003
Ribera Alta del Ebro	8.553	1	28.676	22.843	304.744	385.818			742.081
Aranda	10.105	1	156.553	31.558	304.744	455.826			948.680
Andorra - Sierra de Arcos	13.576	1	219.782	46.884	304.744	612.422			1.183.832
Bajo Aragón	15.361	1	126.130	46.467	304.744	692.930			1.170.270
Campo de Belchite	16.133	1	121.694	62.909	304.744	727.758			1.217.104
Ribera Baja del Ebro	19.074	1	129.018	71.812	304.744	860.450			1.366.025
Cuencas Mineras	20.592	1	336.965	94.418	304.744	928.923			1.665.050
Cinca Medio	22.196	1	86.738	68.198	304.744	1.001.281			1.460.960
Maestrazgo	22.427	1	450.953	90.826	304.744	1.011.677			1.858.200
Sobrarbe	22.429	1	460.898	108.519	304.744	1.011.790			1.885.951
La Litera / La Litera	22.479	1	194.343	75.503	304.744	1.014.050			1.588.639
Campo de Borja	23.312	1	231.816	67.359	304.744	1.051.612			1.655.531
Campo de Daroca	25.852	1	349.177	134.704	304.744	1.166.217			1.954.843
Alto Gállego	26.416	1	542.640	94.109	304.744	1.191.651			2.133.145
Somontano de Barbastro	27.802	1	292.774	110.016	304.744	1.254.169			1.961.703
Valdejalán	30.583	1	279.859	122.004	304.744	1.379.624			2.086.231
La Jacetania	30.765	1	589.693	146.037	304.744	1.387.840			2.428.314
Campo de Cariñena	34.446	1	386.048	110.049	304.744	1.553.860			2.354.700
Bajo Aragón - Caspe / Baix	34.705	1	436.461	134.066	304.744	1.565.582			2.440.852
D.C. Zaragoza	36.234	2	284.601	207.365	406.325	1.634.536			2.532.828
Jiloca	37.117	2	475.031	190.866	406.325	1.674.375			2.746.597
Matarrasca / Matarranya	39.298	2	664.450	143.441	406.325	1.772.772			2.986.987
Bajo Aragón	41.742	2	563.279	176.655	406.325	1.883.022			3.029.280
La Ribagorza	43.448	2	871.515	248.481	406.325	1.959.971			3.486.292
Sierra de Albaracín	44.007	2	911.276	134.729	406.325	1.985.195			3.437.525
Comunidad de Teruel	45.322	2	623.241	293.242	406.325	2.044.486			3.367.294
Bajo Cinca / Baix Cinca	49.612	2	508.481	200.297	406.325	2.238.036			3.353.138
Hoya de Huesca / Plana de	51.142	2	585.468	348.343	406.325	2.307.062			3.647.198
Los Monegros	68.410	2	393.829	455.463	406.325	3.086.027			4.341.644
Comunidad de Calatayud	75.064	2	985.751	469.418	406.325	3.386.180			5.247.674
GÁndar - Javalambre	77.140	2	1.594.547	432.348	406.325	3.479.803			5.913.023
Cinco Villas	85.505	2	885.584	555.858	406.325	3.857.194			5.704.962

CASO B						
Sector	Toneladas pellet	RECOLECCIÓN	TRANSPORTE	PROCESO		TOTAL
		Emisiones GEI (kg CO2 eq)	Emisiones GEI (kg CO2 eq)	Emisiones GEI directas (kg CO2 eq)	Emisiones GEI eléctricas (kg CO2 eq)	
Oeste	240.564	2.645.038	3.542.868	1.218.974	10.851.944	18.499.387
Centro	220.185	2.164.337	3.229.766	1.218.974	9.932.657	16.765.919
Sur	223.063	4.136.764	2.650.667	1.218.974	10.062.506	18.291.975
Este	210.034	2.453.751	2.748.006	1.218.974	9.474.741	16.105.507
Norte	234.446	3.444.181	3.165.203	1.218.974	10.575.980	18.638.785

CASO C						
Sector	Toneladas pellet	RECOLECCIÓN	TRANSPORTE	PROCESO		TOTAL
		Emisiones GEI (kg CO2 eq)	Emisiones GEI (kg CO2 eq)	Emisiones GEI directas (kg CO2 eq)	Emisiones GEI eléctricas (kg CO2 eq)	
Teruel Oeste	152.299	2.358.726	1.725.055	812.650	6.870.273	11.919.002
Teruel Este	133.734	2.602.247	1.411.607	812.650	6.032.825	10.993.063
Pirineo Este	138.355	1.906.268	1.407.309	812.650	6.241.261	10.505.844
Pirineo Oeste	142.744	2.241.992	1.325.774	812.650	6.439.242	10.962.401
Central	146.451	1.182.413	1.840.409	812.650	6.606.478	10.588.400
Ibérica Norte	146.505	1.730.778	1.348.389	812.650	6.608.931	10.647.253
Bajo Aragón	131.107	1.790.320	999.809	812.650	5.914.305	9.648.190
Monegros	137.097	1.031.328	1.397.936	812.650	6.184.513	9.563.524

Resultados sociales

CASO A						
Comarca	Toneladas pellet	Horas extracción	Horas transporte	Horas planta	Horas inducido	Impuestos
Tarazona y El Moncayo	7.441	21.250	243	19.272	8.619	3.114 €
Ribera Alta del Ebro	8.553	6.665	375	19.272	14.313	3.599 €
Aranda	10.105	45.386	518	19.272	9.970	4.197 €
Andorra - Sierra de Arcos	13.576	60.509	770	19.272	13.188	5.684 €
Bajo Martín	15.361	35.600	763	19.272	17.189	6.418 €
Campo de Belchite	16.133	34.164	1.033	19.272	9.459	6.745 €
Ribera Baja del Ebro	19.074	36.047	1.179	19.272	15.901	7.978 €
Cuencas Mineras	20.592	90.641	1.550	19.272	20.516	8.653 €
Cinca Medio	22.196	23.223	1.120	19.272	9.873	9.289 €
Maestrazgo	22.427	121.744	1.491	19.272	39.327	9.362 €
Sobrarbe	22.429	123.509	1.782	19.272	52.681	9.406 €
La Litera / La Llitera	22.479	52.978	1.240	19.272	14.829	9.439 €
Campo de Borja	23.312	76.378	1.106	19.272	23.132	9.668 €
Campo de Daroca	25.852	97.454	2.212	19.272	26.766	10.805 €
Alto Gállego	26.416	145.234	1.545	19.272	40.191	11.121 €
Somontano de Barbastro	27.802	85.939	1.807	19.272	31.833	11.562 €
Valdejalón	30.583	98.117	2.003	19.272	44.936	12.496 €
La Jacetania	30.765	157.724	2.398	19.272	37.482	12.949 €
Campo de Cariñena	34.446	129.641	1.807	19.289	51.553	14.080 €
Bajo Aragón - Caspe / Baix Aragó	34.705	135.908	2.201	19.395	44.556	14.300 €
D.C. Zaragoza	36.234	76.779	3.405	20.018	31.764	15.193 €
Jiloca	37.117	126.914	3.134	20.378	31.839	15.597 €
Matarraña / Matarranya	39.298	191.632	2.355	21.266	59.116	16.326 €
Bajo Aragón	41.742	165.886	2.901	22.262	49.623	17.318 €
La Ribagorza	43.448	233.696	4.080	22.957	64.748	18.283 €
Sierra de Albarracín	44.007	244.148	2.212	23.185	49.628	18.524 €
Comunidad de Teruel	45.322	166.091	4.815	23.720	73.554	19.056 €
Bajo Cinca / Baix Cinca	49.612	160.498	3.289	25.468	70.029	20.471 €
Hoya de Huesca / Plana de Uesca	51.142	158.723	5.720	26.092	69.624	21.448 €
Los Monegros	68.410	101.073	7.479	33.127	33.705	28.749 €
Comunidad de Calatayud	75.064	306.716	7.708	35.838	69.561	30.911 €
Gállego - Javalambre	77.140	428.588	7.099	36.683	131.803	32.450 €
Cinco Villas	85.505	232.698	9.127	40.092	86.377	35.962 €

CASO B						
Comarca	Toneladas pellet	Horas extracción	Horas transporte	Horas planta	Horas inducido	Impuestos
Oeste	240.564	787.209	58.175	78.840	286.244	104.637 €
Centro	220.185	614.478	53.034	73.584	231.729	90.209 €
Sur	223.063	1.111.720	43.525	73.584	372.124	112.583 €
Este	210.034	730.124	45.123	71.832	259.173	103.570 €
Norte	234.446	928.018	51.974	77.088	320.057	158.145 €

CASO C						
Comarca	Toneladas pellet	Horas extracción	Horas transporte	Horas planta	Horas inducido	Impuestos
Teruel Oeste	152.299	634.606	28.326	57.816	232.219	64.129 €
Teruel Este	133.734	701.481	23.179	50.808	157.454	56.312 €
Pirineo Este	138.355	519.346	23.109	52.560	174.811	58.257 €
Pirineo Oeste	142.744	601.655	21.770	54.312	212.864	60.105 €
Central	146.451	339.973	30.220	56.064	138.113	61.666 €
Ibérica Norte	146.505	547.846	22.141	56.064	157.273	61.689 €
Bajo Aragón	131.107	529.025	16.417	50.808	162.854	55.205 €
Monegros	137.097	297.618	22.955	52.560	114.715	57.728 €

Potencial por municipios

Ident. INE	Nombre_Municipio	Residuo herbáceo (ton)	Residuo agrícola (ton)	Residuo forestal (ton)	Superficie munip. (ha)	Toneladas totales
22222001	Abiego	1.352	286	463	3.819	1.087
22222002	Abizanda	351	67	2.106	4.484	2.261
22222003	Adahuesca	557	110	0	5.247	249
22222004	Agüero	111	58	7.842	9.416	7.928
22222006	Aisa	0	0	2.068	8.084	2.068
22222007	Albalate de Cinca	2.727	2.004	186	4.423	2.872
22222008	Albalatillo	706	0	0	915	176
22222009	Albelda	3.800	2.824	0	5.183	3.774
22222011	Albero Alto	1.110	18	-	1.928	295
22222012	Albero Bajo	2.887	0	0	2.222	722
22222013	Alberuela de Tubo	2.751	-	0	2.079	688
22222014	Alcalá de Gurrea	3.579	732	181	7.142	1.808
22222015	Alcalá del Obispo	3.341	54	158	4.785	1.048
22222016	Alcampell	4.059	376	957	5.800	2.348
22222017	Alcolea de Cinca	17.129	832	266	8.324	5.381
22222018	Alcubierre	5.008	216	2.473	11.532	3.941
22222019	Allerre	455	21	0	894	134
22222020	Alfántega	673	0	107	876	276
22222021	Almudévar	14.307	970	0	20.149	4.547
22222022	Almunia de San Juan	2.074	180	44	3.566	742
22222023	Almuniente	6.444	0	176	3.756	1.787
22222024	Alquézar	480	181	185	3.236	486
22222025	Altorración	4.888	32	-	3.241	1.254
22222027	Angüés	2.227	261	337	5.652	1.155
22222028	Ansó	-	-	1.110	22.313	1.110
22222029	Antillón	1.077	143	0	2.241	412
22222032	Aragüés del Puerto	-	-	1.532	6.444	1.532
22222035	Arén	712	81	3.519	11.918	3.778
22222036	Argavieso	850	0	-	971	213
22222037	Arguis	89	47	1.185	6.275	1.254
22222039	Ayerbe	1.791	946	700	6.389	2.093
22222040	Azanuy-Alins	1.648	264	252	5.117	928
22222041	Azara	611	108	152	1.449	413
22222042	Azlor	565	134	143	1.589	419
22222043	Baélls	976	64	1.238	3.982	1.547
22222044	Bailo	1.815	79	8.398	16.443	8.931
22222045	Baldellou	339	227	1.396	3.042	1.708
22222046	Ballobar	5.942	1.079	384	12.773	2.948
22222047	Banastás	244	-	0	466	61
22222048	Barbastro	5.170	6.127	990	10.760	8.410
22222049	Barbués	3.686	-	-	1.959	921
22222050	Barbuñales	624	0	353	1.875	509
22222051	Bárcabo	79	0	1.087	8.792	1.107
22222052	Belver de Cinca	8.281	5.665	36	8.263	7.771
22222053	Benabarre	3.069	165	6.680	15.714	7.612
22222054	Benasque	0	0	611	23.328	611
22222055	Berbegal	4.194	175	0	4.903	1.223
22222057	Bielsa	-	-	-	20.242	-
22222058	Bierge	642	218	654	14.503	1.032
22222059	Biescas	415	0	3.869	18.909	3.973
22222060	Binaced	7.150	1.668	117	7.849	3.573
22222061	Binéfar	3.551	-	0	2.510	888
22222062	Bisaurri	0	0	2.215	6.319	2.215
22222063	Biscarrués	926	77	779	3.018	1.088
22222064	Blecua y Torres	1.661	165	0	3.620	580
22222066	Boltaña	115	0	6.815	13.946	6.844
22222067	Bonansa	0	0	1.580	3.729	1.580
22222068	Borau	31	16	1.307	4.172	1.332
22222069	Broto	-	-	952	12.805	952
22222072	Caldearenas	1.042	102	10.020	19.231	10.382
22222074	Campo	103	-	0	2.286	26
22222075	Camporrélls	363	0	1.081	2.668	1.171
22222076	Canal de Berdún	2.744	207	2.964	13.327	3.857
22222077	Candasnos	11.578	686	243	12.244	3.823
22222078	Canfranc	-	-	0	7.163	0
22222079	Capdesaso	3.413	32	0	1.770	886
22222080	Capella	1.043	56	2.274	6.071	2.591
22222081	Casbas de Huesca	2.168	261	1.019	13.269	1.821
22222082	Castejón del Puente	2.596	28	-	2.543	677
22222083	Castejón de Monegros	6.217	1.219	1.323	16.533	4.096
22222084	Castejón de Sos	52	35	132	3.155	179
22222085	Castelflorite	5.343	0	-	3.476	1.336
22222086	Castiello de Jaca	104	0	945	1.731	971
22222087	Castigaleu	577	120	617	2.653	882
22222088	Castillazuelo	322	25	277	1.532	382
22222089	Castillonroy	770	500	664	3.746	1.356
22222090	Colungo	211	142	895	4.064	1.089
22222094	Chalamera	700	37	33	1.150	245
22222095	Chía	103	69	0	2.610	95
22222096	Chimillas	535	-	0	1.004	134
22222099	Esplús	11.364	180	0	7.300	3.021
22222102	Estada	211	18	144	1.587	215
22222103	Estadilla	2.351	753	548	5.049	1.889
22222105	Estopiñán del Castillo	1.125	55	4.322	8.846	4.658
22222106	Fago	-	-	539	2.876	539
22222107	Fanlo	-	-	0	18.706	0
22222109	Fiscal	73	-	4.000	17.007	4.018
22222110	Fonz	3.858	17	332	5.176	1.313
22222111	Foradada del Toscar	215	0	910	10.624	964
22222112	Fraga	12.618	24.810	7.822	43.781	35.786
22222113	La Fueva	1.605	60	7.830	21.885	8.291
22222114	Gistaín	-	-	0	7.664	0
22222115	El Grado	1.352	1.167	2.357	6.377	3.862
22222116	Grañén	19.143	21	255	12.398	5.061
22222117	Graus	3.294	331	12.273	29.978	13.427
22222119	Gurrea de Gállego	13.667	2.389	2.143	19.197	7.949
22222122	Hoz de Jaca	-	-	180	1.245	180
22222124	Huerto	10.269	48	0	8.672	2.615
22222125	Huesca	10.027	66	379	16.104	2.952

Ident. INE	Nombre_Municipio	Residuo herbáceo (ton)	Residuo agrícola (ton)	Residuo forestal (ton)	Superficie munip. (ha)	Toneladas totales
22222126	Ibica	542	110	144	1.494	389
22222127	Igriés	1.001	0	0	1.917	250
22222128	Ilche	8.065	62	178	6.372	2.256
22222129	Isábena	485	45	3.611	11.852	3.778
22222130	Jaca	6.926	230	12.068	40.648	14.029
22222131	Jasa	-	-	352	890	352
22222133	Labuerda	0	0	544	1.785	544
22222135	Laluenga	3.151	84	0	3.647	872
22222136	Lalueza	14.177	0	0	8.819	3.544
22222137	Lanaja	13.727	315	2.126	18.370	5.873
22222139	Laperdiguera	615	37	-	1.132	190
22222141	Lascellas-Ponzano	1.194	129	328	2.733	756
22222142	Lascuarre	532	20	1.417	3.187	1.570
22222143	Laspáules	201	115	2.021	8.174	2.186
22222144	Laspuña	185	21	282	4.529	350
22222149	Loarre	1.416	1.268	1.861	7.442	3.483
22222150	Loporzano	3.245	867	398	16.928	2.075
22222151	Loscorrales	2.317	31	0	4.025	610
22222155	Monesma y Cajigar	700	134	2.932	6.260	3.240
22222156	Monflorite-Lascasas	3.142	-	91	2.916	876
22222157	Montanuy	38	20	1.528	17.379	1.557
22222158	Monzón	23.715	432	357	15.502	6.717
22222160	Naval	243	62	2.461	4.732	2.584
22222162	Novales	1.362	37	-	2.008	378
22222163	Nueno	1.102	108	2.403	14.724	2.787
22222164	Olvena	0	502	433	1.589	934
22222165	Ontiñena	8.766	633	1.882	13.696	4.707
22222167	Osso de Cinca	3.256	1.250	0	2.766	2.064
22222168	Palo	93	48	370	1.440	442
22222170	Panticosa	-	-	221	9.603	221
22222172	Peñalba	10.956	177	1.518	15.670	4.434
22222173	Las Peñas de Riglos	925	179	10.598	21.787	11.009
22222174	Peralta de Alcofea	8.439	253	235	11.614	2.598
22222175	Peralta de Calasanz	1.898	354	4.560	11.488	5.388
22222176	Peraltila	709	101	163	1.620	441
22222177	Perarrúa	379	17	1.188	3.005	1.300
22222178	Pertusa	2.369	45	0	2.937	637
22222181	Piracés	1.917	0	0	2.515	479
22222182	Plan	-	-	-	9.336	-
22222184	Poleñino	5.179	-	-	3.302	1.295
22222186	Pozán de Vero	346	745	323	1.475	1.155
22222187	La Puebla de Castro	430	49	885	2.939	1.041
22222188	Puente de Montañana	255	28	2.386	4.831	2.479
22222189	Puértolas	31	16	582	9.987	607
22222190	El Pueyo de Aragón	404	0	2.075	6.184	2.176
22222193	Pueyo de Santa Cruz	1.217	0	0	929	304
22222195	Quicena	571	0	-	967	143
22222197	Robres	5.128	228	279	6.424	1.788
22222199	Sabiñánigo	5.252	133	26.374	58.682	27.820
22222200	Sahún	-	-	425	7.336	425
22222201	Salas Altas	86	3.367	416	2.074	3.805
22222202	Salas Bajas	0	2.456	134	1.293	2.590
22222203	Salillas	2.016	272	224	2.833	1.000
22222204	Sallent de Gállego	0	0	638	16.178	638
22222205	San Esteban de Litera	5.627	184	766	7.190	2.357
22222206	Sangarrén	5.358	0	-	3.222	1.339
22222207	San Juan de Plan	-	-	-	5.553	-
22222208	Santa Cilia	858	0	455	2.808	669
22222209	Santa Cruz de la Serós	220	0	287	2.696	342
22222212	Santaliestra y San Quiliez	0	0	650	2.333	651
22222213	Sarriena	30.453	625	1.421	27.557	9.659
22222214	Secastilla	175	0	1.829	4.742	1.873
22222215	Seira	-	-	0	6.940	0
22222217	Sená	9.016	198	295	10.469	2.747
22222218	Senés de Alcubierre	1.410	25	0	2.053	377
22222220	Sesa	1.671	97	0	3.084	514
22222221	Sesué	0	-	103	535	103
22222222	Siétamo	2.011	165	696	4.898	1.363
22222223	Sopeira	172	29	1.022	4.409	1.095
22222225	Tamarite de Litera	15.339	944	-	11.058	4.779
22222226	Tardienta	5.306	197	167	9.065	1.691
22222227	Tella-Sin	-	-	0	8.950	0
22222228	Tierz	683	-	-	654	171
22222229	Tolva	947	49	2.914	5.896	3.200
22222230	Torla-Ordesa	0	0	0	18.536	0
22222232	Torraiba de Aragón	3.071	89	0	4.039	857
22222233	Torre la Ribera	92	48	1.056	3.206	1.128
22222234	Torrente de Cinca	1.180	3.022	315	5.631	3.632
22222235	Torres de Alcanadre	1.902	0	0	1.763	476
22222236	Torres de Barbués	2.583	-	0	1.394	646
22222239	Tramaced	1.951	0	0	1.542	488
22222242	Valfarta	3.280	36	50	3.320	906
22222243	Valle de Bardají	113	24	224	4.548	276
22222244	Valle de Lierp	221	0	582	3.276	637
22222245	Velilla de Cinca	596	1.142	0	1.654	1.291
22222246	Beranuy	0	0	1.457	6.375	1.457
22222247	Viacamp y Litera	303	34	5.679	10.765	5.789
22222248	Vicién	1.846	38	-	1.376	500
22222249	Villanova	0	0	120	705	120
22222250	Villanúa	0	-	1.496	5.819	1.496
22222251	Villanueva de Sigüenza	12.029	883	1.540	14.637	5.430
22222252	Yebra de Basa	641	0	580	9.088	741
22222253	Yésero	-	-	264	3.023	264
22222254	Zaidín	8.823	7.776	293	9.255	10.275
22222901	Valle de Hecho	292	35	2.469	23.442	2.577
22222902	Puente la Reina de Jaca	1.815	0	814	4.813	1.268
22222903	San Miguel del Cinca	19.894	510	286	10.649	5.769
22222904	La Sotonera	6.207	1.466	1.638	16.554	4.656
22222905	Lupiñén-Ortilla	6.194	46	347	11.008	1.942
22222906	Santa María de Dulcis	457	506	366	2.716	986

Ident. INE	Nombre_Municipio	Residuo herbáceo (ton)	Residuo agrícola (ton)	Residuo forestal (ton)	Superficie munip. (ha)	Toneladas totales
22222907	Aínsa-Sobrarbe	2.973	272	9.072	28.477	10.088
22222908	Hoz y Costean	924	854	2.558	5.748	3.643
22222909	Vencillón	2.094	-	0	1.037	524
22253049	Comunero de Ansó y Hecho	-	-	-	972	-
24444001	Ababuj	1.237	49	51	5.430	408
24444002	Abejuela	172	0	4.282	8.666	4.325
24444003	Aguatón	344	0	551	2.164	637
24444004	Aguaviva	1.453	134	920	4.215	1.417
24444005	Aguilar del Alfambra	956	40	255	3.905	534
24444006	Alacón	1.474	247	401	4.750	1.017
24444007	Alba	2.473	0	821	6.953	1.440
24444008	Albalate del Arzobispo	6.342	4.553	3.536	20.568	9.675
24444009	Albarracín	2.190	516	24.391	45.270	25.454
24444010	Albentosa	1.222	788	2.188	6.801	3.282
24444011	Alcaine	410	74	670	5.738	846
24444012	Alcalá de la Selva	601	78	7.431	10.495	7.659
24444013	Alcañiz	20.766	13.549	9.759	47.212	28.499
24444014	Alcorisa	3.767	2.431	1.533	12.120	4.906
24444016	Alfambra	4.395	167	580	12.244	1.846
24444017	Aliaga	829	84	3.668	19.308	3.960
24444018	Almohaja	268	35	345	2.555	447
24444019	Alobras	260	0	1.889	3.072	1.954
24444020	Alpeñés	530	-	148	2.862	280
24444021	Allepuz	792	133	1.087	6.726	1.418
24444022	Alloza	1.536	1.850	1.554	8.160	3.787
24444023	Allueva	264	23	750	1.865	839
24444024	Anadón	176	0	284	2.462	328
24444025	Andorra	5.006	951	1.620	14.136	3.822
24444026	Arcos de las Salinas	71	37	3.223	11.298	3.279
24444027	Arens de Lledó	526	347	2.287	3.417	2.766
24444028	Argente	2.319	45	201	6.258	826
24444029	Ariño	667	84	2.374	8.193	2.625
24444031	Azaila	4.051	213	0	8.144	1.225
24444032	Bádenas	322	0	1.567	3.131	1.648
24444033	Báguena	538	2.204	213	2.517	2.552
24444034	Bañón	1.806	88	1.327	5.427	1.867
24444035	Barrachina	843	59	639	2.486	909
24444036	Bea	372	0	799	2.337	892
24444037	Beceite	458	111	2.158	9.653	2.384
24444038	Belmonte de San José	303	476	2.150	3.396	2.701
24444039	Bello	2.716	19	404	5.249	1.102
24444040	Berge	558	239	1.526	4.264	1.904
24444041	Bezas	0	-	337	2.632	337
24444042	Blancas	2.228	0	383	7.380	940
24444043	Blesa	2.281	86	634	8.039	1.291
24444044	Bordón	92	48	602	2.998	673
24444045	Bronchales	775	16	2.309	5.960	2.519
24444046	Bueña	1.203	95	730	4.075	1.125
24444047	Burbáguena	1.128	126	897	3.902	1.304
24444048	Cabra de Mora	131	26	3.026	3.431	3.085
24444049	Calaceite	1.449	4.973	1.944	8.122	7.279
24444050	Calamocha	10.687	300	7.794	31.663	10.765
24444051	Calanda	2.689	7.303	511	11.225	8.486
24444052	Calomarde	305	0	1.253	2.818	1.330
24444053	Camañas	2.617	44	1.205	7.867	1.903
24444054	Camarena de la Sierra	68	-	4.146	7.954	4.163
24444055	Camarillas	1.473	0	0	5.055	368
24444056	Caminreal	2.131	0	235	4.439	767
24444059	Cantavieja	767	316	4.234	12.456	4.741
24444060	Cañada de Benatanduz	491	36	980	3.489	1.139
24444061	La Cañada de Verich	0	0	976	1.086	976
24444062	Cañada Vellida	532	37	0	2.330	170
24444063	Cañizar del Olivar	38	20	706	2.229	735
24444064	Cascante del Río	573	47	352	3.238	542
24444065	Castejón de Tornos	882	0	805	3.091	1.025
24444066	Castel de Cabra	329	124	476	2.944	683
24444067	Castelnou	1.620	92	124	3.665	621
24444068	Castelserás	1.578	734	0	3.152	1.129
24444070	El Castellar	272	20	3.464	5.033	3.552
24444071	Castellote	1.354	1.361	4.558	23.518	6.258
24444074	Cedrillas	1.322	95	1.583	7.357	2.008
24444075	Celadas	4.248	96	485	10.045	1.642
24444076	Cella	6.818	74	1.190	12.468	2.969
24444077	La Cerollera	54	28	3.651	3.375	3.693
24444080	La Codoñera	346	767	134	2.097	987
24444082	Corbalán	781	63	4.220	8.244	4.479
24444084	Cortes de Aragón	569	149	552	2.443	843
24444085	Cosa	1.615	38	1.038	5.481	1.480
24444086	Cretas	1.257	2.502	1.254	5.253	4.070
24444087	Crivillén	705	19	1.481	4.202	1.676
24444088	La Cuba	95	-	106	651	130
24444089	Cubla	569	64	1.349	4.863	1.555
24444090	Cucalón	769	0	484	3.193	677
24444092	El Cuervo	0	0	225	2.076	225
24444093	Cuevas de Almudén	682	-	683	3.585	853
24444094	Cuevas Labradas	593	21	1.142	4.081	1.311
24444096	Ejulve	568	21	3.351	10.949	3.514
24444097	Escorihuela	1.156	0	1.447	5.699	1.736
24444099	Escucha	197	68	0	4.157	117
24444100	Estercuel	124	65	2.445	5.559	2.540
24444101	Ferreruela de Huerva	1.053	0	102	2.044	365
24444102	Fonfria	441	0	841	2.058	951
24444103	Formiche Alto	717	114	4.665	7.817	4.958
24444105	Fórnoles	162	308	2.963	3.263	3.312
24444106	Fortanete	433	28	12.069	16.821	12.206
24444107	Foz-Calanda	710	299	561	3.787	1.038
24444108	La Fresneda	485	1.850	2.047	3.948	4.019
24444109	Frias de Albarracín	331	0	3.135	5.079	3.218
24444110	Fuenferrada	840	18	509	2.453	737
24444111	Fuentes Calientes	1.003	0	-	2.501	251

Ident. INE	Nombre_Municipio	Residuo herbáceo (ton)	Residuo agrícola (ton)	Residuo forestal (ton)	Superficie munip. (ha)	Toneladas totales
24444112	Fuentes Claras	2.193	0	89	3.691	638
24444113	Fuentes de Rubielos	76	40	1.976	3.891	2.035
24444114	Fuentespalda	281	1.218	2.156	3.899	3.444
24444115	Galve	867	82	250	6.188	549
24444116	Gargallo	139	23	1.159	3.008	1.217
24444117	Gea de Albarracín	692	0	1.763	5.750	1.936
24444118	La Ginebrosa	1.750	919	2.815	8.010	4.172
24444119	Griegos	271	21	2.397	3.177	2.486
24444120	Guadalaviar	184	24	2.289	2.808	2.358
24444121	Gúdar	296	65	3.455	6.077	3.595
24444122	Híjar	9.210	799	1.487	16.536	4.589
24444123	Hinojosa de Jarque	684	-	0	3.647	171
24444124	La Hoz de la Vieja	748	18	655	4.373	861
24444125	Huesa del Común	1.330	0	530	6.169	863
24444126	La Iglesia del Cid	96	20	728	4.029	772
24444127	Jabaloyas	209	0	3.733	6.173	3.785
24444128	Jarque de la Val	937	-	234	2.923	468
24444129	Jatitel	604	57	0	1.084	208
24444130	Jorcas	532	0	0	2.620	133
24444131	Josa	93	49	331	2.823	403
24444132	Lagueruela	1.110	0	0	2.632	278
24444133	Lanzuela	295	-	348	1.422	422
24444135	Libros	0	1.866	619	3.791	2.484
24444136	Lidón	1.068	44	165	4.040	476
24444137	Linares de Mora	537	212	6.984	11.627	7.329
24444138	Loscos	1.864	0	1.115	7.178	1.581
24444141	Lledó	286	192	627	1.561	891
24444142	Maicas	139	0	533	2.474	568
24444143	Manzanera	1.186	227	7.386	16.865	7.910
24444144	Martín del Río	1.200	110	928	5.488	1.338
24444145	Mas de las Matas	1.468	80	154	2.999	601
24444146	La Mata de los Olmos	573	88	632	2.373	864
24444147	Mazaleón	1.560	6.061	2.560	8.625	9.011
24444148	Mezquita de Jarque	985	-	219	3.114	465
24444149	Mirambel	231	49	340	4.547	447
24444150	Miravete de la Sierra	150	-	0	3.651	38
24444151	Molinos	739	182	1.901	7.961	2.267
24444152	Monforte de Moyuela	1.324	0	369	4.774	700
24444153	Monreal del Campo	5.031	-	518	8.905	1.776
24444154	Monroyo	948	259	5.905	7.924	6.402
24444155	Montalbán	581	36	2.466	8.204	2.647
24444156	Monteagudo del Castillo	770	66	741	4.436	1.000
24444157	Monterde de Albarracín	199	0	953	4.521	1.003
24444158	Mora de Rubielos	1.377	350	9.166	16.623	9.861
24444159	Moscardón	160	0	2.078	2.693	2.118
24444160	Mosqueruela	542	112	18.302	26.503	18.549
24444161	Muniesa	4.154	549	2.509	12.980	4.097
24444163	Noguera de Albarracín	106	0	3.302	4.744	3.328
24444164	Nogueras	423	0	505	1.885	611
24444165	Nogueruelas	221	76	7.194	9.949	7.325
24444167	Obón	308	171	826	6.838	1.074
24444168	Odón	2.775	75	539	7.424	1.308
24444169	Ojos Negros	3.021	110	950	9.092	1.814
24444171	Olba	67	45	1.187	2.099	1.249
24444172	Oliete	1.825	908	950	8.548	2.314
24444173	Los Olmos	1.004	334	1.288	4.397	1.873
24444174	Orihuela del Tremedal	876	38	4.356	7.152	4.613
24444175	Orrios	1.359	46	387	4.423	773
24444176	Palomar de Arroyos	231	137	426	3.362	620
24444177	Pancrudo	2.234	68	957	10.012	1.584
24444178	Las Parras de Castellote	316	43	2.443	4.213	2.565
24444179	Peñarroya de Tastavins	450	392	4.156	8.328	4.661
24444180	Peracense	483	80	618	2.866	819
24444181	Peralejos	498	0	689	3.610	814
24444182	Perales del Alfambra	2.939	34	371	10.424	1.140
24444183	Pitarque	0	0	1.799	5.435	1.799
24444184	Plou	409	310	-	1.721	412
24444185	El Pobo	1.596	41	86	6.360	525
24444187	La Portellada	329	557	1.040	2.137	1.680
24444189	Pozondón	525	74	1.063	6.764	1.268
24444190	Pozuel del Campo	1.146	0	332	2.785	618
24444191	La Puebla de Híjar	4.176	48	0	6.078	1.092
24444192	La Puebla de Valverde	3.134	225	10.361	28.278	11.369
24444193	Puertomingalvo	375	112	5.186	10.362	5.392
24444194	Ráfales	128	509	2.724	3.561	3.265
24444195	Rillo	1.045	0	0	5.331	261
24444196	Riodeva	75	51	867	3.434	936
24444197	Ródenas	1.123	0	365	4.426	646
24444198	Royuela	364	34	1.612	3.250	1.737
24444199	Rubiales	121	-	2.034	2.742	2.065
24444200	Rubielos de la Cérda	910	126	1.356	6.690	1.710
24444201	Rubielos de Mora	494	78	3.531	6.371	3.732
24444203	Salcedillo	168	0	1.009	1.689	1.051
24444204	Saldón	209	0	1.778	2.837	1.830
24444205	Samper de Calanda	7.071	327	722	14.279	2.816
24444206	San Agustín	1.154	203	1.239	5.657	1.730
24444207	San Martín del Río	351	533	0	1.658	621
24444208	Santa Cruz de Nogueras	317	0	496	1.518	576
24444209	Santa Eulalia	4.639	0	108	8.097	1.268
24444210	Sarrión	2.367	1.107	7.109	14.044	8.808
24444211	Segura de los Baños	562	117	2.683	5.415	2.940
24444212	Seno	63	33	240	1.785	289
24444213	Singra	2.380	-	307	3.672	902
24444215	Terriente	561	34	1.639	4.798	1.813
24444216	Teruel	10.891	297	10.659	44.041	13.679
24444217	Toril y Masegoso	216	0	2.266	3.067	2.320
24444218	Tormón	0	0	2.000	2.934	2.000
24444219	Tornos	1.701	0	1.136	4.895	1.561
24444220	Torraiba de los Sisones	1.393	-	424	4.480	772
24444221	Torreclilla de Alcañiz	448	1.287	385	2.676	1.784

Ident. INE	Nombre_Municipio	Residuo herbáceo (ton)	Residuo agrícola (ton)	Residuo forestal (ton)	Superficie munip. (ha)	Toneladas totales
24444222	Torrejilla del Rebollar	2.206	97	1.950	6.345	2.599
24444223	Torre de Arcas	80	42	2.312	3.428	2.375
24444224	Torre de las Arcas	189	43	754	3.717	844
24444225	Torre del Compte	191	1.845	815	1.946	2.708
24444226	Torreacárcel	2.142	0	249	3.554	785
24444227	Torre los Negros	773	80	185	2.915	459
24444228	Torremocha de Jiloca	1.549	-	303	3.394	690
24444229	Torres de Albarracín	384	-	1.363	2.831	1.459
24444230	Torrevelilla	785	489	1.372	3.344	2.058
24444231	Torrijas	382	0	3.211	5.734	3.307
24444232	Torrijo del Campo	1.684	24	714	4.404	1.159
24444234	Tramacastiel	205	0	2.644	4.729	2.696
24444235	Tramacastilla	259	-	849	2.481	913
24444236	Tronchón	62	32	494	5.711	542
24444237	Urrea de Gaén	1.878	306	326	4.112	1.101
24444238	Utrillas	554	106	344	3.982	589
24444239	Valadoche	0	0	577	1.502	577
24444240	Valbona	436	25	1.784	4.072	1.917
24444241	Valdealgorfa	933	3.983	330	4.693	4.547
24444243	Valdecuenca	141	0	1.645	1.864	1.681
24444244	Valdelinares	54	28	2.485	5.508	2.527
24444245	Valdeltormo	234	924	764	1.600	1.746
24444246	Valderrobres	2.032	4.142	5.088	12.400	9.738
24444247	Valjunquera	1.004	2.224	1.238	4.184	3.713
24444249	El Vallecillo	0	-	1.666	2.159	1.666
24444250	Veguillas de la Sierra	153	0	916	1.367	954
24444251	Villafranca del Campo	4.261	-	771	6.655	1.836
24444252	Villahermosa del Campo	1.070	-	139	1.920	407
24444256	Villanueva del Rebollar de la Sierra	733	-	454	1.899	637
24444257	Villar del Cobo	125	0	2.163	5.413	2.194
24444258	Villar del Salz	688	24	1.229	3.869	1.425
24444260	Villariuengo	393	115	3.411	15.789	3.624
24444261	Villarquemado	3.521	-	883	5.643	1.763
24444262	Villarroya de los Pinares	395	0	2.005	6.641	2.103
24444263	Villastar	815	30	520	3.905	754
24444264	Villel	809	45	2.228	8.538	2.475
24444265	Vinaceite	2.793	0	0	5.007	698
24444266	Visiedo	2.084	34	345	5.553	900
24444267	Vivel del Río Martín	1.249	36	1.359	5.116	1.708
24444268	La Zoma	79	0	304	1.450	324
24453076	Comunidad de la Pardina de la Sierra	638	31	-	1.222	191
24453077	El Franco	-	-	0	42	0
25050001	Abanto	777	93	1.638	6.384	1.925
25050002	Acered	82	5.039	759	3.040	5.819
25050003	Agón	1.448	679	-	1.852	1.041
25050004	Aguarón	178	5.401	1.047	3.662	6.492
25050005	Aguilón	2.107	35	452	5.945	1.013
25050006	Ainzón	341	7.887	406	4.046	8.379
25050007	Aladrén	120	395	649	2.106	1.075
25050008	Alagón	3.121	0	157	2.418	937
25050009	Alarba	140	3.800	482	1.900	4.317
25050010	Alberite de San Juan	311	691	0	1.123	769
25050011	Albeta	0	0	-	265	0
25050012	Alborge	308	0	0	484	77
25050013	Alcalá de Ebro	976	0	230	987	474
25050014	Alcalá de Moncayo	461	78	153	1.376	346
25050015	Alconchel de Ariza	1.377	52	485	3.485	881
25050016	Aldehuela de Liestos	604	28	1.386	3.804	1.565
25050017	Alfajarín	6.062	650	60	13.830	2.226
25050018	Alfamén	6.299	7.579	-	10.204	9.154
25050019	Alforque	503	82	-	1.062	208
25050020	Alhama de Aragón	518	229	172	3.114	530
25050021	Almochuel	1.666	0	0	3.200	417
25050022	La Almolida	7.104	310	246	13.133	2.332
25050023	Almonacid de la Cuba	2.178	593	0	5.521	1.138
25050024	Almonacid de la Sierra	1.381	8.750	325	5.412	9.421
25050025	La Almunia de Doña Godina	964	11.247	594	5.665	12.081
25050026	Alpartir	281	1.695	615	3.254	2.380
25050027	Ambel	1.099	250	1.227	6.146	1.752
25050028	Anento	663	0	160	2.152	326
25050029	Aniñón	0	8.040	1.427	5.246	9.467
25050030	Añón de Moncayo	668	81	845	6.419	1.093
25050031	Aranda de Moncayo	1.050	25	2.855	9.120	3.142
25050032	Arándiga	641	989	0	5.022	1.149
25050033	Ardisa	556	38	1.107	2.728	1.284
25050034	Ariza	3.538	239	2.525	10.308	3.649
25050035	Artieda	310	-	480	1.357	557
25050036	Asín	420	60	51	1.847	216
25050037	Atea	702	2.300	749	3.467	3.225
25050038	Ateca	1.222	1.651	1.726	8.471	3.682
25050039	Azuara	7.645	431	489	16.581	2.831
25050040	Badules	731	0	505	2.009	688
25050041	Bagüés	40	21	2.253	3.072	2.285
25050042	Balconchán	464	41	130	1.940	287
25050043	Bárboles	1.792	56	0	1.570	504
25050044	Bardallur	1.316	130	0	2.734	459
25050045	Belchite	13.157	2.940	400	27.368	6.630
25050046	Belmonte de Gracián	342	2.952	1.260	4.368	4.296
25050047	Berdejo	293	19	758	1.939	850
25050048	Berrueco	481	-	268	1.950	388
25050050	Bijuesca	1.193	76	854	5.708	1.228
25050051	Biota	11.097	87	212	12.880	3.073
25050052	Bisimbre	890	108	-	1.122	331
25050053	Boquiñeni	1.992	38	133	1.887	669
25050054	Bordalba	1.641	139	334	4.158	883
25050055	Borja	3.950	4.149	2.000	10.729	7.136
25050056	Botorrita	894	54	-	1.981	278
25050057	Brea de Aragón	0	872	-	1.338	872
25050058	Bubierca	85	0	654	2.954	675
25050059	Bujaraloz	8.235	131	-	12.092	2.190

Ident. INE	Nombre_Municipio	Residuo herbáceo (ton)	Residuo agrícola (ton)	Residuo forestal (ton)	Superficie munip. (ha)	Toneladas totales
25050060	Bulbiente	750	1.313	68	2.544	1.569
25050061	Bureta	390	996	-	1.191	1.093
25050062	El Burgo de Ebro	2.551	42	0	2.486	680
25050063	El Buste	136	322	0	761	356
25050064	Cabañas de Ebro	1.035	-	114	855	372
25050065	Cabolafuente	1.550	31	355	3.924	773
25050066	Cadrete	287	0	0	1.186	72
25050067	Calatayud	2.812	2.663	3.950	15.509	7.316
25050068	Calatorao	2.662	3.178	-	4.815	3.844
25050069	Calcena	0	0	1.319	6.474	1.319
25050070	Calmarza	641	19	272	2.815	451
25050071	Campillo de Aragón	1.355	0	0	3.686	339
25050072	Carenas	0	0	477	3.122	478
25050073	Cariñena	1.151	18.760	-	8.251	19.048
25050074	Caspe	18.470	14.028	6.226	50.315	24.871
25050075	Castejón de Alarba	0	2.795	385	1.756	3.180
25050076	Castejón de las Armas	0	0	0	1.619	0
25050077	Castejón de Valdejasa	2.649	69	5.105	11.012	5.837
25050078	Castiliscar	3.752	129	270	4.068	1.336
25050079	Cervera de la Cañada	694	2.826	0	2.922	2.999
25050080	Cerveruela	44	23	1.139	2.349	1.173
25050081	Cetina	3.400	94	820	7.876	1.764
25050082	Cimballa	313	49	458	3.195	586
25050083	Cinco Olivas	170	-	-	225	42
25050084	Clarés de Ribota	440	93	400	1.870	603
25050085	Codo	501	0	-	1.136	125
25050086	Codos	293	907	2.080	6.269	3.061
25050087	Contamina	585	22	174	1.402	342
25050088	Cosuenda	320	3.208	867	3.168	4.155
25050089	Cuarte de Huerva	0	0	-	895	0
25050090	Cubel	1.794	22	1.332	5.862	1.802
25050091	Las Cuerlas	948	0	444	3.258	680
25050092	Chiprana	2.503	1.294	169	3.898	2.088
25050093	Chodes	125	84	0	1.597	115
25050094	Daroca	1.716	562	1.426	5.205	2.416
25050095	Ejea de los Caballeros	83.094	1.541	3.716	60.992	26.031
25050096	Embid de Ariza	934	0	824	4.127	1.057
25050098	Encinacorba	463	2.323	1.209	3.674	3.648
25050099	Épila	8.934	4.798	880	19.432	7.911
25050100	Erla	2.819	-	0	1.896	705
25050101	Escatrón	3.666	1.516	802	9.510	3.234
25050102	Fabara	2.064	6.701	1.882	10.162	9.099
25050104	Farlete	4.613	228	0	10.412	1.382
25050105	Fayón	578	1.235	1.787	6.713	3.167
25050106	Los Fayos	0	0	0	388	0
25050107	Figuieruelas	1.933	0	-	1.687	483
25050108	Fombuena	131	0	1.174	2.637	1.207
25050109	El Frago	149	0	3.106	3.376	3.143
25050110	El Frasno	372	5.515	1.144	4.864	6.752
25050111	Fréscano	1.941	0	-	1.841	485
25050113	Fuendejalón	1.728	9.944	281	7.583	10.657
25050114	Fuendetodos	1.430	80	2.544	6.220	2.981
25050115	Fuentes de Ebro	10.005	480	0	14.173	2.982
25050116	Fuentes de Jiloca	186	1.303	539	2.735	1.889
25050117	Gallocanta	1.081	-	207	2.971	477
25050118	Gallur	4.646	0	0	4.172	1.162
25050119	Gelsa	6.025	206	0	7.204	1.713
25050120	Godojos	287	188	0	1.677	260
25050121	Gotor	447	256	205	1.552	572
25050122	Grisel	478	135	-	1.451	255
25050123	Grisén	525	55	-	487	186
25050124	Herrera de los Navarros	3.745	1.064	1.854	10.501	3.854
25050125	Ibdes	1.527	422	798	5.631	1.602
25050126	Illueca	571	688	284	2.486	1.115
25050128	Isuerre	249	26	277	2.005	365
25050129	Jaraba	788	176	1.493	4.281	1.865
25050130	Jarque de Moncayo	675	1.307	471	4.300	1.946
25050131	Jaulín	1.205	201	504	4.605	1.006
25050132	La Joyosa	923	-	-	652	231
25050133	Lagata	1.262	46	-	2.365	361
25050134	Langa del Castillo	2.091	45	696	5.013	1.264
25050135	Layana	207	-	-	369	52
25050136	Lécera	4.441	870	208	10.920	2.188
25050137	Leciñena	6.835	565	3.430	17.864	5.703
25050138	Lechón	953	-	-	1.746	238
25050139	Letux	1.468	319	0	3.015	686
25050140	Litago	380	30	493	1.530	618
25050141	Lituénigo	417	28	514	1.138	646
25050142	Lobera de Onsella	85	45	1.030	3.218	1.096
25050143	Longares	1.057	6.885	-	4.596	7.149
25050144	Longás	0	0	1.484	4.923	1.484
25050146	Lucena de Jalón	682	776	-	1.031	946
25050147	Luceni	3.075	0	0	2.708	769
25050148	Luesia	1.687	207	1.642	12.683	2.270
25050149	Luesma	469	0	1.460	2.940	1.577
25050150	Lumpiaque	1.095	201	0	2.955	474
25050151	Luna	15.449	312	8.251	30.892	12.425
25050152	Maella	1.912	12.882	5.447	17.468	18.807
25050153	Magallón	2.598	3.086	0	7.861	3.735
25050154	Mainar	1.515	53	820	3.402	1.251
25050155	Malanquilla	890	74	537	3.663	833
25050156	Maleján	0	0	-	8	0
25050157	Malón	423	120	-	566	226
25050159	Maluenda	78	5.921	240	4.009	6.181
25050160	Mallén	3.973	32	-	3.734	1.025
25050161	Manchones	646	118	802	2.683	1.082
25050162	Mara	890	711	-	2.109	934
25050163	María de Huerva	2.229	260	2.306	10.810	3.123
25050164	Mediana de Aragón	2.215	112	0	9.057	666
25050165	Mequinenza	4.210	7.864	8.036	30.738	16.953

Ident. INE	Nombre_Municipio	Residuo herbáceo (ton)	Residuo agrícola (ton)	Residuo forestal (ton)	Superficie munip. (ha)	Toneladas totales
25050166	Mesones de Isuela	1.095	145	348	4.855	767
25050167	Mezalocha	1.663	717	1.324	6.064	2.457
25050168	Mianos	362	0	417	1.482	507
25050169	Miedes de Aragón	1.571	1.559	918	5.538	2.870
25050170	Monegrillo	7.339	338	1.309	18.316	3.482
25050171	Moneva	1.699	220	337	6.140	982
25050172	Monreal de Ariza	2.983	197	0	6.206	943
25050173	Monterde	1.106	83	1.125	5.594	1.485
25050174	Montón	134	712	476	1.759	1.222
25050175	Morata de Jalón	812	1.130	231	4.587	1.565
25050176	Morata de Jiloca	57	2.740	647	2.309	3.401
25050177	Morés	0	2.597	0	2.146	2.597
25050178	Moros	796	3.010	626	5.350	3.835
25050179	Moyuela	1.841	106	0	4.276	566
25050180	Mozota	470	0	-	868	117
25050181	Muel	3.587	687	-	7.917	1.584
25050182	La Muela	4.066	1.231	998	14.349	3.246
25050183	Munébrega	0	7.125	561	4.099	7.686
25050184	Murero	141	51	341	1.825	428
25050185	Murillo de Gállego	517	95	2.594	5.471	2.818
25050186	Navardún	735	54	525	2.450	763
25050187	Niñuella	458	52	0	3.042	167
25050188	Nombrevilla	654	57	102	1.756	323
25050189	Nonaspe	841	4.227	4.070	11.140	8.507
25050190	Novallas	1.037	192	-	1.140	451
25050191	Novillas	3.640	0	156	2.534	1.066
25050192	Nuévalos	238	84	1.205	4.184	1.349
25050193	Nuez de Ebro	1.098	-	-	786	274
25050194	Olvés	115	2.645	0	2.018	2.674
25050195	Orcajo	300	126	1.423	2.845	1.624
25050196	Orera	165	955	989	1.982	1.985
25050197	Orés	693	0	1.558	5.452	1.732
25050198	Oseja	0	0	0	1.250	0
25050199	Osera de Ebro	1.696	1.809	45	2.456	2.278
25050200	Paniza	223	5.675	1.086	4.731	6.818
25050201	Paracuellos de Jiloca	442	3.163	256	3.166	3.530
25050202	Paracuellos de la Ribera	94	1.799	0	1.496	1.823
25050203	Pastriz	1.747	-	0	1.652	437
25050204	Pedrola	6.917	165	-	11.374	1.894
25050205	Las Pedrosas	738	41	55	1.825	280
25050206	Perdiguera	3.868	1.434	2.575	10.977	4.976
25050207	Piedratjada	1.011	57	0	2.266	309
25050208	Pina de Ebro	15.635	1.335	1.982	30.917	7.226
25050209	Pinseque	1.906	0	-	1.609	476
25050210	Los Pintanos	1.271	435	3.557	7.964	4.310
25050211	Plasencia de Jalón	1.638	614	-	3.477	1.023
25050212	Pleitas	325	-	0	214	81
25050213	Plenas	1.737	170	0	3.795	604
25050214	Pomer	50	26	1.296	3.311	1.334
25050215	Pozuel de Ariza	563	47	234	2.263	422
25050216	Pozuelo de Aragón	1.922	96	-	3.211	576
25050217	Pradilla de Ebro	1.603	20	0	2.545	420
25050218	Puebla de Albortón	2.443	338	777	7.631	1.727
25050219	La Puebla de Alfindén	1.296	68	0	1.703	392
25050220	Puendeluna	386	0	0	988	97
25050221	Purujosa	0	-	174	3.543	174
25050222	Quinto	11.566	88	0	11.826	2.980
25050223	Remolinos	889	0	0	1.851	222
25050224	Retascón	1.201	26	0	2.516	327
25050225	Ricla	1.974	10.859	255	9.067	11.607
25050227	Romanos	1.249	0	-	1.953	312
25050228	Rueda de Jalón	4.607	1.936	45	10.737	3.133
25050229	Ruesca	33	1.491	460	1.163	1.959
25050230	Sádaba	18.429	20	207	12.955	4.835
25050231	Salillas de Jalón	56	38	-	251	52
25050232	Salvatierra de Esca	287	82	3.263	8.124	3.416
25050233	Samper del Salz	452	72	-	1.149	185
25050234	San Martín de la Virgen de N	0	0	145	542	145
25050235	San Mateo de Gállego	4.172	19	249	7.162	1.311
25050236	Santa Cruz de Grió	82	1.509	216	1.951	1.745
25050237	Santa Cruz de Moncayo	103	69	0	397	95
25050238	Santa Eulalia de Gállego	140	83	2.292	2.958	2.410
25050239	Santed	681	0	238	1.781	408
25050240	Sástago	11.919	3.308	2.814	30.098	9.102
25050241	Sabiñán	0	2.551	0	1.552	2.551
25050242	Sediles	0	691	631	1.171	1.322
25050243	Sestrica	0	3.760	938	4.087	4.698
25050244	Sierra de Luna	2.095	582	426	4.339	1.531
25050245	Sigüés	1.277	51	4.319	10.176	4.690
25050246	Sisamón	1.212	66	1.117	4.155	1.486
25050247	Sobradriel	1.480	-	146	1.206	516
25050248	Sos del Rey Católico	8.039	410	4.944	21.663	7.364
25050249	Tabuena	1.452	1.571	2.112	8.572	4.046
25050250	Talamantes	332	61	467	4.694	611
25050251	Tarazona	9.001	1.047	2.000	24.401	5.297
25050252	Tauste	38.799	400	3.129	40.522	13.229
25050253	Terrer	1.427	532	437	3.338	1.326
25050254	Tierga	1.343	234	892	6.613	1.462
25050255	Tobed	61	645	982	3.239	1.642
25050256	Torralba de los Frailes	1.880	29	1.008	5.922	1.507
25050257	Torralba de Ribota	67	2.735	568	3.253	3.321
25050258	Torralbilla	988	0	556	2.586	803
25050259	Torrehermosa	1.043	29	0	2.113	290
25050260	Torrelapaja	274	0	370	1.568	438
25050261	Torrellas	232	0	0	253	58
25050262	Torres de Berrellén	2.729	725	277	5.380	1.685
25050263	Torrijo de la Cañada	1.182	832	1.876	7.457	3.004
25050264	Tosos	1.716	1.656	2.206	6.865	4.291
25050265	Trasmoz	665	68	130	1.826	364
25050266	Trasobares	739	100	756	7.176	1.040

Ident. INE	Nombre_Municipio	Residuo herbáceo (ton)	Residuo agrícola (ton)	Residuo forestal (ton)	Superficie munip. (ha)	Toneladas totales
25050267	Uncastillo	3.844	610	5.653	23.087	7.223
25050268	Undués de Lerda	655	92	957	4.299	1.212
25050269	Urrea de Jalón	550	984	-	2.564	1.121
25050270	Urriés	475	48	2.297	3.727	2.464
25050271	Used	3.327	39	1.187	8.529	2.057
25050272	Utebo	1.932	34	0	1.772	517
25050273	Valdehorna	184	123	0	795	169
25050274	Val de San Martín	448	427	941	2.566	1.480
25050275	Valmadrid	498	44	956	5.057	1.125
25050276	Valpalmas	1.562	46	64	3.979	501
25050277	Valtorres	0	495	0	329	495
25050278	Velilla de Ebro	2.843	340	-	5.979	1.051
25050279	Velilla de Jiloca	111	1.116	260	1.040	1.404
25050280	Vera de Moncayo	1.261	327	264	2.766	906
25050281	Vierlas	336	0	-	267	84
25050282	La Vilueña	0	1.239	0	859	1.239
25050283	Villadoz	957	-	303	1.718	543
25050284	Villafeliche	148	623	416	2.250	1.076
25050285	Villafranca de Ebro	2.612	46	0	6.325	699
25050286	Villalba de Perejil	257	54	-	1.321	118
25050287	Villalengua	436	1.291	1.597	4.016	2.997
25050288	Villanueva de Gállego	4.070	31	179	7.599	1.228
25050289	Villanueva de Jiloca	53	36	0	735	49
25050290	Villanueva de Huerva	2.077	1.327	1.368	7.838	3.214
25050291	Villar de los Navarros	2.329	207	0	4.950	789
25050292	Villarreal de Huerva	889	0	1.022	2.713	1.244
25050293	Villarroya de la Sierra	960	6.451	2.271	9.160	8.962
25050294	Villarroya del Campo	820	28	-	1.695	233
25050295	Vistabella	0	0	853	2.182	853
25050296	La Zaida	1.149	18	-	1.727	306
25050297	Zaragoza	30.262	2.900	4.809	97.378	15.275
25050298	Zuera	15.988	516	6.494	33.226	11.007
25050901	Biel	567	68	7.416	13.073	7.626
25050902	Marracos	1.193	22	0	1.692	320
25050903	Villamayor de Gállego	5.365	280	575	8.936	2.196