

Análisis de Ciclo de Vida de distintos escenarios de gestión forestal y de sus productos madereros

Abril de 2022

Estudio realizado por: Marcel Gómez Consultoría Ambiental.
Col·laboració: Associació de propietaris forestals Serra de Bellmunt-Collsacabra,
Associació de propietaris forestals Montnegre-Corredor, Centre de la Propietat
Forestal, Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya
Contacte: info@mixforchange.eu



Documento realizado en el marco del proyecto MixForChange (LIFE15 CCA/ES/000060)
financiado por el programa LIFE de la Unión Europea.

Summary in English

This project lays down the life cycle assessment of four forest management models and their potential wood products.

In concrete, this project considers the extraction possibilities and analyses the quantities and types of wood products to be produced over a time span of 150 years. The starting point is the same for all the management models. Among these models, two refers to low site quality, and the other two to high site quality.

Said management models and potential final products are later compared one by one using a set of six selected environmental impact indicators. The advantages and disadvantages of each model, as well as their derived products are then shown and evaluated through their quantitative results and results interpretation. The principal intention is to reflect the importance of the added value that offer wood products.

Let us emphasize that this study does not assess the importance of LIFE MixForChange forest management in terms of social benefits or biodiversity improvement. It only refers to the potential impacts and benefits related to the environment.

Among the results of this project, the carbon footprint reduction potential obtained by the traditional forest management model has been the best. Although there is no product diversification in traditional management, the European pallet provides a higher substitution coefficient than a beam. On the contrary, this method cuts all the pines in the first 30 years, which generates a lot of European pallets at the beginning, but will not generate more, in the future it will only generate firewood.

On the other hand, innovative models generate more products with greater added value. However, the potential of the Mediterranean forests in the first 150 years of adaptation to the new model does not obtain enough products of sufficient quality to overcome a traditional model where more tons of products are cut.

One of the conclusions reached in this study is that traditional management, although it has more capacity to compensate, also generates greater impacts.

It is also very interesting to see the contrast between wood forest products and their alternatives with cement, steel or plastic. For example, the comparison of the indicator of the abiotic depletion potential of fossil resources in products such as firewood, biomass (chips) and diesel, which is 15 times higher.

Tabla de contenidos

1.	Introducción.....	5
1.1.	Antecedentes e Introducción	5
1.2.	Razones para realizar el estudio.....	6
1.3.	Público previsto	7
2.	Análisis del ciclo de vida	8
2.1.	Introducción al Análisis del Ciclo de Vida.....	8
2.2.	Etapas del ciclo de vida	9
2.2.1.	Definición del objetivo y alcance del estudio	10
2.2.2.	Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV)	11
2.2.3.	Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV).....	12
2.2.4.	Interpretación del Ciclo de Vida	12
3.	Caso de Estudio.....	14
3.1.	Definición del objetivo y alcance del estudio.....	14
3.1.1.	Objetivo del estudio.....	14
3.1.2.	Alcance del estudio y límites del sistema.....	14
3.1.3.	Unidad funcional o declarada.....	15
3.1.4.	Metodología de Análisis de Impacto del Ciclo de Vida y categorías de impacto utilizadas	16
3.1.5.	Inventario y calidad de datos	18
3.1.6.	Hipótesis, consideraciones y limitaciones.....	19
3.2.	Primera fase: gestión forestal	21
3.2.1.	Unidad declarada.....	22
3.2.2.	Funciones del Sistema de producto.....	22
3.2.3.	Datos de inventario.....	23
3.3.	Segunda fase: productos madereros	24
4.	Evaluación del impacto de ciclo de vida	40
4.1.	Un escenario de gestión por hectárea durante 150 años.....	40
	Balance de carbono por modelo de gestión por hectárea a lo largo de 150 años:	42
4.2.	Una tonelada de madera seca a pie de monte	42
	Balance de carbono por tonelada de madera seca.....	44

4.3.	Una tonelada de astilla	44
4.4.	Una tonelada de leña.....	47
4.5.	Un palet de madera	50
4.6.	Un metro cúbico de viga de madera	52
4.7.	Un metro cúbico de chapa de madera	55
4.8.	Un marco de ventana de madera con visibilidad de 1 m2.....	57
5.	Comparación entre productos de madera y productos no madereros	60
6.	Estimación de la reducción de huella de carbono por el Efecto de Sustitución	69
6.1.	Introducción	69
6.2.	Coeficiente de sustitución.....	70
6.3.	Flujo de madera.....	71
6.4.	Reducción de emisión por efecto de sustitución	72
7.	Horizonte temporal 25 años	73
8.	Conclusiones	76
Anexo.	Itinerarios silvícolas	77
	CÓDIGO: GFT_A	78
	CÓDIGO: GFT_B.....	80
	CÓDIGO: GFI_A	82
	CÓDIGO: GFI_B	84
Índice de Tablas y Figuras.....		87
Figuras		87
Tablas		88
Bibliografía		90

1. Introducción

1.1. Antecedentes e Introducción

Este estudio forma parte del proyecto LIFE MIXFORCHANGE en el que participan la Associació de propietaris forestals de la Serra de Bellmunt-Collsacabra, la Associació de propietaris Forestals del Montnegre-Corredor, el Centre de la Propietat Forestal y el Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya. El objeto de este estudio es aportar valores de balance de carbono de dos de las especies forestales más importantes de Cataluña (*Pinus sylvestris* y *Quercus spp.*) desde su regeneración natural hasta su extracción a pie de pista en un horizonte temporal de 150 años (sin considerar ninguna perturbación como incendios o plagas).

En concreto, se considera tanto el carbono fijado en la madera como el carbono emitido durante las actuaciones silvícolas (emisiones debidas a la utilización de maquinaria: motosierra, desbrozadora y tractor forestal). Con esta información, se han realizado las estimaciones del secuestro de carbono en función del modelo de gestión y los productos finales. En el presente estudio de ACV, se completará el análisis a nivel forestal para, por un lado, estimar el balance de CO₂ (fósil y biogénico) de los diferentes escenarios de gestión forestal y sus productos obtenidos, y por otro, añadir otras categorías de impacto y otras fases del ciclo de vida de estos productos.

El sujeto de este estudio es una masa forestal que actúa en representación de un tipo de masa mixta muy frecuente en el ámbito del proyecto: las masas mixtas de coníferas y frondosas autóctonas. Sobre este tipo de monte se simulará la aplicación de la gestión tradicional y la gestión innovadora adoptada en el proyecto Life MixForChange durante un período de 150 años.

No se pueden evaluar todas las variantes de masa mixta conífera-frondosa porque hay demasiadas situaciones distintas. Por eso, tomamos la masa mixta de pino silvestre y robles + otras frondosas como referencia, con una proporción de partida aproximada de 60% pino albar y 40% robles y otras frondosas (en área basimétrica). Se toma esta tipología como referencia entendiendo que es una de las formaciones más representativas.

Asimilamos la gestión tradicional (GFT) a la aplicación de los modelos ORGEST (Orientacions de Gestió Forestal Sostenible de Catalunya) PsQh3, en los que se tiende a promover las frondosas frente al pino, tomando como referencia los modelos Ps03 en calidad alta y Ps09 en calidad media de Pino silvestre y considerando que una vez tome dominancia el roble se aplicaría el modelo de referencia Qh04 y Qh07 respectivamente.

Asimilamos la gestión innovadora de Life MixForChange (GFI) a un modelo exclusivo, obtenido a partir de las conclusiones obtenidas en las diferentes actuaciones del mismo proyecto, y la experiencia de técnicos forestales especializados. La distribución de referencia (densidad de pies por hectárea, área basimétrica, rotación, árboles de futuro base...) ha sido la base para determinar el itinerario durante los 150 años.

La diferencia principal entre los dos tipos de gestión se basa en su objetivo principal, donde en la gestión innovadora no se pretende priorizar la adquisición de valores económicos, sino el fomento de otros valores, entre ellos, la lucha contra el cambio climático (mitigación y adaptación del cambio climático), la regulación del ciclo hidrológico, la protección de suelos, la defensa frente la erosión eólica y de escorrentía, la producción de agua, el mantenimiento de la composición de la atmosfera, el mantenimiento de vida silvestre y biodiversidad, las funciones recreativas, paisajísticas, etc. No obstante, al mismo tiempo el monte se mantiene en paralelo el objetivo productivo. En la planificación de la silvicultura innovadora se espera obtener madera de calidad para fabricar productos madereros de larga vida útil, aumentando el efecto de retención temporal de carbono.

1.2. Razones para realizar el estudio

La finalidad de desarrollar este estudio contempla:

- Por un lado, se pretende disponer de datos del impacto ambiental de la obtención, la distribución, y el uso-fin de vida de los distintos tipos de productos de madera.
- Por otra parte, se quiere identificar los potenciales beneficios ambientales asociados a prácticas de gestión forestal encaminadas a obtener productos de madera de mayor valor añadido, así como al uso de la madera en sustitución de otros recursos empleados. De esta forma, se obtendrán argumentos que permitan poner en valor tanto los modelos de gestión forestal como los productos de madera que aporten un mayor beneficio ambiental.
- Por último, se completa el balance de carbono de los procesos de aprovechamiento de recursos forestales para incluir otras categorías de impacto y evitar así una posible transferencia de cargas entre diferentes compartimentos ambientales.

1.3. Público previsto

En primera instancia, este estudio será utilizado por los colaboradores del proyecto Life MixForChange, entre ellos: Associació de Propietaris forestals del Montnegre-Corredor, el Centre Tecnològic i Forestal de Catalunya, el Centre de la Propietat Forestal y l'Associació de Propietaris forestals de Bellmunt i Collsacabra. Además, a través de la divulgación ese proyecto tiene que llegar a un público centrado en el sector forestal. Para poder cumplir con los requisitos de las normas ISO 14040 e ISO 14044 de Análisis de Ciclo de Vida, el estudio deberá pasar por una revisión crítica si se pretende hacer públicos los resultados comparativos entre productos de madera y otros materiales.

2. Análisis del ciclo de vida

2.1. Introducción al Análisis del Ciclo de Vida

Cualquier producto, en mayor o menor medida, causa impactos en el medio ambiente a lo largo de todas las fases de su ciclo de vida (véase Figura 1) desde la extracción de materias primas necesarias para su fabricación, pasando por su producción, distribución y uso, hasta su deposición o valorización final como residuo.

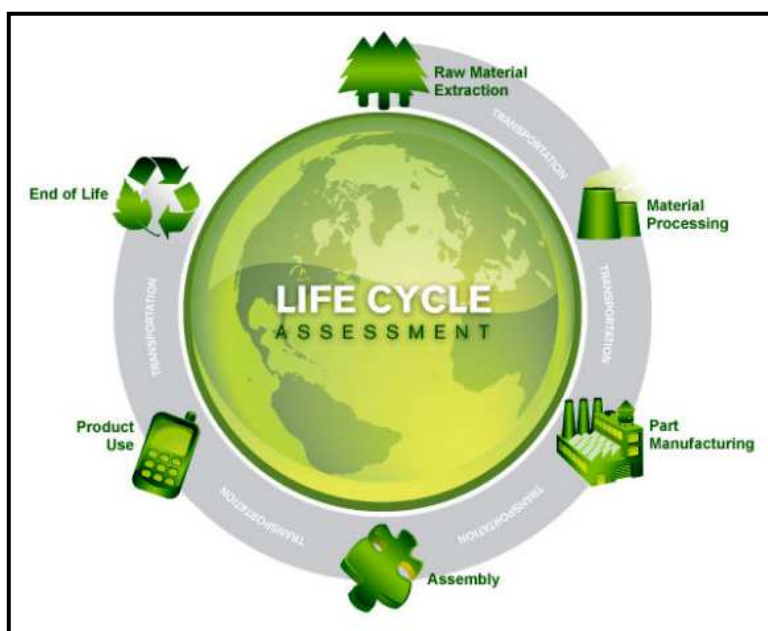


Figura 1. Concepto de Análisis del Ciclo de Vida

El **concepto de ciclo de vida** hace referencia al proceso de consideración de todos los recursos empleados y de todas las implicaciones ambientales asociadas a la vida de un producto o servicio. Esta perspectiva sugiere considerar en cualquier evaluación ambiental todas las fases de la vida del producto o servicio en cuestión.

El **Análisis del Ciclo de Vida** (ACV, o en inglés Life Cycle Assessment, LCA) es una metodología cuantitativa que permite compilar y evaluar las entradas y salidas de materia y energía y los impactos potenciales de un producto, servicio, proceso o actividad a lo largo de su ciclo de vida.

En un ACV se atribuyen al producto todos los efectos ambientales derivados del consumo de materias primas y energía necesarios para su producción, las emisiones y residuos generados durante el desempeño de la actividad productiva, así como los efectos ambientales de su transporte, uso y gestión final como residuo.

Las decisiones en un ACV se basan en las ciencias naturales y se prioriza el enfoque científico durante la toma de decisiones, intentando evitar los juicios de valor y la subjetividad. Actualmente, el ACV se aplica con una frecuencia al alza en procesos de desarrollo y mejora de productos, planificación estratégica, identificación y establecimiento de prioridades, desarrollo de políticas públicas, marketing, etc. Esta metodología también tiene un gran potencial en los sistemas de gestión ambiental de organizaciones, la evaluación del desempeño ambiental de actividades, el eco-etiquetado, las declaraciones ambientales de producto, comunicación ambiental, etc.

Además, el ACV permite poner de manifiesto cualquier traslado de contaminación desde una fase del ciclo de vida a otra, desde un medio a otro o desde un impacto a otro.

Los principios y marco de referencia del ACV están descritos en la norma UNE - EN ISO 14040: 2006 y sus requisitos y directrices en la UNE - EN ISO 14044: 2006. Estas normas anulan y remplazan la UNE - EN ISO 14041: 1998, UNE - EN ISO 14042: 2000 y UNE - EN ISO 14043: 2000, las cuales han sido revisadas técnicamente.

2.2. Etapas del ciclo de vida

Un estudio de ACV se compone de cuatro etapas (véase figura 2) interrelacionadas:

- I. Definición del objetivo y alcance
- II. Análisis de inventario del ciclo de vida
- III. Evaluación del impacto del ciclo de vida
- IV. Interpretación del ciclo de vida

El ACV es una técnica iterativa en la que sus fases utilizan los resultados de las otras, contribuyendo a la integridad y coherencia del estudio y de sus resultados. Ésta es una técnica compleja y por ello, la transparencia en su utilización es muy importante a fin de asegurar una adecuada interpretación de los resultados obtenidos. También debe mencionarse que es una de las técnicas existentes en el ámbito de la gestión y

evaluación ambiental (estudios de impacto ambiental, evaluación de riesgos, etc.) y podría no ser la más apropiada en todas las situaciones.

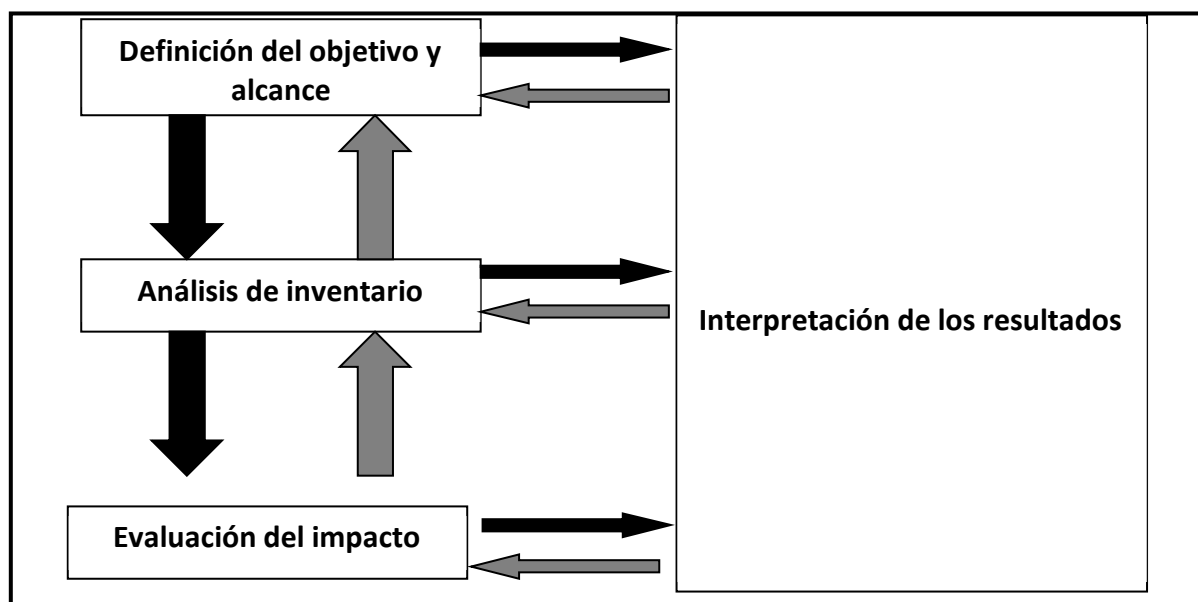


Figura 2. Etapas de ACV

El ACV trata impactos ambientales potenciales y, por lo tanto, no predice impactos ambientales reales o absolutos. Además, normalmente, no considera la evaluación económica o social, aunque la metodología se puede aplicar a estos aspectos. A continuación, se describen brevemente las cuatro etapas que componen un ACV según la norma UNE - EN ISO 14040: 2006.

2.2.1. Definición del objetivo y alcance del estudio

La definición del **objetivo** del estudio debe describir el propósito del estudio y el proceso de decisión para el cual proporcionará un soporte en la toma de decisiones ambientales. El objetivo de un ACV debe determinar la aplicación prevista, las razones para realizar el estudio, el público previsto, es decir, las personas a quienes se prevé comunicar los resultados del estudio y si se prevé utilizar los resultados en aseveraciones comparativas que se divulgarán al público. Los ACV que se utilizarán en aseveraciones comparativas divulgadas al público tienen requisitos específicos para mantener el máximo rigor posible.

El **alcance** de un ACV – incluyendo los límites del sistema, el nivel de detalle, la calidad de los datos, las suposiciones realizadas, las limitaciones del estudio, etc. – depende del

tema y del uso previsto del estudio. La profundidad y amplitud de un ACV puede diferir considerablemente dependiendo del objetivo particular perseguido.

Un ACV tiene un enfoque relativo y estructurado alrededor de una **unidad funcional o declarada**. La unidad funcional o declarada debe definir lo que se está evaluando (p. ej. La producción de 1 kWh de electricidad a partir de una instalación solar fotovoltaica doméstica en España en el año 2022). Todos los análisis subsecuentes son, por tanto, relativos a tal unidad, ya que todas las entradas y salidas se relacionan con esta. Cuando se pretende hacer algún tipo de comparación – *sólo se pueden comparar productos o servicios que cumplen una misma función* – es necesario elegir una unidad funcional o declarada referida a la función que desarrollan los productos o servicios en cuestión.

2.2.2. Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV)

Esta fase supone la **recopilación de los datos y los procedimientos de cálculo** para cuantificar las entradas y salidas pertinentes del sistema objeto de estudio. Los datos por incluir en el inventario deben recopilarse para cada proceso unitario considerado dentro de los límites del sistema objeto de estudio.

En un ICV se debería llegar en los límites del sistema a **flujos elementales**, es decir, a flujos materiales y energéticos que provengan del medio sin una transformación previa por el ser humano (p. ej. consumo de petróleo, carbón, etc.) o que vayan directamente a la naturaleza (p. ej. emisiones atmosféricas de CO₂, SO₂, etc.) sin una transformación posterior. Los flujos elementales incluyen la utilización de recursos, las emisiones al aire y los vertidos al agua y al suelo asociados al sistema.

Los datos recopilados, ya sean medidos, calculados o estimados, se utilizan para cuantificar todas las entradas y salidas de materia y energía de los distintos procesos unitarios y de la unidad funcional. En definitiva, no deja de ser un tipo de “*contabilidad ambiental*” en la que se cargan a los distintos procesos unitarios y a la unidad funcional todas sus implicaciones o cargas ambientales debidamente cuantificadas.

La realidad constata que escasos procesos industriales producen una salida única, de hecho y normalmente, los procesos industriales producen más de un producto y/o se reciclan los productos intermedios o sus residuos. En tal caso, se requiere la aplicación de **criterios de asignación** de la carga ambiental a los distintos productos, como es el caso en el estudio realizado.

2.2.3. Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)

Esta fase tiene como propósito **evaluar** la importancia de los impactos ambientales potenciales utilizando los resultados del inventario. Este proceso implica la asociación de los datos del inventario con **categorías de impacto** (p. ej. cambio climático) y con **indicadores de categoría de impacto** (p. ej. cambio climático en 100 años según modelo Impacto CML). Esta fase proporciona información para la fase de interpretación.

La evaluación obligatoriamente debe incluir los siguientes elementos:

- **Selección** de categorías de impacto, indicadores y modelos de caracterización
- **Clasificación:** asignación de los resultados del inventario a las categorías
- **Caracterización:** cálculo de los resultados del indicador que implica la conversión de los resultados del inventario a unidades equivalentes y la suma de los resultados convertidos dentro de la misma categoría (p. ej. cambio climático se expresa en unidades equivalentes de CO₂). La salida del cálculo es el resultado numérico del indicador.

Además de estos tres elementos obligatorios de la evaluación, según UNE - EN ISO 14040: 2006, los resultados numéricos de los indicadores opcionalmente también pueden normalizarse, agruparse y ponderarse, así como analizarse la calidad de los datos obtenidos (p. ej. mediante análisis de gravedad, incertidumbre y sensibilidad).

En ACV se suele trabajar con una selección de indicadores – normalmente, inferior a 10- que deben cubrir justificada y adecuadamente las repercusiones ambientales relacionadas con el producto o servicio bajo estudio y deben ser coherentes con el objetivo y alcance del estudio. Actualmente no hay suficiente base científica para poder reducir los resultados de ACV a un único número o una puntuación o indicador global, ya que tal ponderación requiere de juicios de valor.

2.2.4. Interpretación del Ciclo de Vida

La interpretación es la fase final del ACV en la que se resumen y discuten de forma comprensible para los destinatarios del estudio los **resultados** del inventario o de la evaluación o de ambos como base para las conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con el objetivo y alcance establecidos.

La interpretación comprende:

- La identificación de los asuntos significativos basados en los resultados de las fases de inventario y evaluación de un ACV
- Las conclusiones, limitaciones y recomendaciones del estudio

La realización de un ACV conlleva la elaboración de un **informe del ACV** en el que se documentan las distintas fases del ACV, los resultados y conclusiones y se tratan los datos y su calidad, los métodos, las suposiciones y las limitaciones del estudio.

Finalmente, con el objetivo de facilitar e incrementar la credibilidad de un ACV, éste puede someterse a un proceso de **revisión crítica**. La revisión crítica tiene como propósito verificar si un ACV ha cumplido con los requisitos de la metodología, de datos, de interpretación y de información, y si es coherente con los principios.

Las revisiones críticas suelen ser realizadas por expertos internos o externos al ACV o por un panel de partes interesadas. La utilización de los resultados de un ACV para respaldar aseveraciones comparativas, así como un ACV utilizado en público, requiere de una revisión crítica, ya que es probable que su aplicación afecte a partes interesadas externas al propio ACV. El alcance y el tipo de revisión crítica se definen en la fase de objetivo y alcance del ACV.

3. Caso de Estudio

3.1. Definición del objetivo y alcance del estudio

3.1.1. Objetivo del estudio

El primer objetivo del presente estudio es cuantificar el impacto sobre el medio ambiente de cuatro tipos de gestión diferente que proporcionan distintos productos a través de su cadena de intervenciones forestales a lo largo de los 150 años. Para conseguirlo, se utilizará el análisis de ciclo de vida tanto para:

- Un escenario de gestión por hectárea durante 150 años
- Una tonelada de madera seca a pie de pista
- Seis tipos de productos madereros derivados del aprovechamiento forestal, esos seis productos tendrán distintas características de transformación y duración de vida útil. Los productos a analizar son: astilla-G30, leña, palét de madera, viga de madera, chapa de madera y marco de ventana.

Los resultados de ACV obtenidos serán utilizados en la estimación del balance de carbono y el efecto positivo de sustitución que tienen los productos de madera frente sus equivalentes de otras materias.

3.1.2. Alcance del estudio y límites del sistema

El alcance de este estudio engloba los cuatro escenarios de gestión, tradicional e innovadora, de calidad de estación alta y baja y todos sus derivados aguas abajo, desde la obtención de la materia prima (gestión forestal) hasta su fin de vida. Todas las actividades vinculadas al ciclo de vida de dichos sujetos tienen lugar dentro del territorio nacional, especialmente las asociadas a las etapas de producción y transporte de materias primas se realizan en Cataluña.

Cuando sea oportuno, se pretende analizar el ciclo de vida completo de los productos mencionados. Las fases incluidas en el ciclo de vida son: la obtención de madera en el bosque, su transporte y transformación en los productos analizados, su distribución y comercialización, el uso y mantenimiento, y en su caso, la gestión de los residuos en los

que se convertirán cuando finalice su vida útil y los posibles beneficios de reutilización, recuperación o reciclaje.

Para el análisis se divide el sistema de estudio en dos fases: la primera es la **gestión forestal** y la segunda fase de **productos madereros**. En relación a los productos madereros, cada uno presenta una unidad funcional o declarada distinta.

El itinerario de cada escenario de gestión y sus derivados productos se detallan en la Figura 3:

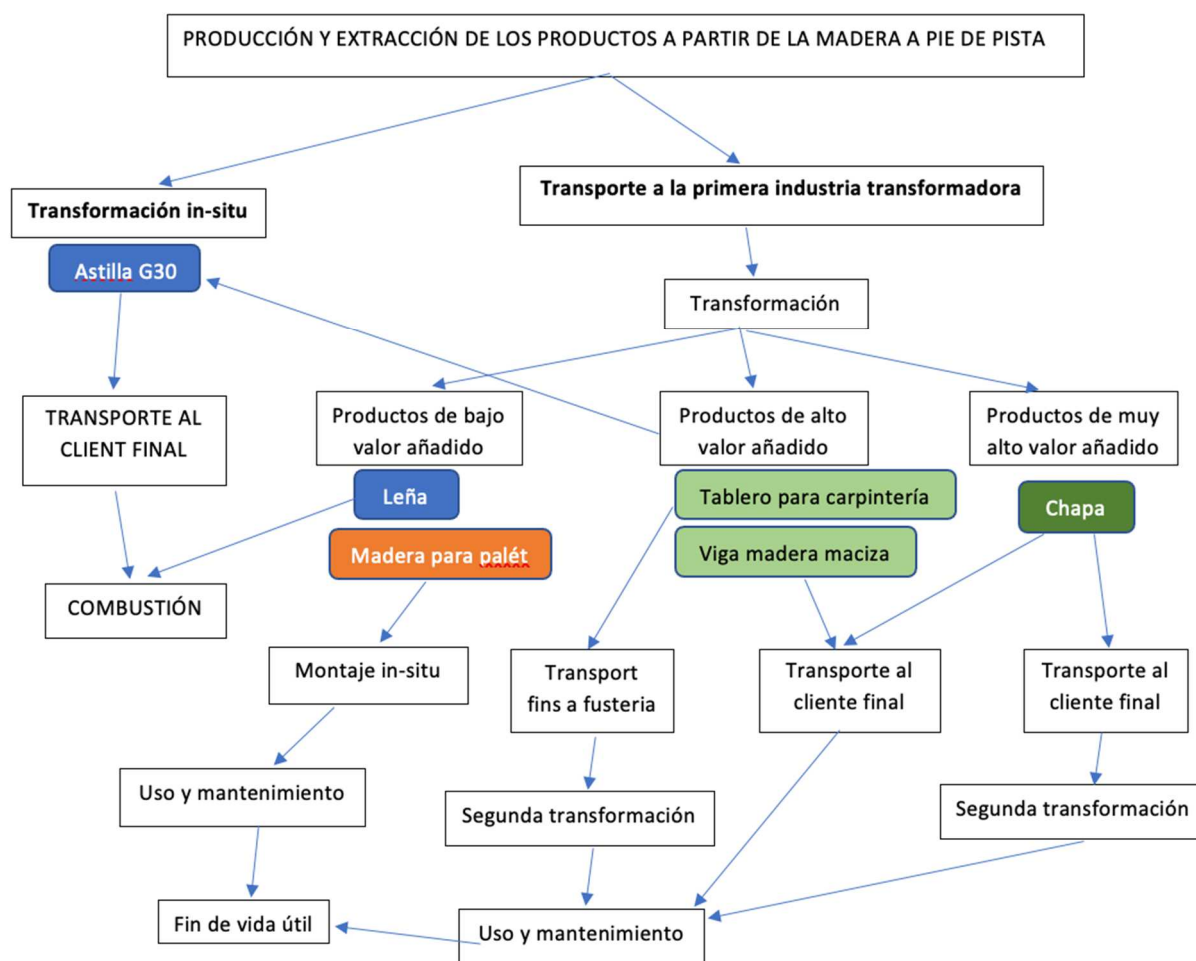


Figura 3. Sistema de estudio

3.1.3. Unidad funcional o declarada

La unidad funcional define la forma en que se cuantifican las funciones identificadas por las características de comportamiento (prestaciones) del producto. Se trata de una

referencia por la que se normalizan los flujos de material, los resultados de ACV y cualquier otra información. Esto permite la comparación con cualquier otro sistema de producto que haya sido evaluado conforme a la misma unidad funcional.

Se detallarán las unidades de cada producto objeto de estudio en sus correspondientes apartados [3.2.](#) y [3.3.](#)

3.1.4. Metodología de Análisis de Impacto del Ciclo de Vida y categorías de impacto utilizadas

En la fase de análisis del impacto ambiental se llevarán a cabo las etapas de clasificación y caracterización de impactos, pero NO las fases opcionales de normalización y ponderación puesto que introducen subjetividad en los resultados.

Se aplicará el método de evaluación de impactos indicado en las normas UNE-EN 16485 y UNE-EN 15804 de declaraciones ambientales de producto y que, a su vez, se basan en la metodología PEF (Product Environmental Footprint) recomendada por la Comisión Europea. Para simplificar la interpretación y comunicación de los resultados, se han seleccionado las categorías de impacto más relevantes para los productos de madera.

El análisis medioambiental se realizará utilizando el software SimaPro en su versión 9.2. Para el cálculo los indicadores del impacto ambiental potencial se ha utilizado *EF Method (adapted) V1.01*.

Se ha incluido las siguientes categorías de indicadores de impacto:

- **Potencial de Cambio Climático (perspectiva de 100 años) – GWP-Total**

El Potencial de Cambio Climático hace referencia a la contribución potencial del sistema estudiado al aumento de la temperatura media del planeta. Este aumento se produce a consecuencia del efecto invernadero provocado por el aumento de la concentración de gases poli-atómicos, como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el vapor de agua, el óxido nitroso (N₂O), etc. Estos gases absorben en buena parte la radiación infrarroja que emite la superficie terrestre, de tal manera que el balance energético entre esta radiación y la emitida por el Sol queda desequilibrado, con repercusiones sobre el clima del planeta.

Aunque el periodo de estudio es de 150 años, se ha tomado en consideración un horizonte temporal del impacto de 100 años, con el objetivo de incorporar los impactos

a corto y medio plazo. Esto tiene en consideración el compromiso entre los gases de vida corta y larga, porque cada tonelada de emisiones de CO₂ ejercerá sus efectos de calentamiento durante muchos cientos de años, mientras que, por ejemplo, el metano lo hace solo durante unas pocas décadas.

Este indicador incluye todos los gases de efecto invernadero incluidos en el total de GWP contando con la absorción y las emisiones de dióxido de carbono biogénico y el carbono biogénico almacenado en el producto. La unidad de referencia de esta categoría de impacto es el Kg de dióxido de carbono equivalente (Kg CO₂-eq.).

- **Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono estratosférico – ODP**

El Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono estratosféricos se refiere a la capacidad de degradación de la capa de ozono estratosférico por las sustancias agotadoras del ozono, como los gases que contienen cloro y bromo de larga duración (por ejemplo, CFC, HCFC, halones, etc.).

La unidad de referencia es el Kg de Clorofluorcarbonos equivalente (Kg CFC 11 eq.).

- **Potencial de Acidificación – AP**

El potencial de acidificación es una medida de las emisiones que tienen efectos acidificantes en el medio ambiente. Describe la capacidad de una molécula para aumentar la concentración de iones de hidrógeno (H⁺) en presencia de agua y, por lo tanto, reducir el nivel de pH. Las emisiones con un impacto de acidificación incluyen SO_x, NO_x y H₂S, que pueden reaccionar en el aire para convertirse en ácido sulfúrico y ácido nítrico, caer como "lluvia ácida" y contaminar el suelo, los cuerpos de agua, los organismos y los edificios en el proceso. Cuanto menor sea el potencial de acidificación, menor será el riesgo de formación de lluvia ácida y sus daños ambientales asociados, como la muerte de peces y bosques, así como daños a los materiales de construcción. La unidad de referencia de esta categoría de impacto es el mol hidrogeno equivalente (mol H⁺ eq.).

- **Potencial de Eutrofización Terrestre – EP**

Esta categoría hace referencia al enriquecimiento del ecosistema terrestre con elementos nutritivos, debido a la emisión de compuestos nitrogenados. La eutrofización terrestre conlleva a multitudes efectos que incluyen pérdidas de biodiversidad, cambios en el funcionamiento de los ecosistemas e impactos en el bienestar humano.

La unidad de referencia de esta categoría de impacto es el mol nitrógeno equivalente (mol N eq.).

- **Potencial de Formación de Ozono Troposférico – POCP**

Esta categoría hace referencia a la formación de ozono a nivel del suelo de la troposfera causada por la oxidación fotoquímica de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y monóxido de carbono (CO) en presencia de óxidos de nitrógeno (NOx) y luz solar. Las altas concentraciones de ozono troposférico a nivel del suelo dañan la vegetación, las vías respiratorias humanas y los materiales hechos por el hombre a través de la reacción con materiales orgánicos. La oxidación fotoquímica es la contaminación atmosférica secundaria, también conocida como smog de verano.

La unidad de referencia es el Kg de emisión de compuestos orgánicos volátiles distintos del metano equivalente (Kg NMVOC eq.).

- **Potencial de Agotamiento Abiótico de recursos no fósiles (minerales y metales) – ADP-elementos**

Esta categoría hace referencia a la función de la tasa de extracción anual y la reserva geológica de los recursos minerales y metales.

La unidad de referencia es el Kg de Antimonio equivalente (Kg Sb. eq.).

- **Potencial de Agotamiento Abiótico de recursos fósiles – ADP-fósil**

Esta categoría hace referencia a la función de la tasa de extracción anual y la reserva geológica de los recursos fósiles.

La unidad de referencia es Mega Julio (MJ).

3.1.5. Inventario y calidad de datos

Los datos primarios sobre los escenarios de gestión forestal, los flujos de salida de la primera fase y el ciclo de vida de la astilla y la leña, además del mantenimiento del marco de ventana han sido proporcionados por APF Bellmunt i Collsacabra, siendo tecnológica y geográficamente representativos de la región.

Los datos secundarios utilizados provienen de la base de datos Ecoinvent 3.6 de reconocido prestigio internacional.

El tratamiento y procesado de los datos se ha realizado acorde a los estándares internacionales ISO 14025, ISO 14040 y 14044 para la preparación del estudio de análisis

del ciclo de vida y de los inventarios seleccionando los factores de caracterización establecidos en la UNE 15804.

3.1.6. Hipótesis, consideraciones y limitaciones

Según la UNE-EN 16485:2014, con el fin de reflejar la naturaleza biogénica de la madera, su renovabilidad y su neutralidad de carbono potencial, los límites del sistema entre la naturaleza y el sistema del producto se definen en la siguiente manera:

- La madera que entra al sistema del producto desde la naturaleza cuenta para el contenido de energía y el contenido de carbono biogénico como propiedades inherentes del material.
- Todos los procesos técnicos relacionados a las operaciones forestales destinadas a producir madera se consideran dentro de los límites del sistema y están sometidos en las asignaciones de co-productos.
- Se incluyen los impactos de origen humano sobre los depósitos de carbono forestal que conduce a la deforestación.

Procesos de asignación: Siempre que ha sido posible, se ha evitado la asignación, pero para los consumos de energía, la producción de residuos y la distribución se ha tenido que realizar una asignación a partir de consideraciones físicas de masa. Gracias al tipo de datos del inventario proporcionado por APF Serra de Bellmunt i Collsacabra, no ha sido necesario la asignación de flujos de salida de la primera fase (gestión forestal), pues son valores relativos esperados ya asignados basando en sus propios conocimientos y experiencias sobre el comportamiento del monte y las operaciones silvícolas en la región. Estos valores están recogidos en la Tabla 1:

Tabla 1. Flujo de salidas por escenario de gestión – volumen de madera comercial seca destinada a cada tipo de producto

Producto	GFT_A (m3/ha)	GFT_B (m3/ha)	GFI_A (m3/ha)	GFI_B (m3/ha)
Astilla	30,6	37,4	31,5	29,2
Leña	370	209,4	209,4	143,9
Palet	254,4	211,3	189,2	128,9
Viga	21,4	-	95,2	51,4
Chapa	-	-	22,5	-
Ventana	-	-	47,4	10,2
Total (m3/ha)	676,4	458,1	595,2	363,6

Materias y procesos de ciclo de vida de los productos: dada la falta de datos sobre la fabricación de varios productos madereros objeto estudio, para el modelado de sus ciclos de vida se han adaptado los procesos más similares de Ecoinvent que ya incorporan factores de asignación basados en valores económicos para repartir los impactos asociados. La adaptación de dichos procesos se ha realizado tanto a nivel de materias, fuel y energía de entradas, como salidas (emisiones y residuos) para una mejor representatividad geográfica. No se tiene en cuenta la manufactura de equipamiento utilizado en la producción, los edificios o cualquier otro bien capital.

Consumos energéticos: En la adaptación de los procesos de los productos madereros de la base de datos Ecoinvent, el conjunto de datos incluye el consumo de combustible y otros relacionados con el uso de suelo (e.j. almacén). También se tiene en cuenta la cantidad de emisiones a la atmósfera por combustión y la emisión al suelo por abrasión de los neumáticos durante el transporte. NO se consideraron las siguientes actividades parte del proceso de trabajo: trabajos preliminares en la planta, como acoplar el remolque al tractor; transporte de maquinarias por carretera y trabajos de finalización, como el desacoplamiento de la máquina. El conjunto de datos NO incluye el polvo que no sea el de la combustión y el ruido.

Ciclo de carbono: se consideran tanto el carbono fijado en la biomasa como el carbono emitido durante las intervenciones silvícolas. El Centre de la Propietat Forestal ha realizado las estimaciones del carbono incorporado a la madera destinada al aserrado en función de la práctica de gestión forestal (Tabla 2):

Tabla 2. Carbono fijado en función de la práctica de gestión forestal aplicada en 1 ha durante 150 años. Fuente: CPF, 2020

Modelo de gestión	Producción madera seca (tn)	C fijado en madera (tn)	C fijado suelo y MOM (tn)
Ps1: calidad alta, estructura regular	432,57	217,73	168,01
Ps8: calidad media, estructura regular	286,53	135,63	112,59
Ps4: calidad alta, estructura irregular	508,94	254,47	197,57
Ps10: calidad media, estructura irregular	273,52	136,76	106,17

Esta tabla da lugar a los siguientes cálculos (detallados en la Tabla 3):

- 0,50 tn carbono en madera por cada tn de madera
- 0,39 tn carbono fijado en el suelo y MOM por cada tn de madera

Tabla 3. Fracción de carbono biogénico en la madera seca y en el suelo y materia orgánica muerta. Fuente: elaboración a partir de CPF, 2020

Modelo de gestión	Carbono en madera (tn C/ tn madera seca)	Carbono en suelo y MOM (tn C/ tn madera seca)	Ratio carbono en la madera/ carbono en el suelo y MOM
Ps1: calidad alta, estructura regular	0,503	0,388	0,772
Ps8: calidad media, estructura regular	0,473	0,393	0,830
Ps4: calidad alta, estructura irregular	0,500	0,388	0,776
Ps10: calidad media, estructura irregular	0,500	0,388	0,776

Además de esta información, para la simulación del ciclo de carbono en el contenido de los productos, tanto en la primera como la segunda fase de este estudio, se han aplicado los siguientes flujos y factores de caracterización:

- Transferencia de carbono biogénico de la atmosfera a la madera y al suelo del bosque: -1
- Emisión de carbono a la atmosfera: +1
- 1 tn de carbono biogénico es equivalente a 44/12 tn CO₂

3.2. Primera fase: gestión forestal

En gestión forestal, los impactos ambientales vienen asociados al consumo de combustibles fósiles de las operaciones de gestión (desbroce en dos sobre los cuatro casos, clareo, corta selectiva), junto con los aceites hidráulicos que se utilizan para el correcto funcionamiento del equipo de maquinaria forestal. Los datos sobre estos consumos han sido suministrados por APF Serra de Bellmunt i Collsacabra basando en valores empíricos relativos en los tratamientos selvícolas de Cataluña.

Para el estudio se considera la madera obtenida a pie de pista, preparada para ir al aserrador. No se tiene en cuenta los restos del aprovechamiento (ramas, copas, partes no aprovechables) que quedaran en el bosque, ni tampoco las partes no aprovechadas en la primera transformación (subproductos) que pueden tener otros usos no analizados (serrín, corteza, biomasa).

Los productos que se destinarán a la producción de energía, sea en forma de calor o electricidad, que son las astillas y la leña en este caso, no se consideran subproductos, sino productos principales directos procedentes de la materia prima.

A la hora de analizar la producción y extracción de la madera comercial en pie, se considerarán los siguientes modelos de gestión forestal:

- GFT_A: Gestión forestal tradicional en calidad de estación alta
- GFT_B: Gestión forestal tradicional en calidad de estación media-baja
- GFI_A: Gestión forestal innovadora en calidad de estación alta
- GFI_B: Gestión forestal innovadora en calidad de estación media-baja

La información detallada sobre el itinerario silvícola de estos escenarios de gestión está recogida en el [Anexo](#).

3.2.1. Unidad declarada

En esta fase se tienen en cuenta dos unidades declaradas, cada una asociada a un objetivo específico:

- Para conocer la magnitud y comparar el potencial de impacto ambiental total entre modelos de gestión tradicional e innovadora: **UN ESCENARIO DE GESTIÓN FORESTAL POR HECTÁREA DURANTE 150 AÑOS**
- Para conocer el impacto ambiental por unidad de producto de salida, que es la madera comercial seca a pie de pista: **UNA TONELADA DE MADERA SECA**

3.2.2. Funciones del Sistema de producto

En modelos de gestión tradicionales, el objetivo es puramente económico donde se enfoca en la producción de productos directos. Durante el turno de 150 años se pretende conseguir una masa semirregular con el roble como especie claramente dominante y el pino como especie acompañante.

En los modelos innovadores, el económico no es el objetivo principal sino la mejora de la biodiversidad y otras externalidades no económicas. Se pretende mantener la masa mixta irregular seleccionando árboles de futuro. Los productos obtenidos en la gestión forestal innovadora tienen un valor añadido más alto. Estos productos proceden de árboles seleccionados como árboles de futuro, a los que se les ha aplicado una gestión de árbol individual.

3.2.3. Datos de inventario

En estos cuatro escenarios de gestión se contempla el consumo de dos combustibles fósiles: gasoil por tractor forestal y gasolina por motosierra; además, los aceites de lubricante para las maquinarias. Se asumen las emisiones por la quema de combustibles mediante la base de datos Ecoinvent 3.6. La cantidad de residuos de aceites lubricantes ha sido estimada proporcionalmente a las horas trabajadas totales durante el periodo de referencia.

La Tabla 4 recogen la información sobre el consumo de recursos y la cantidad de residuos producidos por cada unidad declarada en cada escenario de gestión:

Tabla 4. Consumo de recursos y residuos producidos por unidad declarada por modelo de gestión

Unidad declarada	Materia/ Proceso	GFT_A	GFT_B	GFI_A	GFI_B
Total, por hectárea a lo largo de 150 años	PRODUCCIÓN volumen en seco (m ³ / ha)	676,60	429,00	595,50	362,50
	PRODUCCIÓN masa en seco (t/ha)	404,7	271,19	353,15	214,75
	Horas trabajadas	634,60	406,78	529,72	322,12
	Gasolina (l)	286,72	255,71	226,19	204,12
	Gasoil (l)	761,97	681,72	608,83	542,03
	Aceite lubricante (l)	135,18	116,31	106,96	92,78
	Residuos de aceite lubricante (l)	13,09	8,13	10,59	6,44
Por tonelada de madera seca obtenida	Gasolina (l/ tn)	1,746	2,514	1,724	2,524
	Gasoil (l/ tn)	0,657	0,943	0,64	0,95
	Aceite lubricante (l/ tn)	0,31	0,429	0,303	0,432
	Residuos de aceite lubricante (l/ tn)	0,03	0,03	0,03	0,03

En el modelado de ciclo de vida de esta fase, el valor de fracción de carbono en la madera seca es el que se toma por defecto en el IPCC de 0,5 tn C/ tn madera seca. También como mencionado en el apartado [3.1.6.](#), 1 tn de carbono biogénico es equivalente a 44/12 tn CO₂.

3.3. Segunda fase: productos madereros

Tal como mencionado en el apartado [3.1.6.](#) y [3.2.](#), los productos derivados de la madera comercial seca, incluso la astilla y la leña se consideran productos principales ya asignados por criterios físico de masa y volumen (intercambiable mediante el peso específico de cada tipo de madera). Por tanto, no ha sido necesario un proceso de asignación de co-productos.

En la siguiente tabla se recoge el resumen del flujo de productos a partir de cada escenario de gestión:

Tabla 5. Asignación por criterio físico (masa) de productos de cada escenario de gestión

Producto	GFT_A	GFT_B	GFI_A	GFI_B
Astilla	17,1	20,9	17,6	16,4
Leña	233,1	131,9	131,9	90,7
Palet	142,5	118,3	106,0	72,2
Viga	12,0	-	60,0	32,4
Chapa	-	-	14,2	-
Ventana	-	-	26,5	5,7
Total (tn/ha)	404,7	271,2	356,2	217,3

Resumen de Unidad funcional/ declarada por tipo de producto: el ACV de estos productos se ha realizado basando en la unidad funcional o declarada correspondiente que facilitará la comparación de los mismos con sus alternativas de otras materias (ver Tabla 6)

Tabla 6. Resumen de unidad por tipo de producto

Producto	Unidad Física/ Unidad Funcional (UF) o Declarada	Vida útil (RLS)
Astilla	1 tn (de 30% de humedad)	2 años
Leña	1 tn (de 30% de humedad)	2 años
Palé	1 unidad de europalét (equivalente a 22,35 kg)	4 años y una capacidad de reutilización de 10 veces
Viga	1 m3	150 años
Chapa	1 m2 de 0,8 mm de grosor	60 años
Ventana	1 marco de ventana con 1 m2 área visible	60 años

Funciones del Sistema de producto: En su conjunto, el sistema analizado permite obtener productos de madera para su uso en distintos sectores (embalaje, construcción, mobiliario y producción de energía). Los modelos de gestión innovadores se puede obtener madera de mejor calidad que se convertirán en productos madereros más persistentes, con usos de mayor vida útil y por lo tanto con una retención de carbono más prolongada en el tiempo.

Escenario de gestión	Funciones del sistema
GFT_A	Combustible y embalaje
GFT_B	
GFI_A	Combustible, embalaje, tablero, instrumentos, carpintería, madera estructural
GFI_B	

A continuación, se presentan la información asociada a las etapas de ciclo de vida de cada producto:

3.3.1. Astilla

La astilla es uno de los productos de la gestión silvícola que se obtiene triturando directamente la madera comercial seca obtenida en el aprovechamiento en los puntos de trituración dentro de un radio de 10 km desde el punto de extracción. Para la trituración se emplea una trituradora de gasoil con un consumo de 3 l/tn. Después de la trituración, se envía directamente al cliente en camión de 16-32 tn a una distancia media de 40 km sin precisar de ningún tipo de embalaje.

En los cuatro escenarios estudiados se considera que son 100% de pino silvestre. El carbono almacenado en la madera se devolverá al ambiente cuando se quema la astilla para obtener energía, dentro de un plazo de 2 años. Se tiene en cuenta el consumo eléctrico de ignición de la caldera y todas las emisiones al aire (gases) y al suelo (ceniza) generadas en la combustión de la astilla.

Información relacionada al ciclo de vida del producto Astilla:

- **Unidad declarada:** 1 tn de astilla de pino silvestre al 30% de humedad, procedentes de los 4 tipos de gestión, GFT y GFI. Se emplea para la producción de energía en forma de calor.
- **Densidad:** 560 kg/m³

- **Límites de sistema a estudiar:** obtención de madera, trituración, distribución y quema para la obtención de calor.
- **Inventario:** Tabla 7

Tabla 7. Inventario de ciclo de vida de una tonelada de astilla

Concepto	Materia/ Proceso	Valor	Unidad
A1-A3			
Madera (procedente de las gestiones)	Madera seca a pie de pista (bosque)	1	tn
Transporte pie de pista a trituradora	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U</i> A 10 km	10	tkm
Gasoil	<i>Diesel, burned in agricultural machinery {GLO} diesel, burned in agricultural machinery Cut-off, U</i>	3	l
Salida	Astilla	1	tn
A4			
Distribución al cliente	<i>Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 Cut-off, U</i> A 40 km	40	tkm
B-C			
Combustión de astilla (natural wood chips): - Energía eléctrica para la ignición - Energía exportada - Emisiones	Adaptación Quema Astilla: <i>Heat, central or small-scale, other than natural gas {CH} heat production, softwood chips from forest, at furnace 50kW Cut-off, U</i> Densidad: 430 kg/m ³ Contenido energético: 19,1 MJ/kg	1,91E+04	MJ

3.3.2. Leña

La obtención de la leña solo requiere una transformación a partir de la madera del roble. Esta transformación tiene lugar en la primera industria aserradora a una distancia promedio de 30 km desde el bosque productor. Para su transformación se consume dos tipos de combustibles, gasoil y gasolina, además de aceites lubricantes. Este proceso solo genera un residuo – serrín, que restara en el bosque, aportando nutrientes al suelo. El producto final se envía al cliente en furgonetas y/o camiones de 3,5 tn a una distancia media de 30 km sin precisa ningún tipo de embalaje.

Igual que la astilla, en los cuatro escenarios se considera que la leña tiene una vida útil de 2 años hasta que se queme y el carbono almacenado en la madera se devolverá a la atmosfera. El proceso de combustión inicia con la leña entregada al cliente. Este módulo simula la combustión de leña (natural wood logs). Quedan incluidos la cantidad de leña, las emisiones al aire, la electricidad necesaria para la operación y la deposición de ceniza. El proceso es representativo para la tecnología instalada.

Información relacionada al ciclo de vida del producto Leña:

- **Unidad declarada:** 1 tn de leña de roble procedentes de los 4 tipos de gestión, GFT y GFI. Se emplea para la producción de energía en forma de calor.
- **Densidad:** 630 kg/m³
- **Límites de sistema a estudiar:** obtención de madera, corte en leña, distribución y quema para la obtención de calor.
- **Inventario:** Tabla 8

Tabla 8. Inventario de ciclo de vida de una tonelada de leña

Concepto	Materia/ Proceso	Valor	Unidad
A1-A3			
Madera (procedente de las gestiones)	Madera seca a pie de pista (bosque)	1,085	tn
Transporte a la primera aserradora	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U</i> A 30 km	32,55	tkm
Gasoil	<i>Diesel, burned in agricultural machinery {GLO} diesel, burned in agricultural machinery Cut-off, U</i> 38,65 MJ/l	0,35	l
Gasolina	<i>Petrol, unleaded, burned in machinery {GLO} petrol, unleaded, burned in machinery Cut-off, U</i> 34,78 MJ/l	0,45	l
	<i>Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U</i> 0,86 kg/l	0,29	l
Salida	Leña	1	tn
Residuo	<i>Saw dust, loose, wet, measured as dry mass {GLO} market for Cut-off, U</i>	8,5	kg
Residuos aceite lubricante	<i>Waste mineral oil {Europe without Switzerland} market for waste mineral oil Cut-off, U</i>	0,015	kg
A4			
Distribución al cliente	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U</i>	20	tkm

Concepto	Materia/ Proceso	Valor	Unidad
	A 20 km		
B-C			
Combustión de leña (<i>natural wood logs</i>): - Energía eléctrica para la ignición - Energía exportada - Emisiones	Adaptación Quema Leña: <i>Heat, central or small-scale, other than natural gas {CH} heat production, mixed logs, at furnace 30kW Cut-off, U</i> Contenido energético: 0,0539 kg/MJ	1,86E+04	MJ

3.3.3. Palet de madera

Para la producción de palet de madera se considera la primera transformación igual que en el caso de la viguería, aplicada sobre la madera de pino silvestre. La segunda transformación tiene lugar en el mismo lugar, tomando como ejemplo los datos relativos de la Industria por excelencia, Serradora Boix. En concreto, la madera serrada en forma de tablas se seca al horno (de gas natural) para reducir el tiempo que estén paradas. Una vez secadas, las tablas pasan a la cadena de montaje donde se montan en forma utilizando tornillos y grapas de acero. El uso de maquinarias requiere consumo de gasoil (combustibles carretillas elevadoras y transportes internos) y electricidad (red eléctrica nacional).

Se considera un alcance de venta nacional con una distribución media de 300 km. Cuando un palet deja de ser usado por primera vez, se le clasifica como: Europalet de primera, de segunda, de tercera o de cuarta en función del aspecto físico del mismo. Los palets que llegan a la cuarta ya se consideran finalizada su vida útil. De acuerdo con esta información y según la experiencia de la empresa colaboradora GRUP BOIX, un fabricante de palet de madera importante en Cataluña, se toma un valor conservador de 10 veces el número de reutilización de un europalet de madera. Al cumplir su vida útil de 4 años, a la gestión de fin de vida se aplicará los tratamientos y eliminación según recogidos en Eurostat (EUROSTAT, 2019).

Información relacionada al ciclo de vida del producto Palet de madera:

- **Unidad declarada:** 1 unidad de palet de madera de pino 1200x800 mm, procedente de los 4 tipos de gestión, GFT y GFI. Se emplea como plataforma para agrupar, almacenar y transportar mercancía.

- **Peso:** 22,35 kg
- **Límites de sistema a estudiar:** obtención de madera serrada seca, fabricación palet, distribución y fin de vida
- **Inventario:** Tabla 9

Tabla 9. Inventario de ciclo de vida de un euro palet de madera

Concepto		Materia/ Proceso	Valor	Unidad
A1-A3				
Fase serrar	Madera (procedente de las gestiones)	Tronco de madera (387,2 kg/m3)	0,087	m3
	Transporte al a primera aserradora	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U A 70 km	2,366	tkm
	Gasol	Diesel, burned in agricultural machinery {GLO} diesel, burned in agricultural machinery Cut-off, U	1,622	MJ
	Electricidad	Electricity, medium voltage {ES} market for Cut-off, U	1,175	kWh
	Aceite lubricante	Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U	0,006	kg
	Residuos aceite lubricante	Waste mineral oil {Europe without Switzerland} market for waste mineral oil Cut-off, U	0,001	kg
Fase secar al horno	Entrada: Madera serrada	Sawnwood, hardwood, raw {CH} sawing, hardwood Cut-off, U	0,058	m3
	Consumo eléctrico	Electricity, medium voltage {ES} market for Cut-off, U	0,933	kWh
	Consumo biomasa (producción calor)	Wood chips, wet, measured as dry mass {CH} wood chips production, hardwood, at sawmill Cut-off, U	3,593	kg
	Residuos de combustión biomasa	Wood ash mixture, pure {Europe without Switzerland} market for wood ash mixture, pure Cut-off, U	0,031	kg
Montaje palet	Entrada: madera serrada seca	Madera serrada palet: Sawnwood, beam, softwood, raw, dried (u=20%) {CH} beam, softwood, raw, kiln drying to u=20% Cut-off, U Densidad madera pino: 560 kg/m3	31,3	kg
	Tornillos y grapas acero	Forging, steel {RoW} forging, steel, large open die Cut-off, U	0,246	kg
	Transporte claves y grapas	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U Proveedor a 70 km	17,23	kgkm
	Aceite lubricante para maquinaria	Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U	0,086	kg

Concepto		Materia/ Proceso	Valor	Unidad
	Consumo eléctrico	<i>Electricity, medium voltage {ES} market for Cut-off, U</i>	1,78	MJ
	Combustibles por carretillas elevadoras y transportes internos	<i>Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, U</i>	0,0054	MJ
	Corte madera	<i>Heat, central or small-scale, natural gas {RER} market group for Cut-off, U</i>	1,84E-05	kWh
	Salida	Euro palet 1200x800 mm	22,35	kg
A4				
Distribución al cliente		<i>Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 Cut-off, U A 300 km</i>	6705	kgkm
C				
Madera: recuperada 80,8%	Reciclaje (66,9%)	<i>Transport, freight, lorry, unspecified {RER} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U A 50 km</i>	594,607	Kgkm
	Valoración energética (13,9%)	<i>Waste wood, untreated {RoW} heat production, untreated waste wood, at furnace 1000-5000 kW Cut-off, U</i>	2,471	Kg
	Vertedero controlado (19,2%)	<i>Waste wood, untreated {RoW} treatment of, sanitary landfill Cut-off, U</i>	3,413	Kg
Madera: No recuperada 19,2%	Incineración sin tratamiento (1%)	<i>Waste wood, untreated {GLO} treatment of waste wood, untreated, open burning Cut-off, U</i>	0,042	Kg
	Vertedero no controlado (32%)	<i>Waste wood, untreated {GLO} treatment of waste wood, untreated, unsanitary landfill, moist infiltration class (300mm) Cut-off, U</i>	1,352	Kg
	Incineración municipal (19%)	<i>Waste wood, untreated {RoW} treatment of waste wood, untreated, municipal incineration Cut-off, U</i>	0,803	Kg
	Vertedero controlado (48%)	<i>Waste wood, untreated {RoW} treatment of, sanitary landfill Cut-off, U</i>	2,028	Kg
Acero	Reciclaje (84%)	<i>Transport, freight, lorry, unspecified {RER} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U A 50 km</i>	10,340	Kgkm
	Vertedero controlado (16%)	<i>Inert waste {Europe without Switzerland} treatment of inert waste, sanitary landfill Cut-off, U</i>	0,039	kg

3.3.4. Viga de madera

La vigería se fabrica también con una transformación en una aserradora localizada a 45 km desde el monte productor. Los troncos se transportan por camiones de tres o cuatro ejes. En la aserradora, primero se sacan los costeros de los troncos mediante una sierra de carro, y así dimensionar la viga en función de la demanda o la posibilidad del tronco. Una vez serrada se deja secar por completo al horno. Seguidamente, se pulen los detalles y se trata con productos químicos o naturales en función de la industria.

En este estudio se considera como materia prima la madera de ambas especies, pino y roble procedentes de tres escenarios GFT_A, GFI_A y GFI_B. Por otro lado, al tratar de un proyecto con el fin de fomentar la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental, no se aplica ningún tipo de tratamiento fitosanitarios a los productos. Por último, aunque la durabilidad de la vigería en la construcción puede alcanzar los 100 años o más, bajo buen tratamiento, conservación y restauración, tomamos un valor esperado de 150 años, no como la “vida útil de referencia” sino como un factor para la posterior estimación del ciclo de vida del carbono.

El proceso de la base de datos que se aproxima a la producción de viga de madera considera que la madera aserrada tiene una humedad de 50% que se seca al horno (consume electricidad y biomasa). Una vez secada, el producto tendrá una humedad de 20%. Se tiene en cuenta también el encogimiento de la madera al perder humedad.

Se supone que el transporte al cliente final tiene una distancia media de 300 km sin ningún tipo de embalaje. Para la estimación del kilometraje de transporte, se considera que la madera de pino tiene una densidad de 560 kg/m³, mientras la de frondosa es de 630 kg/m³.

Debido a la variabilidad y la falta de datos de fuentes acreditadas relacionados con el empleo de la vigería de madera en la construcción, se omite la etapa de instalación A5 en este estudio. Por la misma razón, durante la vida útil no se considera ningún tipo de reparación, rehabilitación, reemplazo. Al mismo tiempo, al ser un material pasivo en la construcción, no consume ningún tipo de energía y recursos. La etapa B de uso por tanto tiene un valor 0.

Al finalizar la vida útil, según los estudios de Ecoembes (FEDEMCO y ECOEMBES, 2019) y los datos publicados sobre *Residuos de envases por operaciones de gestión de residuos* (Eurostat, n.d.), se aproxima la gestión de residuos de madera de embalaje en la siguiente manera: recuperado un 80,8% y no recuperado un 19,2%. Dentro de la

recuperación se tiene en cuenta tres tipos de tratamientos: reciclaje 66,9%, valoración energética 13,9% y vertedero controlado 19,2% (FEDEMCO y ECOEMBES, 2019).

Información relacionada al ciclo de vida del producto Viga de madera:

- **Unidad declarada:** 1 m3 viga de madera estructural de pino en GFT_A y roble en los modelos de gestión innovadores GFI_A y GFI_B. Se utiliza como elemento estructural en la construcción.
- **Límites de sistema a estudiar:** obtención de madera serrada seca, distribución y fin de vida
- **Inventario:** Tabla 10

Tabla 10. Inventario de ciclo de vida de un metro cubico de viga de madera

Concepto		Materia/ Proceso	Valor		Unidad
			Roble	Pino	
A1-A3					
Fase serrar	Madera (procedente de las gestiones)	Tronco de madera (387,2 kg/m3)	0,5770	0,5810	tn
	Transporte al a primera aserradora	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U A 45 km	27,05	26,10	tkm
	Gasoil	Diesel, burned in agricultural machinery {GLO} diesel, burned in agricultural machinery Cut-off, U	27,86	28,02	MJ
	Electricidad	Electricity, medium voltage {ES} market for Cut-off, U	20,18	18,74	kWh
	Aceite lubricante	Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U	0,10	0,10	kg
	Residuos aceite lubricante	Waste mineral oil {Europe without Switzerland} market for waste mineral oil Cut-off, U	0,02	0,02	kg
Fase secar al horno	Entrada: Madera serrada	Sawnwood, hardwood, raw {CH} sawing, hardwood Cut-off, U	1,04	1,04	m3
	Consumo eléctrico	Electricity, medium voltage {ES} market for Cut-off, U	23,20	16,70	kWh
	Consumo biomasa (producción calor)	Wood chips, wet, measured as dry mass {CH} wood chips production, hardwood, at sawmill Cut-off, U	64,29	40,88	kg

Concepto		Materia/ Proceso	Valor		Unidad
			Roble	Pino	
	Emisión de vapor de agua	Wood ash mixture, pure {Europe without Switzerland} market for wood ash mixture, pure Cut-off, U	0,56	0,36	kg
	Salida	Adaptación Viga: Sawnwood, beam, hardwood, raw, dried (u=20%) {CH} beam, softwood, raw, kiln drying to u=20% Cut-off, U	1		m3
A4					
Transporte al cliente		Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 Cut-off, U Densidad madera pino: 560 kg/m3 Densidad madera roble: 630 kg/m3	189	168	tkm
C					
Madera: recuperada 80,8%	Reciclaje (66,9%)	Transport, freight, lorry, unspecified {RER} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U A 50 km	17027,3	15135,4	Kgkm
	Valoración energética (13,9%)	Waste wood, untreated {RoW} heat production, untreated waste wood, at furnace 1000-5000 kW Cut-off, U	70,75	62,89	Kg
	Vertedero controlado (19,2%)	Waste wood, untreated {RoW} treatment of, sanitary landfill Cut-off, U	97,71	86,86	Kg
Madera: No recuperada 19,2%	Incineración sin tratamiento (1%)	Waste wood, untreated {GLO} treatment of waste wood, untreated, open burning Cut-off, U	1,21	1,08	Kg
	Vertedero no controlado (32%)	Waste wood, untreated {GLO} treatment of waste wood, untreated, unsanitary landfill, moist infiltration class (300mm) Cut-off, U	22,98	20,43	Kg
	Incineración municipal (19%)	Waste wood, untreated {RoW} treatment of waste wood, untreated, municipal incineration Cut-off, U	38,71	34,41	Kg
	Vertedero controlado (48%)	Waste wood, untreated {RoW} treatment of, sanitary landfill Cut-off, U	58,06	51,61	Kg

3.3.5. Chapa

El proceso productivo de la chapa de frondosa de calidad empieza con la llegada de los troncos a la industria. Después de ser descortezados, se cantean las 4 caras del tronco. Seguidamente se vaporizan los troncos en función de la densidad de árbol. Una vez ablandado el tronco con el vaporizado, se sacan chapas de 0,8 mm de grosor aproximadamente, que son secadas rápidamente hasta llegar a un 6% de humedad.

La transformación del producto chapa se acerca más al proceso de Ecoinvent de fabricación de madera dura serrada en tablero fino con una humedad de 10%. Este proceso no tiene en cuenta los consumos asociados al ablandamiento de los troncos.

Las etapas de uso y fin de vida de la chapa se consideran similares a las de la viguería, aplicando para solamente a la madera de roble del modelo GFI_A

Información relacionada al ciclo de vida del producto Chapa:

- **Unidad declarada:** 1 m³ madera de frondosa de GFI_A. Se utiliza como un cubrimiento que aporta aspecto decorativo en la carpintería y ebanistería.
- **Densidad:** 630 kg/m³
- **Límites de sistema a estudiar:** obtención de madera serrada seca, distribución y fin de vida
- **Inventario:** Tabla 11

Tabla 11. Inventario de ciclo de vida de un metro cúbico de chapa de madera

Concepto		Materia/ Proceso	Valor	Unidad
A1-A3				
Fase serrar	Madera (procedente de las gestiones)	Tronco de madera (387,2 kg/m ³)	1,62	m ³
	Transporte al a primera aserradora	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U A 100 km	62,7	tkm
	Gasoil	Diesel, burned in agricultural machinery {GLO} diesel, burned in agricultural machinery Cut-off, U	29,069	MJ
	Electricidad	Electricity, medium voltage {ES} market for Cut-off, U	21,060	kWh
	Aceite lubricante	Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U	0,105	kg
	Residuos aceite lubricante	Waste mineral oil {Europe without Switzerland} market for waste mineral oil Cut-off, U	0,016	kg

Concepto		Materia/ Proceso	Valor	Unidad
Fase secar al horno	Entrada: Madera serrada	Sawnwood, hardwood, raw {CH} sawing, hardwood Cut-off, U	1,087	m3
	Consumo eléctrico	Electricity, medium voltage {ES} market for Cut-off, U	30	kWh
	Consumo biomasa (producción calor)	Wood chips, wet, measured as dry mass {CH} wood chips production, hardwood, at sawmill Cut-off, U	77,306	kg
	Emisión de vapor de agua	Wood ash mixture, pure {Europe without Switzerland} market for wood ash mixture, pure Cut-off, U	0,673	kg
	Salida	Adaptación Chapa: Sawnwood, board, hardwood, raw, dried (u=10%) {CH} board, hardwood, raw, kiln drying to u=10% Cut-off, U	1	m3
A4				
	Transporte al cliente	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 Cut-off, U A 300 km	189	tkm
C				
Madera recuperada 80,8%	Reciclaje	Transport, freight, lorry, unspecified {RER} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U	17027,3	Kgkm
	Valoración energética	Waste wood, untreated {RoW} heat production, untreated waste wood, at furnace 1000-5000 kW Cut-off, U	70,75	Kg
	Vertedero controlado	Waste wood, untreated {RoW} treatment of, sanitary landfill Cut-off, U	97,71	Kg
Madera no recuperada 19,2%	Incineración sin aprovechamiento energético	Waste wood, untreated {GLO} treatment of waste wood, untreated, open burning Cut-off, U	1,21	Kg
	Vertedero no controlado	Waste wood, untreated {GLO} treatment of waste wood, untreated, unsanitary landfill, moist infiltration class (300mm) Cut-off, U	22,98	Kg
	Incineración municipal	Waste wood, untreated {RoW} treatment of waste wood, untreated, municipal incineration Cut-off, U	38,71	Kg
	Vertedero controlado	Waste wood, untreated {RoW} treatment of, sanitary landfill Cut-off, U	58,06	Kg

3.3.6. Marco de ventana de madera

La fabricación de marco de ventana consiste principalmente en dos transformaciones. La primera transformación consiste en obtener madera aserrada de dimensiones variables. La segunda transformación se realiza en las distintas carpinterías distribuidas por el país.

Según APF Serra de Bellmunt i Collsacabra, para este producto se utilizan la madera de pino obtenidas de las gestiones innovadoras. La primera aserradora se localiza en un radio de 45 km del monte. Después, se enviará a la segunda aserradora en camiones medianos a 300 km. El proceso de fabricación de marco de ventana se adapta a partir del proceso de la base de datos más representante en Europa para marcos de madera con una unidad funcional de un marco de ventana de 1 m² visibilidad. Debido al elevado número de materias auxiliares que intervienen en la fabricación de esta simulación, en el siguiente inventario (Tabla 10) solo se presentan los de mayor peso o que se consideran de mayor relevancia en términos ambientales.

La vida útil de este producto puede llegar hasta los 60 años en condiciones de clima y orientación favorables, realizando trabajos de mantenimiento periódicamente, en el cual se pule y pinta cada 7 años de manera manual. Este mantenimiento consume pintura y genera una cantidad de residuo de pintura. Estos datos son valores de estimación proporcionados por el propietario del ACV. Se considera el escenario más común de pintura con dos pasadas, en el cual el consumo de pintura es 12 m²/l por capa.

Información relacionada al ciclo de vida del producto Marco de ventana de madera:

- **Unidad declarada:** 1 marco de ventana con 1 m² área visible madera de pino de GFI_A y GFI_B, utilizado en la construcción.
- **Peso:** 80,2 kg
- **Límites de sistema a estudiar:** obtención de madera serrada seca, fabricación ventana, distribución, mantenimiento y fin de vida
- **Inventario:** Tabla 12

Tabla 12. Inventario de ciclo de vida de un marco de ventana de madera de 1 m² de visibilidad

Concepto		Materia/ Proceso	Valor	Unidad
A1-A3				
Fase serrar	Madera (procedente de las gestiones)	Tronco de madera (387,2 kg/m ³)	0,132	m ³

Concepto		Materia/ Proceso	Valor	Unidad
	Transporte al a primera aserradora	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U A 100 km	13,230	tkm
	Gasoil	Diesel, burned in agricultural machinery {GLO} diesel, burned in agricultural machinery Cut-off, U	6,134	MJ
	Electricidad	Electricity, medium voltage {ES} market for Cut-off, U	4,444	kWh
	Aceite lubricante	Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U	0,022	kg
	Residuos aceite lubricante	Waste mineral oil {Europe without Switzerland} market for waste mineral oil Cut-off, U	0,003	kg
Fase secar al horno	Entrada: Madera serrada	Sawnwood, hardwood, raw {CH} sawing, hardwood Cut-off, U	0,229	m3
	Consumo eléctrico	Electricity, medium voltage {ES} market for Cut-off, U	6,330	kWh
	Consumo biomasa (producción calor)	Wood chips, wet, measured as dry mass {CH} wood chips production, hardwood, at sawmill Cut-off, U	16,312	kg
	Emisión de vapor de agua	Wood ash mixture, pure {Europe without Switzerland} market for wood ash mixture, pure Cut-off, U	0,142	kg
	Salida	Adaptación Chapa: Sawnwood, board, hardwood, raw, dried (u=10%) {CH} board, hardwood, raw, kiln drying to u=10% Cut-off, U	0,211	m3
Fabricación ventana	Electricidad	Electricity, medium voltage {ES} market for Cut-off, U	57,636	kWh
		Heat, central or small-scale, other than natural gas {RER} market group for Cut-off, U	45,849	MJ
	Pintura	Alkyd paint, white, without water, in 60% solution state {RER} market for alkyd paint, white, without water, in 60% solution state Cut-off, U	5,48	kg
	Materias auxiliares y sus procesamientos	Anodising, aluminium sheet {RER} processing Cut-off, U	0,81	M2
		Aluminium, wrought alloy {GLO} market for Cut-off, U	3,06	kg
		Section bar extrusion, aluminium {RER} processing Cut-off, U	3,06	kg

Concepto		Materia/ Proceso	Valor	Unidad
		Section bar rolling, steel {RER} processing Cut-off, U	5,17	kg
		Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for Cut-off, U	5,17	kg
		Synthetic rubber {GLO} market for Cut-off, U	1,14	kg
		Nylon 6-6, glass-filled {RER} market for nylon 6-6, glass-filled Cut-off, U	0,35	kg
		Zinc {GLO} market for Cut-off, U	0,29	kg
		Zinc {GLO} market for Cut-off, U	0,49	M2
	Residuos pintura	Waste paint {Europe without Switzerland} market for waste paint Cut-off, U	0,0285	kg
	Salida	Adaptación: Window frame, wood, U=1.5 W/m2K {RER} production Cut-off, U	1	Ud
A4				
Transporte al cliente		Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 Cut-off, U A 300 km	189	tkm
B				
Mantenimiento (cada 7 años durante 60 años de vida útil)	Repintar	Alkyd paint, white, without water, in 60% solution state {RER} market for alkyd paint, white, without water, in 60% solution state Cut-off, U	46,971	kg
	Residuos pintura	Waste paint {Europe without Switzerland} market for waste paint Cut-off, U	0,244	kg
C				
Madera: Recuperada 80,8%	Reciclaje (66,9%)	Transport, freight, lorry, unspecified {RER} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U A 50 km	1756,794	Kgkm
	Valoración energética (13,9%)	Waste wood, untreated {RoW} heat production, untreated waste wood, at furnace 1000-5000 kW Cut-off, U	7,300	Kg
	Vertedero controlado (19,2%)	Waste wood, untreated {RoW} treatment of, sanitary landfill Cut-off, U	504,192	Kg
Madera: No recuperada 19,2%	Incineración sin tratamiento (1%)	Waste wood, untreated {GLO} treatment of waste wood, untreated, open burning Cut-off, U	0,125	Kg
	Vertedero no controlado (32%)	Waste wood, untreated {GLO} treatment of waste wood, untreated, unsanitary landfill, moist infiltration class (300mm) Cut-off, U	3,994	Kg

Concepto		Materia/ Proceso	Valor	Unidad
	Incineración municipal (19%)	<i>Waste wood, untreated {RoW} treatment of waste wood, untreated, municipal incineration Cut-off, U</i>	2,371	Kg
	Vertedero controlado (48%)	<i>Waste wood, untreated {RoW} treatment of, sanitary landfill Cut-off, U</i>	5,990	Kg
Metal mixto	Reciclaje (84%)	<i>Transport, freight, lorry, unspecified {RER} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U</i>	345,660	kgkm
	Vertedero controlado (16%)	<i>Inert waste {Europe without Switzerland} treatment of inert waste, sanitary landfill Cut-off, U</i>	1,317	kg

4. Evaluación del impacto de ciclo de vida

En este apartado se muestran los resultados por unidad declarada y sus interpretaciones:

4.1. Un escenario de gestión por hectárea durante 150 años

A continuación, se presentan los resultados de impacto ambiental total de cada modelo de gestión por categoría de impacto:

Tabla 13. Resultados de impacto ambiental total de los cuatro modelos de gestión, por indicador, valores absolutos

Indicador de impacto	Unidad	GFT_A	GFT_B	GFI_A	GFI_B
ADP-elementos					
Potencial de agotamiento abiótico de recursos no fósiles	kg Sb eq	3,74E-04	3,28E-04	2,96E-04	2,61E-04
ADP-fósil					
Potencial de agotamiento abiótico de recursos fósiles	MJ	5,05E+04	4,49E+04	4,01E+04	3,57E+04
AP					
Acidificación, reducción del pH	mol H+ eq	2,91E+01	2,60E+01	2,32E+01	2,07E+01
ODP					
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	7,98E-04	7,10E-04	6,35E-04	5,66E-04
GWP-Total					
Aumento temperatura del planeta debido a las emisiones de CO ₂ , CH ₄ N ₂ O a la atmósfera.	kg CO ₂ eq	-8,01E+05	-4,67E+05	-6,45E+05	-3,91E+05
EP					
Potencial de eutrofización	mol N eq	1,35E+02	1,21E+02	1,08E+02	9,63E+01
POCP					
Formación de ozono troposférico	kg NMVOC eq	4,67E+01	4,17E+01	3,72E+01	3,32E+01

Como se puede observar en la Tabla 13, dentro de las categorías de impacto analizadas, la gestión forestal presenta su mayor impacto en el agotamiento de recursos fósiles debido principalmente al consumo de fueles como gasoil y gasolina. Al contrario, el potencial de calentamiento (GWP-Total) resulta considerablemente negativo, indicando un potencial importante de fijación de CO₂.

La Figura 4 es el gráfico de comparación del impacto total entre modelos de gestión. Los modelos innovadores claramente presentan menor potencial de impacto en todas las

categorías analizadas al gastar en su totalidad considerablemente menos recursos fósiles.

En general, se puede deducir que, en todas las categorías de impacto, la gestión GFT_A es la más impactante, pero a la vez, su potencial de combatir el cambio climático a través de la absorción de carbono es más elevado. La gestión GFI_B presenta mínimos valores en todas las categorías. La GFI_A parece más beneficiosa, siendo la segunda menos contaminante y también, segunda mayor fijadora de carbono.

Las unidades del eje de las Y corresponden a valores absolutos de distintas unidades que se muestran en la tabla 13. Los valores máximos se representan a escala de 100, a partir de ese valor se proporcionan los otros. Los valores negativos corresponden a un impacto favorable por el medio ambiente. En ningún caso la figura 4 representa las cantidades de cada tipo de impacto potencial.

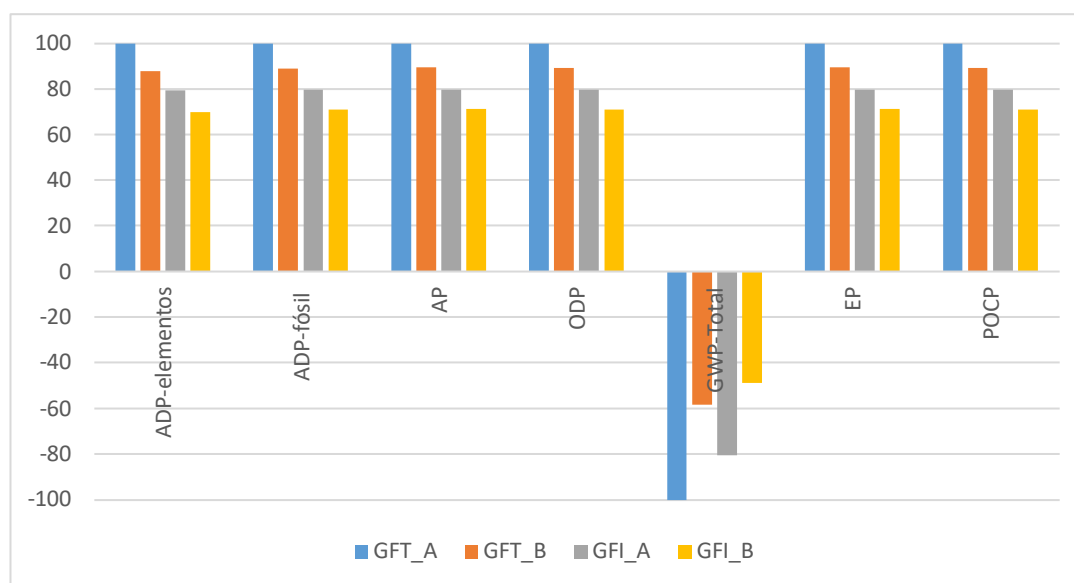


Figura 4. Comparación de magnitud de impacto total entre escenarios de gestión

El número total de intervenciones a lo largo de los 150 años no influye en comparación la posibilidad de extracción de cada modelo. No obstante, la rentabilidad de los aprovechamientos que se realizan cada 10 años podría verse afectada.

Balance de carbono por modelo de gestión por hectárea a lo largo de 150 años:

La Tabla 14 presenta la estimación del balance de carbono por modelo de gestión por hectárea durante el turno de 150 años, donde los valores negativos significan la fijación, frente los positivos de emisión. Se observa un patrón donde en la estación de calidad alta, la cantidad de CO₂ equivalentes fijada es distintamente elevada comparada con su emisión por fuentes no biogénico – máxima de 229 veces en GFI_A y seguida por GFT_A con veces 227 veces. En la estación de calidad baja esta ratio es más bajo – 149 veces en el mínimo caso de GFT_B. En todos los modelos, es claro que la diferencia del balance, es decir, la cantidad de carbono fijado es significativamente mayor que la emitida.

Tabla 14. Balance de carbono asociado a diferentes modelos de gestión por hectárea a lo largo de 150 años

Procedencia	Unidad	GFT_A	GFT_B	GFI_A	GFI_B
Carbono no biogénico	kg CO ₂ eq.	3.552,53	3.162,35	2.826,70	2.517,50
Carbono biogénico		-804.885,50	-470.333,85	-647.441,65	-393.708,33
Diferencia		-801.332,99	-467.171,50	-644.614,97	-391.190,83

4.2. Una tonelada de madera seca a pie de monte

A continuación, se presentan los resultados de impacto ambiental de la tonelada de madera procedente de cada modelo de gestión por categoría de impacto:

Tabla 15. Resultados de impacto ambiental de una tonelada de madera comercial seca procedente de los 4 modelos de gestión, por indicador, valores absolutos

Indicador de impacto	Unidad	Madera comercial seca GFT_A	Madera comercial seca GFT_B	Madera comercial seca GFI_A	Madera comercial seca GFI_B
ADP-elementos					
Potencial de agotamiento abiótico de recursos no fósiles	kg Sb eq	8,56E-07	1,21E-06	8,39E-07	1,22E-06
ADP-fósil					
Potencial de agotamiento abiótico de recursos fósiles	MJ	1,16E+02	1,65E+02	1,14E+02	1,66E+02
AP					
Acidificación, reducción del pH	mol H ⁺ eq	6,67E-02	9,59E-02	6,57E-02	9,64E-02
ODP					
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	1,83E-06	2,62E-06	1,80E-06	2,63E-06
GWP-Total	kg CO ₂ eq	-1,84E+03	-1,72E+03	-1,83E+03	-1,82E+03

Indicador de impacto	Unidad	Madera comercial seca GFT_A	Madera comercial seca GFT_B	Madera comercial seca GFI_A	Madera comercial seca GFI_B
Aumento temperatura del planeta debido a las emisiones de CO ₂ , CH ₄ N ₂ O a la atmósfera.					
EP Potencial de eutrofización	mol N eq	3,10E-01	4,46E-01	3,06E-01	4,48E-01
POCP Formación de ozono troposférico	kg NMVOC eq	1,07E-01	1,54E-01	1,05E-01	1,54E-01

Como se puede observar en la Tabla 15, al igual que el impacto total por modelo de gestión (Fig. 5), la tonelada de madera resultante de cada modelo también tiene los mayores impactos asociados al agotamiento de recursos fósiles, eutrofización y formación de ozono troposférico. Sin embargo, en comparación con la magnitud normalizada de estos tres indicadores, la fijación de gases de efecto invernadero resulta abrumadora.

Las Figuras 5 y 6 indican diferentes patrones en cuanto a la intensidad de impacto entre la madera resultante de cada modelo de gestión. Entre el modelo tradicional e innovador, el escenario A de calidad de estación alta (GFT_A y GFI_A) presenta menor impacto que el B de calidad baja (GFT_B y GFI_B). Este hecho se debe a que el volumen o la masa de madera que se obtiene en la estación baja es menor que la de alta calidad, siendo el consumo de fueles y residuos por tonelada de madera es parecido entre cada tipo de estación, pues coherente con los datos de la Tabla 3.

Por otro lado, se observa una característica interesante mediante la Tabla 16 y la Figura 6: el potencial de impacto tiene este orden ascendiente: GFI_A < GFT_A < GFT_B < GFI_B, es decir, la gestión innovadora en su estación alta presenta menor impacto, mientras la de la estación baja presenta el mayor potencial. Podemos concluir que la calidad de la estación influye significativamente al impacto asociado a la tonelada de madera producida. También cabe tener en cuenta que, aunque cuanta más madera extraída, más operación, más impacto, en los casos de gestión innovadora se obtienen bienes directos de mayor vida útil y otros bienes indirectos que en su conjunto los hacen más beneficiosos. Dentro de los cuatro modelos estudiados, la escala de operaciones de gestión y la cantidad total de madera a extraer resulta óptimo en el GFI_A. Se recomienda realizar un análisis de sensibilidad exhaustivo de los factores que intervienen en el objetivo de estos modelos de gestión para una estimación holística.

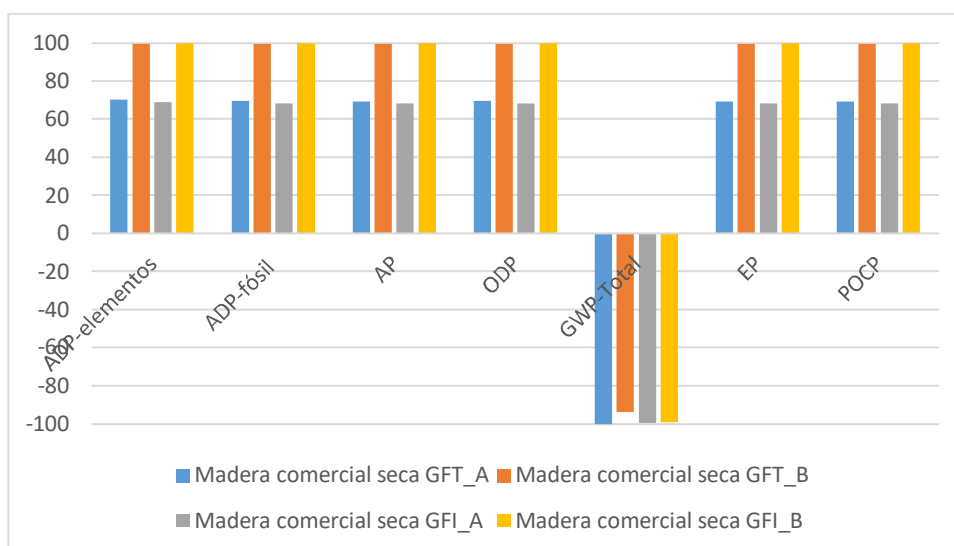


Figura 5. Comparación de magnitud de impacto entre una tonelada de madera resultante de cada escenario de gestión

Balace de carbono por tonelada de madera seca

Similar a la Tabla 13, la siguiente Tabla 16 del balance de carbono asociado a la tonelada de madera por modelo de gestión presenta las mismas ratios entre la cantidad de carbono fijado y emitido. La diferencia entre la cantidad de CO₂ equivalentes de fuentes no biogénico y la retenida sigue siendo notablemente alta.

Tabla 16. Balance de carbono asociada a la tonelada de madera seca de cada escenario de gestión

Procedencia	Unidad	GFT_A	GFT_B	GFI_A	GFI_B
Carbono no biogénico	kg CO ₂ eq	8,14	11,66	8,00	11,72
Carbono biogénico		-1844,33	-1734,33	-1833,33	-1833,33
Diferencia		-1836,19	-1722,67	-1825,33	-1821,61

4.3. Una tonelada de astilla

i. Comparación de impacto ambiental del ciclo de vida de la unidad declarada de 1 tn Astilla procedente de los 4 modelos de gestión:

La Tabla 17 muestra los resultados de impacto ambiental total según los 6 indicadores determinados previamente.

Tabla 17. Resultados de impacto ambiental del ciclo de vida de una tonelada de astilla procedente de cuatro modelos de gestión, por indicador, valores absolutos

Indicador de impacto	Unidad	Astilla GFT_A	Astilla GFT_B	Astilla GFI_A	Astilla GFI_B
ADP-elementos					
Potencial de agotamiento abiótico de recursos no fósiles	kg Sb eq	3,08E-06	3,43E-06	3,06E-06	3,44E-06
ADP-fósil					
Potencial de agotamiento abiótico de recursos fósiles	MJ	1,23E+03	1,28E+03	1,22E+03	1,28E+03
AP					
Acidificación, reducción del pH	mol H+ eq	2,73E+00	2,76E+00	2,73E+00	2,76E+00
ODP					
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	8,34E-06	9,13E-06	8,31E-06	9,15E-06
GWP-Total					
Aumento temperatura del planeta debido a las emisiones de CO ₂ , CH ₄ N ₂ O a la atmósfera.	kg CO ₂ eq	1,06E+03	1,17E+03	1,07E+03	1,08E+03
EP					
Potencial de eutrofización	mol N eq	1,35E+01	1,37E+01	1,35E+01	1,37E+01
POCP					
Formación de ozono troposférico	kg NMVOC eq	3,70E+00	3,75E+00	3,70E+00	3,75E+00

La Tabla 17 asiste la comparación de magnitud de impacto de cada escenario de gestión por indicador. Se observa que, en todas las categorías de impacto analizado, el impacto ambiental es similar en función de la calidad de estación. El potencial de calentamiento global es el mayor en los cuatro casos, con más de mil toneladas de CO₂ equivalente. En la categoría de agotamiento de recursos abióticos no fósiles, la diferencia entre los modelos innovadores y tradicionales es más notable.

La Fig. 6 proporciona la comparación de magnitud de impacto de cada sujeto de estudio por indicador. Es más notable la diferencia de impactos asociados con el agotamiento de recursos minerales, metales y la capa de ozono estratosférico entre las calidades de estación alta y baja. Al contrario, los impactos asociados a la acidificación, eutrofización y formación de ozono troposférico de los cuatro modelos de gestión reciben los valores parecidos, alrededor de 2,45E+00 mol H+ eq., 1,36E+01 mol N eq. y 3,73E+00 kg NMVOC eq., respectivamente. En general, la gestión GFI_A presenta el menor potencial, mientras GFT_B y GFI_B son los de mayores potenciales y presentan una escala de magnitud similar.

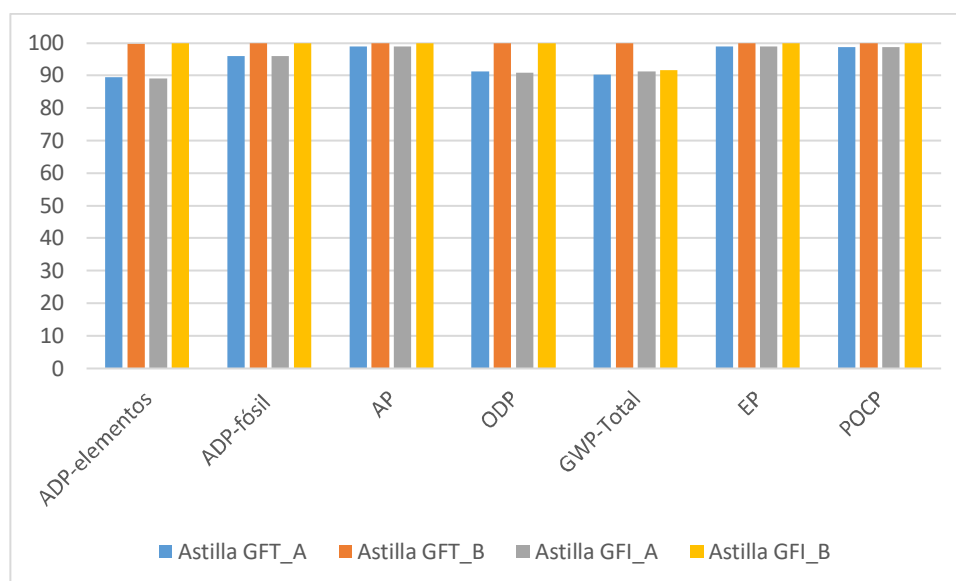


Figura 6. Comparación por indicador de impacto ambiental para el ciclo de vida de una tonelada de astilla procedente de los 4 modelos de gestión

ii. Resultado por etapa del ciclo de vida:

A continuación, se muestran los resultados de ciclo de vida de la unidad declarada de 1 tn de astilla procedente de la madera que presenta menor impacto ambiental, GFI_A.

Tabla 18. Contribución por etapa del ciclo de vida de una tonelada de astilla al impacto total, valores absolutos

Indicador de impacto	Unidad	Total	Obtención madera seca	Transporte madera	Trituración	Distribución	Quema
ADP-elementos	kg Sb eq	3,06E-06	8,39E-07	1,75E-07	3,97E-07	2,35E-07	1,42E-06
ADP-fósil	MJ	1,22E+03	1,14E+02	5,73E+01	1,28E+02	7,66E+01	8,49E+02
AP	mol H+ eq	2,73E+00	6,57E-02	7,84E-03	9,20E-02	1,07E-02	2,56E+00
ODP	kg CFC11 eq	8,31E-06	1,80E-06	9,59E-07	2,08E-06	1,28E-06	2,19E-06
GWP-Total	kg CO2 eq	1,07E+03	-1,83E+03	4,07E+00	9,27E+00	5,40E+00	2,88E+03
EP	mol N eq	1,35E+01	3,06E-01	1,38E-02	4,46E-01	1,98E-02	1,28E+01
POCP	kg NMVOC eq	3,70E+00	1,05E-01	4,89E-03	1,14E-01	6,99E-03	3,47E+00

En el ciclo de vida de la astilla, se puede ver claramente que la combustión es la etapa que contribuye más al impacto total, sobre todo en los impactos asociados a la eutrofización, acidificación y formación de ozono troposférico (ver Fig. 7). La obtención de madera también tiene un papel importante en las categorías de agotamiento de recursos abióticos y agotamiento de la capa de ozono estratosférico. El transporte de troncos a la aserradora presenta un ligeramente menor impacto comparada con la

distribución al cliente, ya que tanto la distancia transportada y el tipo de camión es de menor escala.

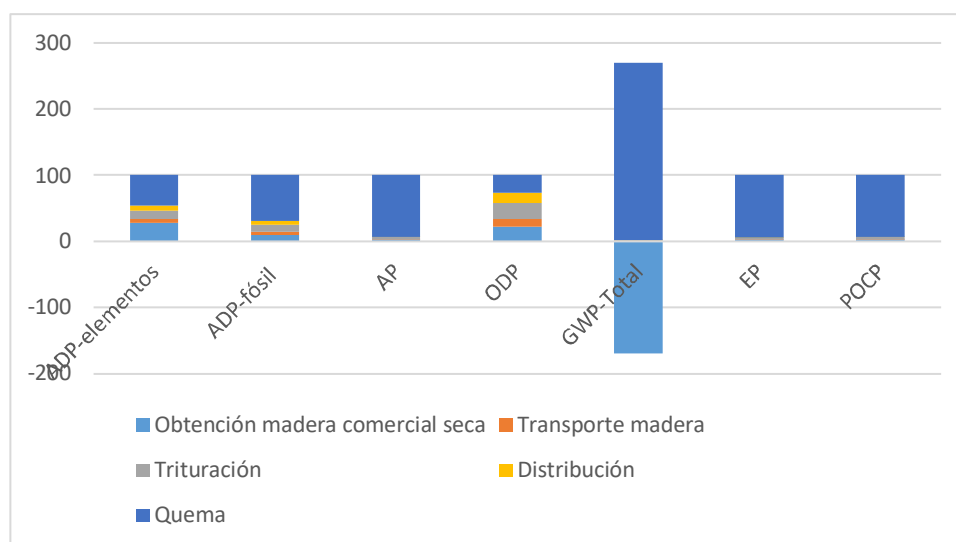


Figura 7. Impacto ambiental asociado a cada etapa dentro del ciclo de vida de una tonelada de astilla, %

4.4. Una tonelada de leña

i. Comparación de impacto ambiental del ciclo de vida de la unidad declarada de 1 tn Leña procedente de los 4 modelos de gestión:

La Tabla 19 muestra los resultados de impacto ambiental total según los 6 indicadores determinados previamente.

Tabla 19. Resultados de impacto ambiental del ciclo de vida de una tonelada de leña a procedente de cuatro modelos de gestión, por indicador, valores absolutos

Indicador de impacto	Unidad	Leña GFT_A	Leña GFT_B	Leña GFI_A	Leña GFI_B
ADP-elementos					
Potencial de agotamiento abiótico de recursos no fósiles	kg Sb eq	3,35E-06	3,73E-06	3,33E-06	3,74E-06
ADP-fósil					
Potencial de agotamiento abiótico de recursos fósiles	MJ	1,02E+03	1,08E+03	1,02E+03	1,08E+03
AP					
Acidificación, reducción del pH	mol H+ eq	2,13E+00	2,16E+00	2,12E+00	2,16E+00
ODP					
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	9,16E-06	1,00E-05	9,12E-06	1,00E-05
GWP-Total					
	kg CO2 eq	7,80E+02	9,03E+02	7,91E+02	7,96E+02

Aumento temperatura del planeta debido a las emisiones de CO ₂ , CH ₄ N ₂ O a la atmósfera.					
EP Potencial de eutrofización	mol N eq	1,05E+01	1,06E+01	1,05E+01	1,06E+01
POCP Formación de ozono troposférico	kg NMVOC eq	3,36E+00	3,41E+00	3,35E+00	3,41E+00

Mediante la Tabla 19 y la Figura 8, para una tonelada de leña se observa un patrón similar en todas las categorías de impacto analizadas como en el caso de la astilla, pues el modelo del ciclo de vida de estos dos productos es similar. Los impactos de agotamiento de recursos fósiles y calentamiento global son de menores magnitudes, tal que la energía necesaria en la trituración de astilla es tres veces más que la que se usa para procesar la leña.

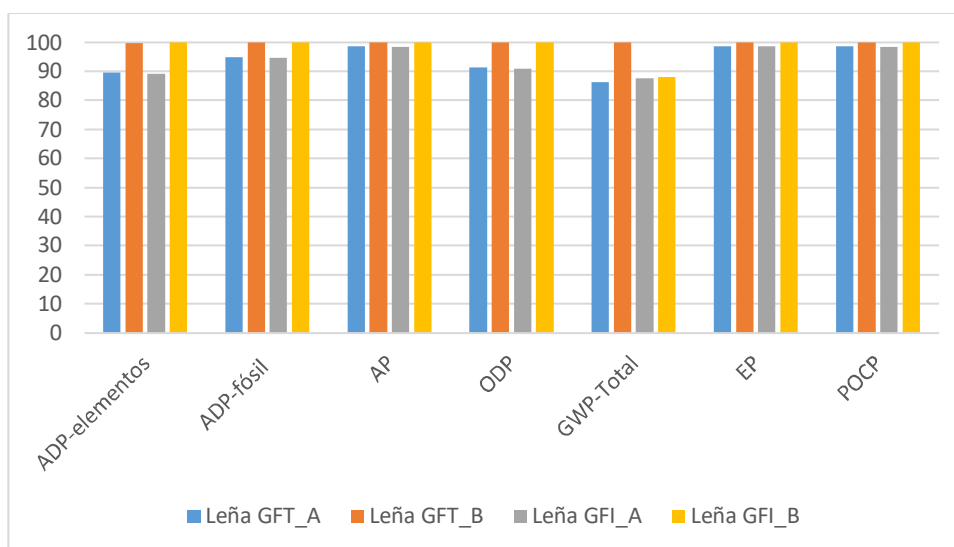


Figura 8. Comparación por indicador de impacto ambiental para el ciclo de vida de una tonelada de leña procedente de los 4 modelos de gestión

ii. Resultado por etapa del ciclo de vida:

A continuación, se muestran los resultados de ciclo de vida de la unidad declarada de 1 tn de leña procedente de la madera que presenta menor impacto ambiental, GFI_A.

Tabla 20. Contribución por etapa del ciclo de vida de una tonelada de leña al impacto total, valores absolutos

Indicador de impacto	Unidad	Total	Obtención madera seca	Transporte madera	Procesamiento	Distribución	Quema
ADP-elementos	kg Sb eq	3,33E-06	9,10E-07	5,71E-07	5,75E-07	3,51E-07	9,20E-07
ADP-fósil	MJ	1,02E+03	1,23E+02	1,86E+02	4,65E+01	1,15E+02	5,50E+02
AP	mol H+ eq	2,12E+00	7,13E-02	2,55E-02	1,99E-02	1,57E-02	1,99E+00
ODP	kg CFC11 eq	9,12E-06	1,95E-06	3,12E-06	7,10E-07	1,92E-06	1,42E-06
GWP-Total	kg CO2 eq	7,91E+02	-1,98E+03	1,33E+01	1,83E+01	8,15E+00	2,73E+03
EP	mol N eq	1,05E+01	3,32E-01	4,48E-02	8,61E-02	2,75E-02	9,97E+00
POCP	kg NMVOC eq	3,35E+00	1,14E-01	1,59E-02	4,23E-02	9,77E-03	3,17E+00

La Figura 9 indica que, en el ciclo de vida de una tonelada de leña, la combustión es el responsable de mayor impacto ambiental, seguido la obtención de madera a pie de pista y su transporte al aserrado. Esto se manifiesta más visiblemente en su potencial de calentamiento global, acidificación, eutrofización y formación de ozono troposférico. La mayoría de impacto ambiental de la tonelada de leña se genera pues al completar su vida útil. Los impactos asociados al agotamiento de recursos fósiles son también significantes, pues sus principales contribuidores son la obtención de madera, el transporte, al igual que su procesamiento y distribución al cliente.

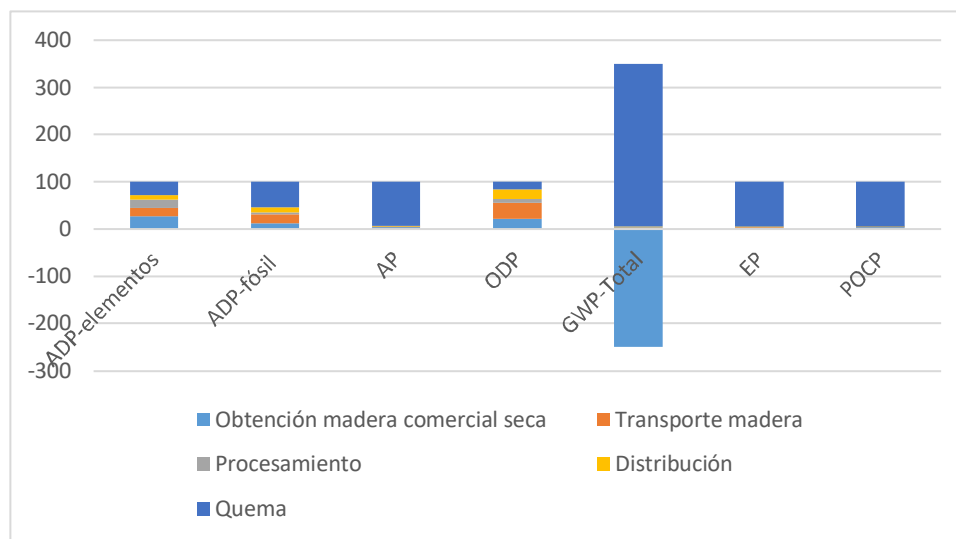


Figura 9. Impacto ambiental asociado a cada etapa dentro del ciclo de vida de una tonelada de leña, %

4.5. Un palet de madera

i. Comparación de impacto ambiental del ciclo de vida de la unidad declarada de 1 Europalét de madera procedente de los 4 modelos de gestión:

La Tabla 21 muestra los resultados de impacto ambiental del ciclo de vida de un europalét procedente de los cuatro modelos de gestión.

Tabla 21. Resultados de impacto ambiental del ciclo de vida de un euro-palet procedente de cuatro modelos de gestión, por indicador, valores absolutos

Indicador de impacto	Unidad	Palet GFT_A	Palet GFT_B	Palet GFI_A	Palet GFI_B
ADP-elementos Potencial de agotamiento abiótico de recursos no fósiles	kg Sb eq	3,07E-07	3,19E-07	3,07E-07	3,20E-07
ADP-fósil Potencial de agotamiento abiótico de recursos fósiles	MJ	5,12E+01	5,28E+01	5,11E+01	5,29E+01
AP Acidificación, reducción del pH	mol H+ eq	2,75E-02	2,85E-02	2,75E-02	2,85E-02
ODP Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	6,02E-07	6,29E-07	6,01E-07	6,30E-07
GWP-Total Aumento temperatura del planeta debido a las emisiones de CO ₂ , CH ₄ N ₂ O a la atmósfera.	kg CO ₂ eq	-2,54E+01	-2,16E+01	-2,51E+01	-2,49E+01
EP Potencial de eutrofización	mol N eq	1,11E-01	1,16E-01	1,11E-01	1,16E-01
POCP Formación de ozono troposférico	kg NMVOC eq	2,97E-02	3,13E-02	2,97E-02	3,13E-02

La Tabla 21 expone la escala muy elevada del impacto sobre el agotamiento de recursos fósiles – especialmente comparado con el potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico, recursos metales y minerales. El potencial vinculado al calentamiento global tiene valores negativos, indicando el efecto de retención de carbono.

La Figura 10 demuestra la comparación de magnitud de potencial de impacto entre los Europalét hechos de la madera de pino procedente de los 4 modelos de gestión. En todas las categorías, el potencial de impacto es bastante similar para los 4 sujetos. Los modelos de estación de calidad alta presentan menos impacto y a la vez, más retención de carbono durante su vida útil.

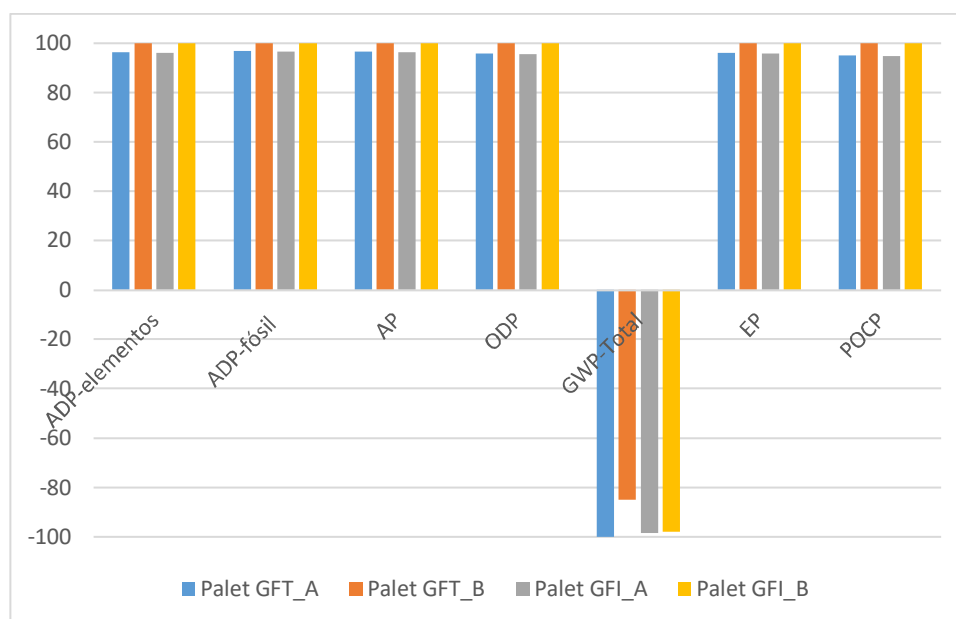


Figura 10. Comparación por indicador de impacto ambiental para el ciclo de vida de un europalét de madera de pino procedente de los 4 modelos de gestión

ii. Resultado por etapa del ciclo de vida:

La Tabla 22 muestra los resultados de la contribución de cada etapa durante el ciclo de vida Europalét fabricado con la madera de menor impacto GFI_A a su impacto total:

Tabla 22. Contribución por etapa del ciclo de vida de un europalét al impacto total, valores absolutos

Indicador de impacto	Unidad	Total	Obtención madera serrada (GFI_A)	Montaje	Distribución	Gestión residuos
ADP-elementos	kg Sb eq	3,07E-07	1,12E-07	6,07E-08	3,93E-08	9,46E-08
ADP-fósil	MJ	5,11E+01	3,44E+01	5,64E-01	1,28E+01	3,30E+00
AP	mol H+ eq	2,75E-02	1,71E-02	1,30E-04	1,80E-03	8,48E-03
ODP	kg CFC11 eq	6,01E-07	3,55E-07	4,36E-09	2,15E-07	2,69E-08
GWP-Total	kg CO2 eq	-2,51E+01	-5,99E+01	2,43E-02	9,05E-01	3,39E+01
EP	mol N eq	1,11E-01	6,36E-02	2,31E-04	3,32E-03	4,40E-02
POCP	kg NMVOC eq	2,97E-02	1,75E-02	1,60E-04	1,17E-03	1,09E-02

En todas las categorías de impacto, la obtención de madera serrada para el montaje es la etapa más impactante, pero a la vez, presenta un efecto de retención de carbono importante. El tratamiento de los residuos del palet al finalizar su vida útil es el segundo contribuidor al impacto total, especialmente en emisión de gases de efecto invernadero

al devolver parcialmente su contenido de carbono biogénico al medio ambiente. También, se observa que la distribución de los palét tiene un potencial de agotamiento de capa ozono estratosférico y recursos fósiles. En comparación con las demás etapas, el montaje presenta únicamente un impacto notable en la categoría de agotamiento de recursos metales (Fig. 11).

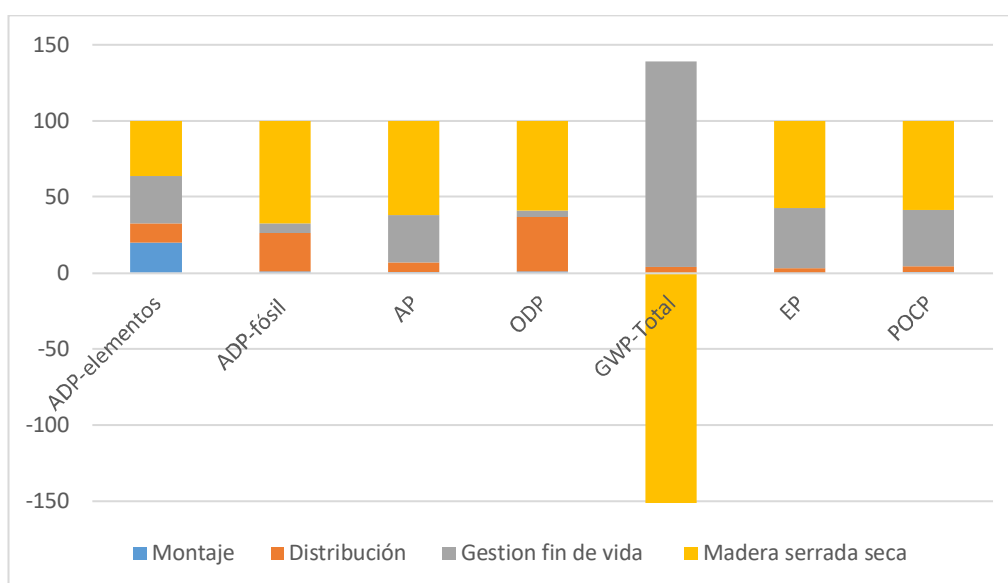


Figura 11. Impacto ambiental asociado a cada etapa dentro del ciclo de vida de un europalét, %

4.6. Un metro cúbico de viga de madera

i. Comparación de impacto ambiental del ciclo de vida de la unidad declarada de 1 m3 Viga procedente de los 3 modelos de gestión:

La Tabla 23 muestra los resultados de impacto ambiental total del ciclo de vida de un metro cúbico de viga de madera de los modelos GFT_A, GFI_A y GFI_B.

Tabla 23. Resultados de impacto ambiental del ciclo de vida de un metro cúbico de viga de madera procedente de tres modelos de gestión, por indicador, valores absolutos

Indicador de impacto	Unidad	LCA Viga GFT_A	LCA Viga GFI_A	LCA Viga GFI_B
ADP-elementos				
Potencial de agotamiento abiótico de recursos no fósiles	kg Sb eq	5,15E-06	5,68E-06	5,91E-06
ADP-fósil				
Potencial de agotamiento abiótico de recursos fósiles	MJ	9,38E+02	1,04E+03	1,08E+03
AP				
Acidificación, reducción del pH	mol H+ eq	5,55E-01	6,56E-01	6,74E-01
ODP				
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	1,10E-05	1,20E-05	1,25E-05
GWP-Total				
Aumento temperatura del planeta debido a las emisiones de CO ₂ , CH ₄ N ₂ O a la atmósfera.	kg CO ₂ eq	-1,98E+02	-7,19E+01	-6,97E+01
EP				
Potencial de eutrofización	mol N eq	2,32E+00	2,78E+00	2,87E+00
POCP				
Formación de ozono troposférico	kg NMVOC eq	6,12E-01	7,30E-01	7,59E-01

El procesamiento de madera serrada seca requiere fueles y calor proveniente de la quema de biomasa. De acuerdo con esta información, el ciclo de vida de la vigería supone mayores impactos asociados al agotamiento de recursos fósiles y eutrofización (Tabla 23).

La Figura 12 muestra la comparación de magnitud de impacto total de cada tipo de viga. La viga GFT_A es de pino y al tener una densidad menor, requiere menos energía en su procesamiento y peso al transportar, por lo cual presenta menos impacto total en todos los indicadores y a la vez, presenta un balance de carbono más negativo. Al contrario, la viga procedente de GFI_B es la de mayor impacto.

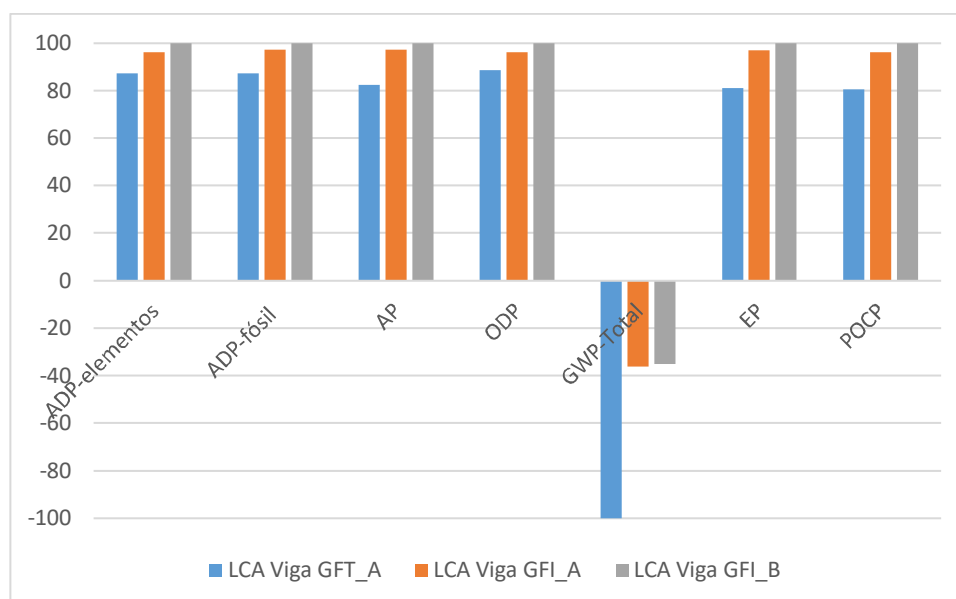


Figura 12. Comparación por indicador de impacto ambiental para el ciclo de vida de un metro cúbico de viga de madera procedente de tres modelos de gestión GFT_A, GFI_A y GFI_B

ii. Resultado por etapa del ciclo de vida:

La Tabla 24 muestra los resultados de la contribución de cada etapa durante el ciclo de vida de la vigería fabricada con la madera de menor impacto GFI_A a su impacto total:

Tabla 24. Contribución por etapa del ciclo de vida de un metro cúbico de viga de madera al impacto total, valores absolutos

Indicador de impacto	Unidad	Total	Obtención madera serrada seca	Distribución	Gestión Residuos
ADP-elementos	kg Sb eq	5,68E-06	1,87E-06	1,11E-06	2,70E-06
ADP-fósil	MJ	1,04E+03	5,89E+02	3,62E+02	9,34E+01
AP	mol H+ eq	6,56E-01	3,63E-01	5,07E-02	2,42E-01
ODP	kg CFC11 eq	1,20E-05	5,16E-06	6,06E-06	7,54E-07
GWP-Total	kg CO2 eq	-7,19E+01	-1,07E+03	2,55E+01	9,71E+02
EP	mol N eq	2,78E+00	1,43E+00	9,36E-02	1,26E+00
POCP	kg NMVOC eq	7,30E-01	3,86E-01	3,30E-02	3,10E-01

En el ciclo de vida de una viga, la etapa que contribuye más al impacto total es la fabricación de esta a partir de la materia prima (mayor que 50% del impacto total en potencial de agotamiento de recursos fósiles, acidificación, eutrofización y formación de ozono fotoquímico). Sin embargo, siendo madera estructural producida con relativamente poco procesamiento, esta etapa conserva su capacidad de retención de

carbono en un largo horizonte de tiempo y presenta un balance de carbono significativo negativo (Fig. 13). La distribución al cliente supone gran impacto en las categorías de agotamiento de recursos fósiles y capa de ozono estratosférico, mientras la gestión de residuos es el segundo contribuidor en las categorías de eutrofización y oxidación fotoquímica.

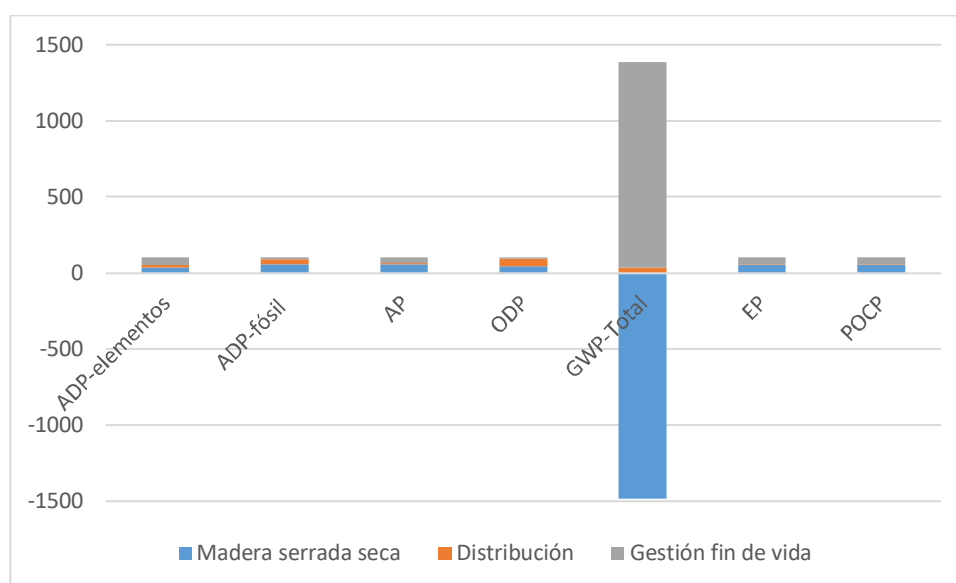


Figura 13. Impacto ambiental asociado a cada etapa dentro del ciclo de vida de un metro cúbico de viga GFI_A, %

4.7. Un metro cúbico de chapa de madera

La Tabla 25 muestra los resultados de la contribución de cada etapa del ciclo de vida al impacto total de un metro cúbico de chapa fabricada con la madera procedente de GFI_A:

Tabla 25. Contribución por etapa del ciclo de vida de un metro cubico de chapa al impacto total, valores absolutos

Indicador de impacto	Unidad	Total	Fabricación chapa	Distribución	Gestión residuos
ADP-elementos	kg Sb eq	8,68E-06	2,66E-06	3,32E-06	2,70E-06
ADP-fósil	MJ	2,04E+03	8,62E+02	1,08E+03	9,34E+01
AP	mol H+ eq	8,38E-01	4,47E-01	1,48E-01	2,42E-01
ODP	kg CFC11 eq	2,78E-05	8,93E-06	1,81E-05	7,54E-07
GWP-Total	kg CO2 eq	-5,02E+01	-1,10E+03	7,70E+01	9,71E+02
EP	mol N eq	3,23E+00	1,71E+00	2,60E-01	1,26E+00
POCP	kg NMVOC eq	8,65E-01	4,62E-01	9,24E-02	3,10E-01

La Tabla 25 indica que, en el ciclo de vida de la chapa, la etapa que influye más en la mayoría de los indicadores de impacto es la fabricación de esta a partir de la materia prima (especialmente en acidificación, eutrofización y formación de ozono troposférico). La distribución al cliente supone gran impacto en las categorías de cambio climático, agotamiento de recursos fósiles y capa de ozono estratosférico, mientras la gestión de residuos es el segundo contribuidor en las categorías de acidificación, eutrofización y formación de ozono fotoquímico.

La Figura 14 muestra los impactos para cada etapa del ciclo de vida de la chapa, al potencial total. Se observa la magnitud de compensación de gases de efecto invernadero de la etapa de obtención de madera, al contrario de las emisiones de las demás variables.

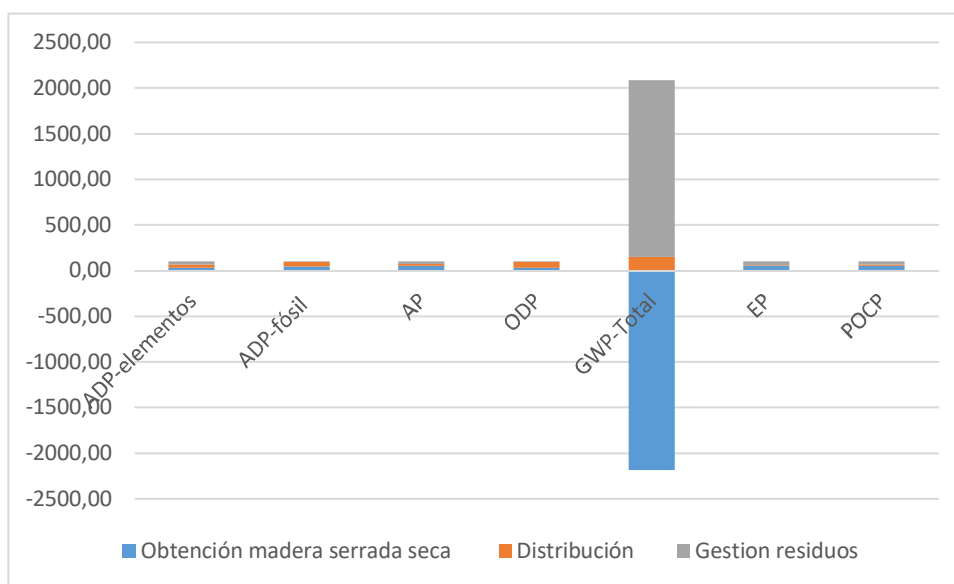


Figura 14. Impacto ambiental asociado a cada etapa dentro del ciclo de vida de un metro cúbico de chapa GFI_A, %

4.8. Un marco de ventana de madera con visibilidad de 1 m²

i. Comparación de impacto ambiental del ciclo de vida entre la unidad declarada de 1 marco de ventana de GFI_A y GFI_B

La Tabla 26 muestra los resultados de impacto ambiental total del ciclo de vida de un marco de ventana fabricada con la madera procedente de GFI_A y GFI_B:

Tabla 26. Resultados de impacto ambiental del ciclo de vida de un marco de ventana de madera procedente de dos modelos de gestión innovador, por indicador, valores absolutos

Indicador de impacto	Unidad	GFI_A Ventana	GFI_B Ventana
ADP-elementos			
Potencial de agotamiento abiótico de recursos no fósiles	kg Sb eq	1,74E-03	1,74E-03
ADP-fósil			
Potencial de agotamiento abiótico de recursos fósiles	MJ	4,70E+03	4,70E+03
AP			
Acidificación, reducción del pH	mol H+ eq	4,04E+00	4,04E+00
ODP			
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	3,31E-05	3,32E-05
GWP-Total			
Aumento temperatura del planeta debido a las emisiones de CO ₂ , CH ₄ N ₂ O a la atmósfera.	kg CO ₂ eq	2,02E+02	2,03E+02
EP			
Potencial de eutrofización	mol N eq	3,57E+00	3,59E+00
POCP			
Formación de ozono troposférico	kg NMVOC eq	1,30E+00	1,30E+00

A nivel de impacto total por ciclo de vida, no se presenta notable diferencia entre los marcos de ventana producidas con las maderas de los escenarios de gestión innovador (Fig. 15). Los mayores impactos son asociados al agotamiento de recursos fósiles y calentamiento global.

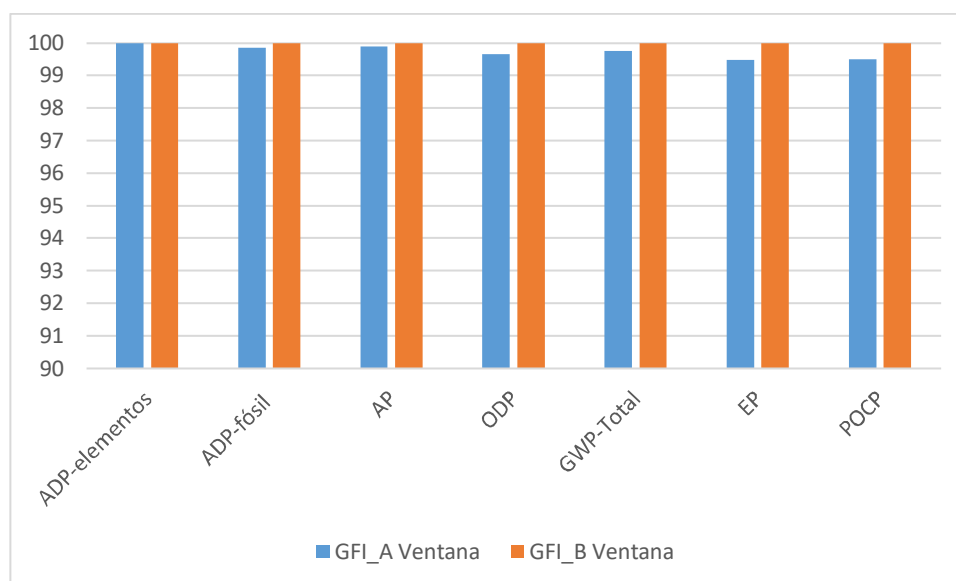


Figura 15. Comparación por indicador de impacto ambiental para el ciclo de vida de un marco de ventana procedente de las gestiones innovadoras GFI_A y GFI_B

ii. Resultado por etapa del ciclo de vida:

La Tabla 27 muestra los resultados de la contribución de cada etapa del ciclo de vida al impacto total de un marco de ventana fabricada con la madera procedente de GFI_A:

Tabla 27. Contribución por etapa del ciclo de vida de un marco de madera de madera al impacto total, valores absolutos

Indicador de impacto	Unidad	Total	Fabricación Ventana	Distribución	Mantenimiento	Gestión fin de vida
ADP-elementos	kg Sb eq	1,74E-03	1,65E-03	4,22E-07	9,48E-05	2,81E-07
ADP-fósil	MJ	4,70E+03	1,75E+03	1,38E+02	2,79E+03	1,02E+01
AP	mol H+ eq	4,04E+00	1,04E+00	1,89E-02	2,96E+00	2,53E-02
ODP	kg CFC11 eq	3,31E-05	9,22E-06	2,31E-06	2,15E-05	8,77E-08
GWP-Total	kg CO2 eq	2,02E+02	-1,17E+02	9,80E+00	2,09E+02	1,00E+02
EP	mol N eq	3,57E+00	1,58E+00	3,31E-02	1,83E+00	1,31E-01
POCP	kg NMVOC eq	1,30E+00	5,06E-01	1,18E-02	7,46E-01	3,23E-02

La Tabla 27 y la Figura 16 indican que el mantenimiento del marco de ventana es la etapa mas impactante ambientalmente, representando el mayor peso en todas las categorías de impacto excepto el agotamiento de recursos no fosiles, donde el principal contribuidor es la etapa de fabricación. Este hecho da lugar a la confirmación del gran impacto de la pintura comercial que se utiliza frecuentemente en la construcción. A su

vez, la fabricación aún imparte un gran potencial de compensación de gases de efecto invernadero.

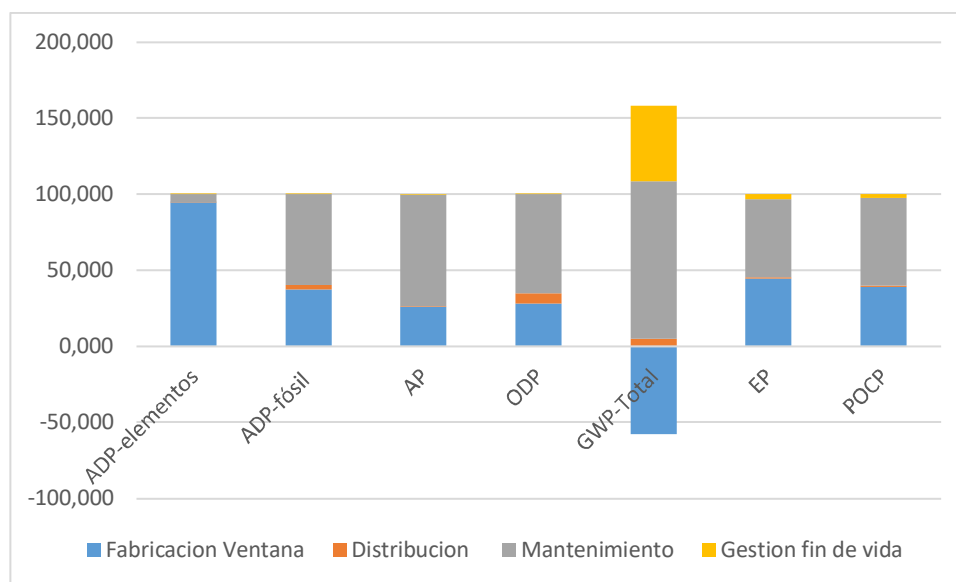


Figura 16. Impacto ambiental asociado a cada etapa dentro del ciclo de vida de un marco de madera de GFI_A, %

5. Comparación entre productos de madera y productos no madereros

En este apartado tiene lugar la comparación entre productos de madera y sus productos equivalentes no madereros, con las mismas unidades funcional/ declarada. La Tabla 28 recoge el resumen de los nombres de los productos a pie de pista, productos finales, productos a comparar y gestión afectada según especie:

Tabla 28. Nombres de los productos a pie de pista, productos finales, productos a comparar y gestión afectada según especie

Producto forestal	Producto final	Producto a comparar	Gestión afectada	Especie
Trituración/ papel	Astilla G30	Gasoil	GFT y GFI	Pino
Leña de roble	Leña	Gasoil	GFT y GFI	Roble
Madera para embalaje	Euro palet de madera	Palet plástico	GFT y GFI	Pino
Madera estructural	Viga de pino	Viga de acero	GFT_A	Pino
	Viga de roble	Viga de acero	GFI_A y GFI_B	Roble
Chapa	Chapa	Melamina	GFI_A	Frondosas
Marco de ventana	Marco ventana de madera	Marco ventana de aluminio	GFI_A y GFI_B	Pino

5.1.1. Astilla, Leña y Gasoil

En este apartado se muestra una comparativa del potencial de impacto generado por la obtención de energía en forma de calor mediante diferentes materias:

	Leña (GFI_A)	Astilla (GFI_A)	Gasoil
Unidad comparativa	1 MJ		

Para ella se ha utilizado las siguientes simulaciones:

- 1 MJ Quema Leña GFI_A
- 1 MJ Quema Astilla GFI_A

- 1 MJ Heat, central or small-scale, other than natural gas {Europe without Switzerland} | heat production, light fuel oil, at boiler 100kW condensing, non-modulating | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)

Mediante la Tabla 29 y la Figura 17 se observa que la generación de 1 MJ de calor por gasoil supone el mayor impacto asociado al agotamiento de recursos abiótico y capa de ozono estratosférico, cambio climático y eutrofización. Los parámetros clave de emisión son CO, PM, NO_x, CH₄, NMVOC. La leña y la astilla, al ser de origen biogénico no presentan impactos en el agotamiento de recursos fósiles y emisión de gases de efecto invernadero. Sin embargo, estos dos tiene la mayor magnitud en potencial de eutrofización y formación de oxidación fotoquímica.

Tabla 29. Comparación de impacto ambiental total en la generación de 1 MJ de calor

Indicador de impacto	Unidad	Astilla	Leña	Gasoil
ADP-elementos				
Potencial de agotamiento abiótico de recursos no fósiles	kg Sb eq	1,80E-10	2,08E-10	3,53E-09
ADP-fósil				
Potencial de agotamiento abiótico de recursos fósiles	MJ	6,68E-02	5,71E-02	1,17E+00
AP				
Acidificación, reducción del pH	mol H+ eq	1,46E-04	1,16E-04	2,14E-04
ODP				
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	4,76E-10	5,22E-10	1,94E-08
GWP-Total				
Aumento temperatura del planeta debido a las emisiones de CO ₂ , CH ₄ N ₂ O a la atmósfera.	kg CO ₂ eq	1,52E-02	-2,80E-03	8,47E-02
EP				
Potencial de eutrofización	mol N eq	7,25E-04	5,73E-04	2,82E-04
POCP				
Formación de ozono troposférico	kg NMVOC eq	1,99E-04	1,84E-04	1,02E-04

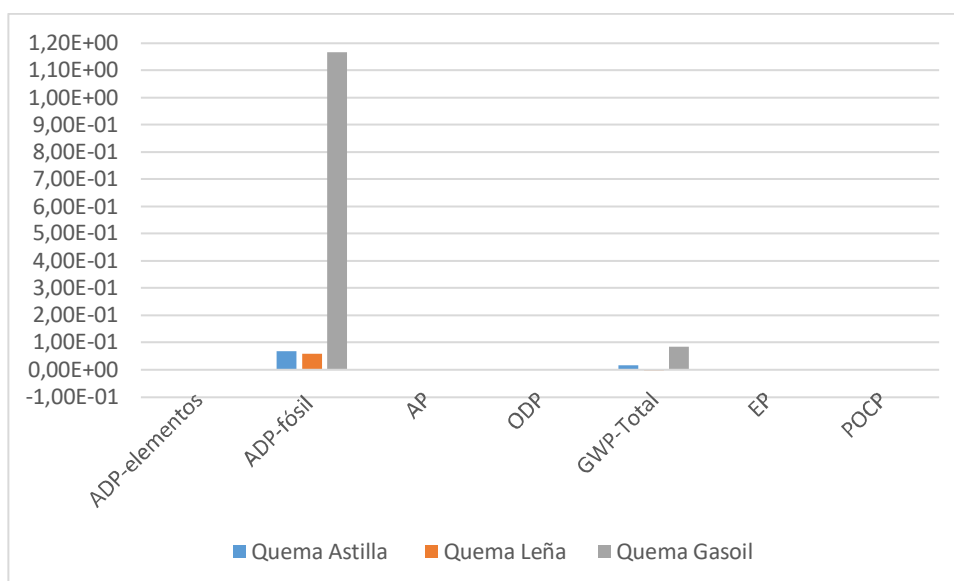


Figura 17. Gráfico de barra de comparación de impacto ambiental en la generación de 1 MJ de calor por tres tipos de combustible

5.1.2. Palet de madera y Palet de plástico

A continuación, se muestra una comparativa entre el ciclo de vida de la unidad de un europalét de madera y de un palet plástico de las mismas medidas, potenciales de carga y capacidad de reutilización.

Se supone que el palet plástico tiene una masa de 21 kg y está hecho de 15% de polietileno reciclado, distribuido en las mismas condiciones que el palet de madera. No se considera ningún tipo de mantenimiento durante su vida útil. Para la gestión fin de vida del palet plástico, se considera el escenario de residuos de plástico mixto en España (último dato disponible Eurostat 2018).

Los resultados de la comparativa se presentan en la Tabla 30:

Tabla 30. Comparación de impacto ambiental total entre un euro palet de madera y un euro palet de plástico

Indicador de impacto	Unidad	LCA Palet GFI_A	LCA Palet plástico
ADP-elementos			
Potencial de agotamiento abiótico de recursos no fósiles	kg Sb eq	3,07E-07	5,85E-05
ADP-fósil			
	MJ	5,11E+01	1,40E+03

Potencial de agotamiento abiótico de recursos fósiles			
AP Acidificación, reducción del pH	mol H ⁺ eq	2,75E-02	6,57E+01
ODP Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	6,01E-07	2,48E-01
GWP-Total Aumento temperatura del planeta debido a las emisiones de CO ₂ , CH ₄ N ₂ O a la atmósfera.	kg CO ₂ eq	-2,51E+01	2,74E-06
EP Potencial de eutrofización	mol N eq	1,11E-01	2,11E-02
POCP Formación de ozono troposférico	kg NMVOC eq	2,97E-02	1,53E-02

En todas las categorías de impacto, el impacto total de un palet plástico supera entre 3 a 30 veces los de un palet de madera. El palet de madera a su vez presenta beneficio de retención de carbono con un balance negativo en el indicador GWP-Total (Fig. 18).

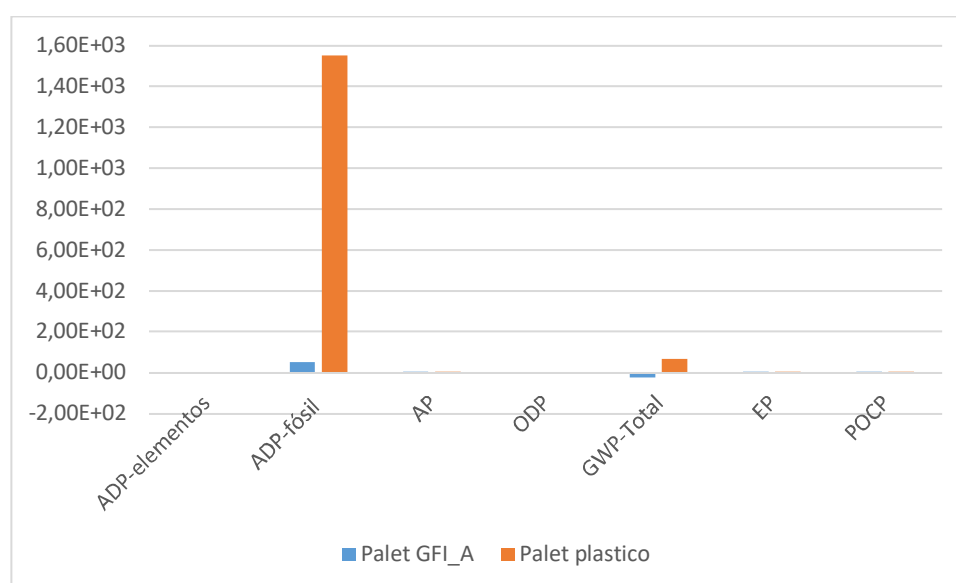


Figura 18. Gráfico de barra de comparación de impacto ambiental del ciclo de vida de un europalet de madera y plástico

5.1.3. Viga de madera y Viga de hormigón armado

A continuación, se muestra una comparativa del ciclo de vida de un m³ de viga de madera y viga de hormigón armado. Debido a la falta de información de fuente acreditada sobre las etapas de instalación, uso y mantenimiento, se han omitido estas etapas. Los resultados de este apartado tienen valor orientativo.

	Viga madera (GFI_A)	Viga hormigón armado
Unidad	1 m ³	
Peso (kg)	630	2420

La composición de la viga de hormigón armado se ha obtenido de la base de datos BEDEC del ITEC y que consiste en hormigón y armadura. Para el modelado de fabricación del hormigón armado se ha adaptado las siguientes materias y sus correspondientes procesos de Ecoinvent:

(1) Hormigón para vigas: *Concrete, 25MPa {RoW}* | *concrete production 25MPa* | *Cut-off, U*

En concreto, el hormigón 25 MPa es de resistencia moderada y es adecuado para cimientos reforzados y losas, pisos de casas de uso liviano, caminos, patios, escalones, entradas de vehículos y pisos de garajes.

Densidad: 2.270 kg/m³. La composición del hormigón (para 1 m³) contiene: Cemento Portland con cenizas volantes 270 kg, Agua 126 kg, Grava 1050 kg, Arena 950 kg, Aditivos (inclusores de aire y superplastificantes) 2,48 kg.

(2) Armadura de acero: *Reinforcing steel {RER}* | *producción* | *Corte, U*

Esta materia asimila el mix de producción de acero en Europa laminado en caliente.

Los resultados (Tabla 31 y Gráfico 19) indican que, en todas las categorías estudiadas, la fabricación de 1 m³ de viga de hormigón armado supera entre 2 y 238 veces los impactos potenciales de la de madera (en eutrofización y agotamiento de recursos abióticos no fósiles, respectivamente). La vigería maderera presenta un valor de calentamiento global negativo.

Tabla 31. Comparación de impacto ambiental total entre una viga de madera y una viga de hormigón armado

Indicador de impacto	Unidad	Viga madera	Viga hormigón armado
ADP-elementos Potencial de agotamiento abiótico de recursos no fósiles	kg Sb eq	5,68E-06	1,36E-03
ADP-fósil Potencial de agotamiento abiótico de recursos fósiles	MJ	1,04E+03	5,95E+03
AP	mol H+ eq	6,56E-01	2,08E+00

Acidificación, reducción del pH			
ODP Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	1,20E-05	4,97E-05
GWP-Total Aumento temperatura del planeta debido a las emisiones de CO ₂ , CH ₄ N ₂ O a la atmósfera.	kg CO ₂ eq	-7,19E+01	6,11E+02
EP Potencial de eutrofización	mol N eq	2,78E+00	5,72E+00
POCP Formación de ozono troposférico	kg NMVOC eq	7,30E-01	2,19E+00

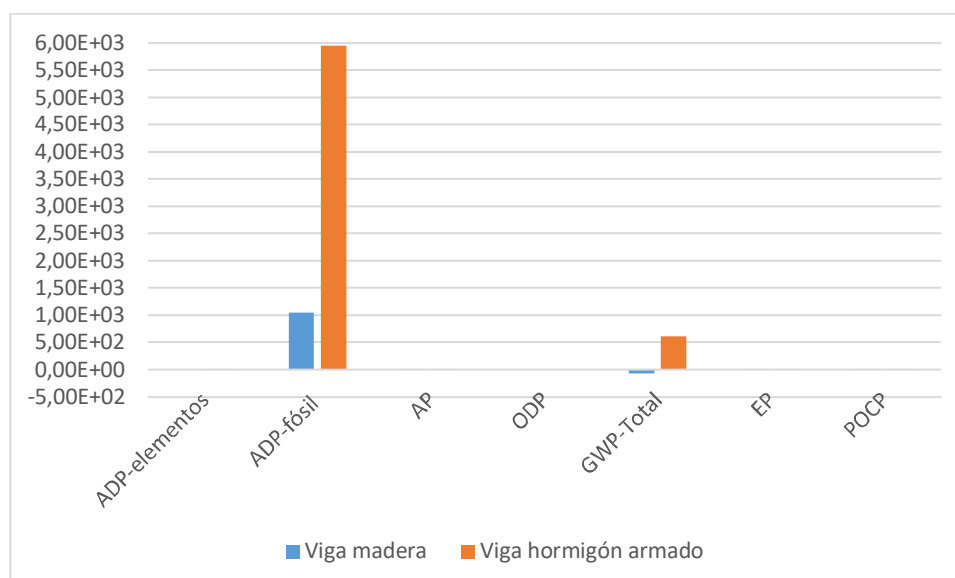


Figura 19. Gráfico de barra de comparación de impacto ambiental entre el ciclo de vida de un metro cúbico de viga de madera y el ciclo de vida de un metro cúbico de viga de hormigón armado

5.1.4. Chapa y Melamina

En este apartado se muestra la comparativa del ciclo de vida de la chapa de madera y un producto hecho de otra materia, pero con la equivalente función, la melamina. Para ella, se utiliza la misma unidad de 1 m² con un grosor de 0,8 mm y función de recubierta e embellecedor para las industrias carpinterías y ebanisterías.

	Chapa madera (GFI_A)	Melamina
Unidad	1 m2 con 0,8 mm de grosor	
Peso (kg)	0,504	0,904

Esta información puede orientar a la comparación de estos dos productos si se dispone de información sobre su instalación, uso y mantenimiento, así como su equivalencia funcional en un caso real.

La resina melamínica tiene un peso específico de 1130 kg/m³. La fabricación de la melamina se ha modelado el ciclo de vida de la melamina con los siguientes procesos y materias:

- (1) *Melamine formaldehyde resin {RER} | market for melamine formaldehyde resin | Cut-off, U*
- (2) *Extrusion of plastic sheets and thermoforming, inline {RoW} | processing | Cut-off, U*

Mediante la Tabla 32 y la Figura 20, se puede deducir que, en las seis categorías de impacto analizadas, el potencial de impacto de 1 m² de chapa de madera es muy diminuta comparado con su equivalente de melamina.

Tabla 32. Comparación de impacto ambiental total entre un metro cuadrado de chapa de madera y un metro cuadrado de melamina

Indicador de impacto	Unidad	Chapa	Melamina
ADP-elementos			
Potencial de agotamiento abiótico de recursos no fósiles	kg Sb eq	6,95E-09	1,53E-06
ADP-fósil			
Potencial de agotamiento abiótico de recursos fósiles	MJ	1,63E+00	9,01E+01
AP			
Acidificación, reducción del pH	mol H+ eq	6,70E-04	3,23E-02
ODP			
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	2,23E-08	4,69E-07
GWP-Total			
Aumento temperatura del planeta debido a las emisiones de CO ₂ , CH ₄ N ₂ O a la atmósfera.	kg CO ₂ eq	-4,02E-02	6,65E+00
EP			
Potencial de eutrofización	mol N eq	2,58E-03	7,55E-02
POCP			
Formación de ozono troposférico	kg NMVOC eq	6,92E-04	1,65E-02

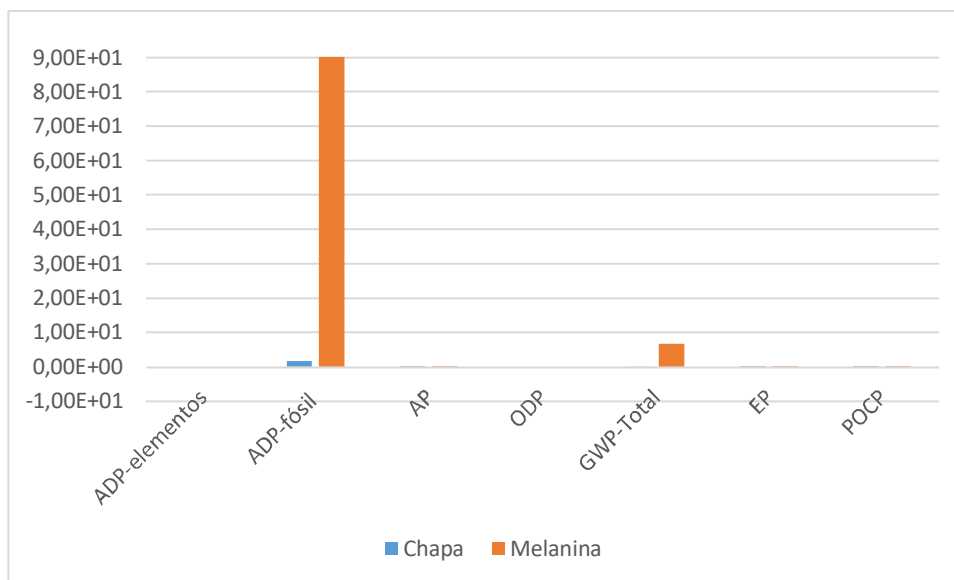


Figura 20. Gráfico de barra de comparación de impacto ambiental entre el ciclo de vida de un metro cuadrado de cubierto de chapa madera y melamina

5.1.5. Ventana de madera y Ventana de aluminio

En este apartado se muestra una comparativa para el ciclo de vida de:

	Ventana de madera	Ventana de aluminio
Unidad comparativa	1 marco de ventana con 1 m ² área visible	
Peso (kg)	80,2	50,7

En la comparación del potencial de impacto ambiental entre estos dos productos, se utilizan las mismas hipótesis sobre el transporte al cliente y la distancia de transporte al gestor de residuos. La cobertura tecnológica en el caso del marco de aluminio permite una incineración de piezas de pintura, caucho, plástico, acero, aluminio, cobre y zinc, y el transporte al sitio de incineración en camiones. Se ha utilizado la adaptación del siguiente proceso de la base de datos:

Window frame, aluminium, U=1.6 W/m²K {GLO}| market for | Cut-off, U

La Tabla 33 y el Gráfico 21 indican que los impactos ambientales de un marco de ventana de aluminio superan significativamente los de un marco de ventana de madera, entre 1,5 y 4,4 veces. A diferencia con los productos madereros de larga vida útil estudiados

anteriormente, el ciclo de vida del marco de madera presenta un balance de carbono positivo.

Tabla 33. Comparación de impacto ambiental total entre un marco de ventana de madera y de aluminio, con 1 m² de visibilidad

Indicador de impacto	Unidad	GFI_A LCA Ventana	LCA Ventana Aluminio
ADP-elementos Potencial de agotamiento abiótico de recursos no fósiles	kg Sb eq	1,74E-03	2,63E-03
ADP-fósil Potencial de agotamiento abiótico de recursos fósiles	MJ	4,70E+03	1,01E+04
AP Acidificación, reducción del pH	mol H ⁺ eq	4,04E+00	7,21E+00
ODP Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC11 eq	3,31E-05	5,19E-05
GWP-Total Aumento temperatura del planeta debido a las emisiones de CO ₂ , CH ₄ N ₂ O a la atmósfera.	kg CO ₂ eq	2,02E+02	8,99E+02
EP Potencial de eutrofización	mol N eq	3,57E+00	8,93E+00
POCP Formación de ozono troposférico	kg NMVOC eq	1,30E+00	2,87E+00

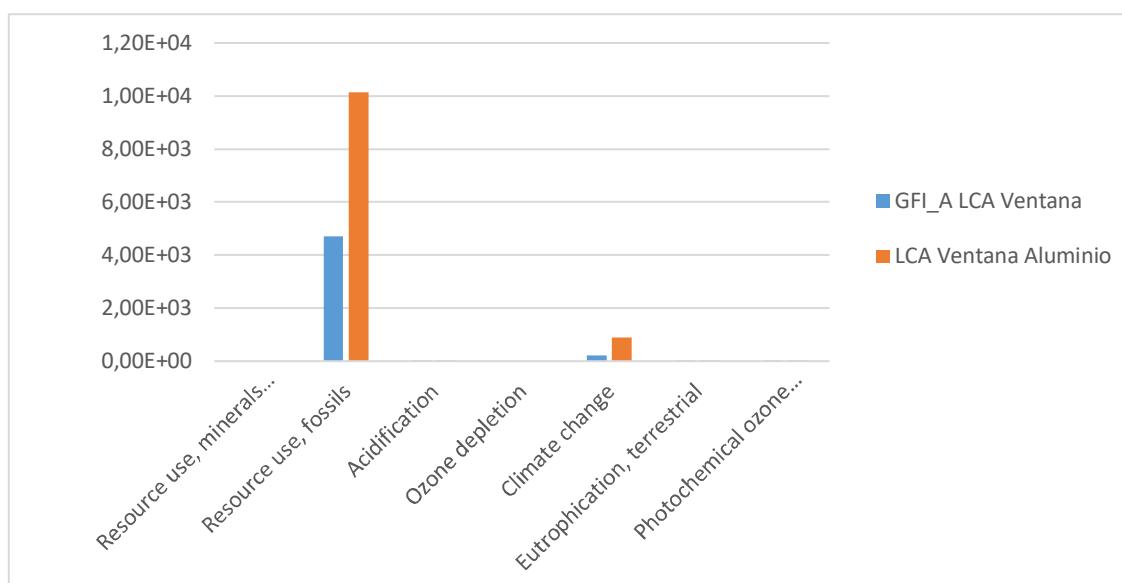


Figura 21. Gráfico de barra de comparación de impacto ambiental del ciclo de vida de un marco de ventana de madera y de aluminio, con 1 m² de visibilidad

6. Estimación de la reducción de huella de carbono por el Efecto de Sustitución

6.1. Introducción

El balance de carbono asociado a la gestión forestal depende de varios factores dinámicos, tanto sobre la gestión en sí, como todo lo que sucede aguas abajo relacionado al ciclo de vida de los productos madereros. Por un lado, el balance de carbono de la práctica silvícola es la diferencia entre la emisión de carbono fósil generada por las operaciones silvícolas y la cantidad de carbono biogénico que puede ser absorbido a lo largo de los años de explotación. Por otro lado, el transporte y transformación de la madera obtenida en diferentes productos incrementará la cantidad de CO₂ emitido, pero a su vez, habrá una importante cantidad de carbono retenido en el producto obtenido, produciéndose un almacenamiento temporal del carbono. También, cabe destacar que el uso de los productos de madera desplaza el de otros materiales (como plástico, hormigón o metales) que pueden tener una mayor huella de carbono. En este contexto, se hace una estimación de los potenciales beneficios a nivel de huella de carbono que pueden tener distintos escenarios de explotación forestal y sus derivados.

El Centro Nacional de Propiedad Forestal (Centre Nacional de la Propieté Forestière) en su proyecto de Entiqueta de Bajo-Carbono (Label Bas Carbone) propone una metodología *ex-ante* para el cálculo de Reducción de Emisiones Indirectas (REI). Ésta considera el uso de productos de madera provenientes de la forestación como herramientas que permite efectos de sustitución de "materiales" y "energías" adicionales en comparación con el escenario de referencia:

- Efecto de sustitución de materiales: al ser utilizada en la construcción en lugar de materiales de alto consumo energético (PVC, aluminio, hormigón, acero, etc.)
- Efecto de sustitución energética: al ser utilizada con fines energéticos en lugar de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas, etc.)

La ecuación a continuación muestra cómo calcular las reducciones de emisiones indirectas para un turno de 150 años (CNPf, 2019):

$$REI_{sustitución} = CS * \sum_{n=1}^{150} (Flux_{project}(n) - Flux_{ref}(n))$$

Donde:

$REI_{sustitución}$: la reducción de emisión por efecto de la sustitución

CS : coeficiente de sustitución (substitution factor) media generada por tonelada de madera (tn CO₂/ t)

$Flux_{project}(n)$: flujo entrante de productos madereros cosechados durante el año n (durante el período entre el año n y el año n+1) en el escenario del proyecto (t)

$Flux_{ref}(n)$: flujo entrante de productos madereros cosechados durante el año n (durante el período entre el año n y el año n+1) en el escenario de referencia (t)

6.2. Coeficiente de sustitución

El coeficiente de sustitución describe cuántas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI, o GHG en inglés) se evitarían si se usara un producto a base de madera en lugar de otro producto para cumplir la misma función. Si el coeficiente es positivo significa que utilizar productos de madera genera menos huella de carbono que utilizar productos de otros materiales (asumiendo el caso típico donde el producto de madera contiene más madera que su alternativa no-madera). Su cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación (Sathre & O'Connor 2010):

$$Factor\ de\ sustitución = \frac{GHG_{non-wood} - GHG_{wood}}{WU_{wood} - WU_{non-wood}}$$

Donde:

$GHG_{non-wood}$ y GHG_{wood} : las emisiones GHG resultadas del uso de las alternativas de madera y no-madera (kg C correspondiente a kg CO₂ equivalente de las emisiones)

WU_{wood} y $WU_{non-wood}$: la cantidad de madera utilizada en las alternativas de madera y no-madera (expresada en kg C)

Valada, T. et al (2016) tras revisar 51 estudios, los cuales proporcionan información sobre 433 factores de sustitución por separado con una variabilidad entre 0,7 y 5,1 kg C/ kg C, llegó a concluir un factor de sustitución medio de 1,2 kg C/ kg C, lo que significa que por cada kilogramo de C en productos madereros que sustituyen productos no

madereros, se produce una reducción media de emisiones de aproximadamente 1,2 kg C (Leskinen, et al., 2018).

Para aplicar la formula, se ha empleado los resultados de la categoría de impacto Calentamiento global de tanto los productos madereros como sus alternativas del [apartado 5](#). Se considera un contenido de carbono biogénico en la madera seca de 50%. El resumen de los valores utilizados, junto con los valores del Coeficiente de sustitución se presentan en la tabla 34. Estos resultados están dentro del rango de CS propuesto por los estudios antecedentes, excepto los casos de la chapa – melamina y marcos de ventana. Los tres productos palet de madera, chapa y marco de ventana de madera son los que presentan mayores coeficientes de sustitución.

Tabla 34. Cálculo de coeficiente de sustitución (tn CO₂/ tn)

Producto de madera	kg CO ₂ eq.	GHG wood (kg C)	WU wood (kg C)	Producto alternativo	kg CO ₂ eq. (kg C eq.)	GHG non-wood (kg C)	WU non-wood (kg C)	kg C desplaza dos/ kg C producto madera	CS
Astilla (1 MJ)	1,13E-01	3,07E-02	0,04	Gasoil (1 MJ)	8,47E-02	2,31E-02	0	-0,20	-0,37
Leña (1 MJ)	1,08E-01	2,96E-02	0,04		8,47E-02	2,31E-02	0	-0,17	-0,31
Palet madera (1 ud)	-2,51E+01	-	11,00	Palet plástico (1 ud)	6,56E+01	1,79E+01	0	1,01	1,84
Viga madera (1 m3)	-7,19E+01	-	315,0	Viga hormigón armado (1 m3)	6,11E+02	1,67E+02	0	0,47	0,86
Chapa (1 m2)	-4,02E-02	-1,10E-02	0,25	Melamina (1 m2)	6,65E+00	1,81E+00	0	7,15	13,12
Marco ventana madera (1 ud)	2,02E+02	5,52E+01	35,00	Marco ventana aluminio (1 ud)	8,99E+02	2,45E+02	0	5,43	9,96

6.3. Flujo de madera

Por un lado, se considera el flujo de referencia la situación sin gestión, donde no se aprovecha la madera ni la biomasa a lo largo del turno. El flujo de referencia $Flux_{ref}(n)$ por tanto recibe un valor de 0.

Por el otro lado, para cuantificar el REI total de cada gestión, es esencial convertir entre el *flujo de madera* (madera comercial seca a pie de pista en masa o volumen) en la *unidad funcional* (equivalencia en el efecto de sustitución). El resumen de estas unidades de conversión de los productos se recoge en la Tabla 35:

Tabla 35. Unidad de conversión entre flujo de madera y unidad funcional por producto

Producto	Unidad de conversión (flujo madera/ unidad funcional)	Valor
Astilla	tn madera/ MJ	5,24E-05
Leña	tn madera/ MJ	5,83E-05
Palet	m3 madera/ europalét	0,087
Viga	m3 madera/ m3 viga	1,5
Chapa	m3 madera/ m2 chapa de 0,8 mm grosor	1,03E-03
Ventana	m3 madera serrada/ ventana	0,132

6.4. Reducción de emisión por efecto de sustitución

Los resultados de la reducción de emisión por efecto de sustitución se presentan en la tabla 36 y la Figura 22:

Tabla 36. Resultados de REI por modelo de gestión

REI (tn CO2)	GFT_A	GFT_B	GFI_A	GFI_B
Astilla	2,13E+05	2,60E+05	2,19E+05	2,03E+05
Leña	3,44E+06	1,95E+06	1,95E+06	1,34E+06
Palet	1,21E+04	1,00E+04	8,97E+03	6,11E+03
Viga	1,55E+01	-	6,88E+01	3,71E+01
Chapa	-	-	2,30E+05	-
Ventana	-	-	3,58E+03	7,70E+02
Total	3,67E+06	2,22E+06	2,41E+06	1,55E+06

Entre los modelos de gestión estudiados, GFT_A resulta como el modelo de máximo potencial de reducción de huella de carbono, seguido por GFI_A, GFT_B y GFI_B, en un orden descendiente. El valor REI es en función de tanto el coeficiente de sustitución y el volumen de madera destinada a cada tipo de producto. El potencial de REI en estos casos pues depende intrínsecamente en la cantidad de madera a producir y la asignación del flujo de madera de salida.

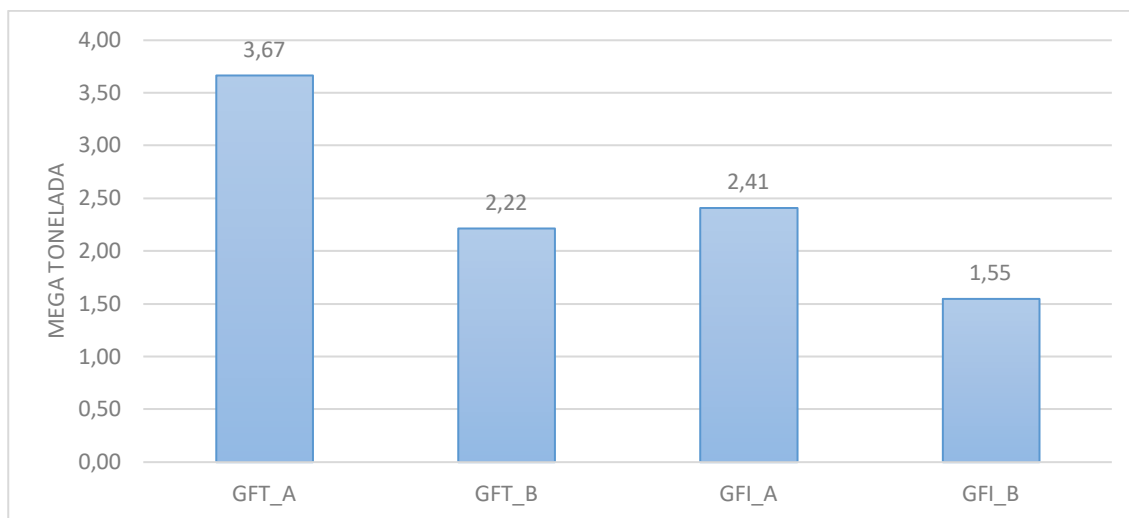


Figura 22. Comparación de REI por modelo de gestión (tn CO2)

7. Horizonte temporal 25 años

En el apartado 6, los resultados de REI han mostrado que los modelos de gestión tradicionales son más beneficioso por las razones:

- Primero, en los modelos tradicionales se extrae más cantidad de madera, por lo cual el beneficio total del uso de los productos de madera en los modelos tradicionales es mayor comparado con los modelos innovadores.
- Segundo, el GWP total se ha estimado para todo el ciclo de vida de diferentes tipos de productos madereros, es decir, se tiene en cuenta la devolución del carbono fijado en tanto la parte aérea como en el suelo durante el crecimiento de los árboles al finalizar la vida útil. Esto traduce a que no se ha tenido en cuenta el efecto de retención a largo plazo de los productos de larga vida útil y de alto valor.

Para poder estimar los beneficios proporcionados por los productos de alto valor como la viga, la chapa y la ventana, es necesario tomar un periodo de estudio menor que el que incluya su fin de vida. En la hipótesis de partida, se considera que la masa forestal no sufre ninguna perturbación como incendios y plagas, la fijación de carbono de dicha masa por tanto es continua en el eje de tiempo. Tomamos un horizonte temporal de 25 años desde que se formen los productos madereros acabados. Este periodo es como una barra corriente que desliza en el eje de tiempo, que el momento que inicie no influye el hecho de que podamos contar con los productos de vida útil corta ya se han finalizado y los productos de alto valor están aún en uso.

De acuerdo con la Tabla 6 que cuenta con la vida útil de referencia, las etapas de ciclo de vida involucradas para cada producto en 25 años son las siguientes:

Producto	Unidad	Cantidad necesaria de madera a pie de monte	Vida útil (RLS)	Etapas involucradas ¹
Astilla	1 tn	1 tn madera pino	2 años	obtención de madera, trituración, distribución y quema para la obtención de calor
Leña	1 tn	1,085 tn madera roble	2 años	obtención de madera, trituración, distribución y quema para la obtención de calor
Palé	1 Euro-palet (equivalente a 22,35 kg)	0,087 m3 madera pino	4 años y una capacidad de reutilización de 10 veces	obtención de madera serrada seca, fabricación palet, distribución y gestión fin de vida
Viga	1 m3	0,577 m3 para madera de pino 0,581 m3 para madera de roble	150 años	obtención de madera serrada seca y distribución
Chapa	1 m3	1,62 m3 madera roble	60 años	obtención de madera serrada seca y distribución
Ventana	1 marco de ventana con 1 m2 área visible	0,132 m3 madera pino	60 años	obtención de madera serrada seca, fabricación ventana, distribución y mantenimiento (repintar cada 7 años en 25 años)

En relación con la lucha frente el cambio climático, se ha calculado los valores de caracterización del indicador de cambio climático total para dicho periodo de 25 años. Para ello, se ha empleado los siguientes datos:

- (i) Del apartado 3.3.1 a 3.3.6:
 - o La unidad de producto
 - o La cantidad necesaria de madera a pie de monte por unidad de producto
 - o La vida útil por producto
 - o Las etapas involucradas en 25 años a partir de los productos acabados
- (ii) Del apartado 4.5 a 4.8
 - o El valor de GWP-total correspondiente a las etapas involucradas en 25 años desde que se formen los productos acabados. Para la astilla, la leña y el palet de madera, el periodo de 25 años cuenta con la totalidad de su ciclo de vida. Para la viga, la chapa y el marco de ventana, este periodo corresponde a la obtención de madera a pie de monte, la fabricación (secado y procesamiento) y

¹ Las etapas se han explicadas detalladamente en el apartado 3.3.

distribución. En el caso del marco de ventana se incluye además su parte proporcional de mantenimiento (repintar).

Los resultados del efecto de cambio climático de los cuatro modelos de gestión están presentados en la tabla abajo. Se puede observar claramente que, dentro de un periodo de 25 años, los productos convencionales de baja calidad que ofrecen los modelos tradicionales tienen una emisión importante (112 mil kg CO₂ eq. en GFT_A y 82 mil kg CO₂ eq. en GFT_B). Al contrario, los modelos innovadores tienen una huella negativa, es decir, el CO₂ absorbidos por la madera todavía se retiene. El modelo GFI_A de buena calidad de estación presta alrededor de 60 mil kg CO₂ eq., mientras que en la GFI_B de baja calidad de gestión, el valor es 11,7 mil kg CO₂ eq.

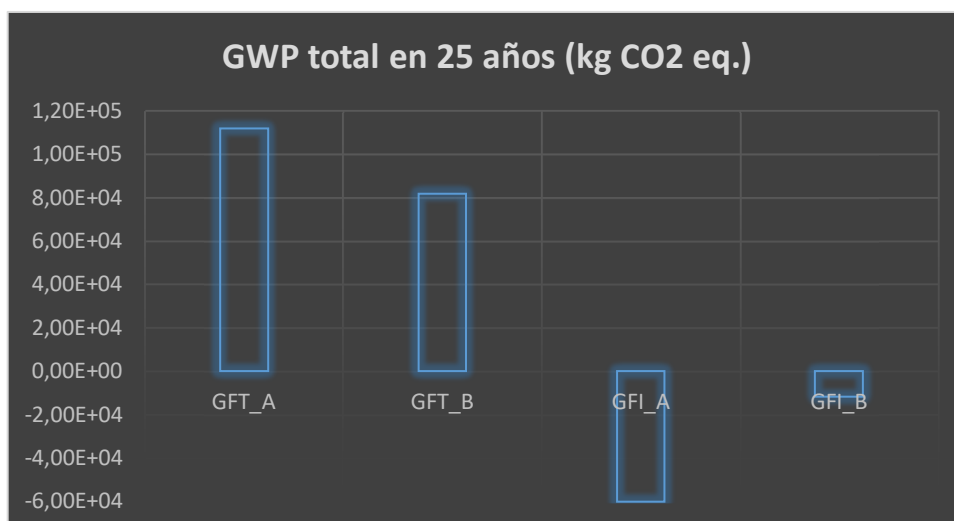


Figura 23. Comparación de modelos de gestión de la retención de C, escenario a 25 años vista (tn CO₂)

En conclusión, los modelos innovadores por su cuidadosa gestión y la madera de mejor calidad que generan dan más productos de alto valor que perduran más en el tiempo y junto con ello, presta mejores beneficios de retención de CO₂ a corto plazo.

8. Conclusiones

Son los resultados en forma de distintas clases de impacto, los que nos ayudan a concluir si cierto método de gestión es más beneficioso que otro. Sin embargo, esos impactos ambientales cambian considerablemente en función de la cantidad i tipología de producto a comercializar. El Potencial de Cambio Climático (GWP-Total), que hace referencia a la contribución potencial del sistema estudiado al aumento de la temperatura media del planeta, es el impacto más influyente a lo largo de todo el proyecto y para todos los productos analizados. Se acentúa en aquellos productos que precisan de una combustión.

La calidad de estación influye directamente con la producción y la posibilidad de obtener productos de mayor valor añadido. Por esa razón se obtienen valores de impacto ambiental menores, al igual que la compensación de CO₂.

Por lo que hace a la comparación entre calidades altas, cabe tener en cuenta que los balances de la GFT son muy similares a la GFI. Sin embargo, para la GFT los números son mayores tanto en los impactos como en la compensación, eso es debido a las posibilidades de extracción a lo largo de los 150 años, donde los aprovechamientos convencionales en ese caso pueden llegar a extraer 400m³/ha de leña a lo largo de los 150 años. En un escenario donde el volumen de extracción fuese el mismo en GFT_A y GFI_A, la gestión innovadora obtendría valores potenciales de reducción de huella de carbono más buenos que la gestión tradicional. Además, hay que tener en cuenta que la GFI a lo largo de los 150 años combina extracción de productos con conservación de todo tipo de biodiversidad, a niveles superiores que los que una GFT puede ofrecer.

Los resultados de la comparación de productos madereros con sus alternativas son especialmente favorables. No se puede discutir la eficiencia de la madera en ninguno de los productos analizados. Los combustibles, el embalaje, la decoración con chapa, la carpintería, o la madera estructural que provienen de madera, son mucho más respetuosas por el medioambiente que sus alternativas.

Anexo. Itinerarios silvícolas

En la siguiente Tabla 37 se muestran los atributos vinculados a los diferentes escenarios de gestión, entre ellos, los objetivos, la información del rodal, los tratamientos necesarios y los productos esperados:

Tabla 37. Tabla resumen de los atributos vinculados a los diferentes escenarios de gestión

Código itinerario:	GFT_A	GFT_B	GFI_A	GFI_A
Objetivos				
Objetivo de la masa:	Dominancia de robles y pasar del pino como especie dominante a acompañante.	Dominancia de robles y pasar del pino como especie dominante a acompañante.	Mantener el bosque mixto y seleccionar árboles de futuro por productos de valor añadido. Mejora de hábitats para las especies.	Mantener el bosque mixto y seleccionar árboles de futuro por productos de valor añadido. Mejora de hábitats para las especies.
Objetivo económico:	Producción de leñas.	Producción de leñas.	Compatible con la sostenibilidad ambiental.	Compatible con la sostenibilidad ambiental.
Rodal				
Especies iniciales:	Pino albar (60% - AB) Robles + frondosas varias* (40% - AB)	Pino albar (60% - AB) Robles + frondosas varias* (40% - AB)	Pino albar (capitalizado) y Robles + frondosas varias	Pino albar (capitalizado) y Robles + frondosas varias
Especies objetivo:	Robles y frondosas varias (95% - AB) Pino albar (5% - AB)	Robles y frondosas varias (95% - AB) Pino albar (5% - AB)	Continuidad del bosque mixto, % de cada especie entre 35 – 65	Continuidad del bosque mixto, % de cada especie entre 35 – 65
Composición:	Mixta	Mixta	Mixta	Mixta
Calidad de estación:	Alta	Baja	Alta	Baja
Estructura inicial:	Pino albar: Regular Robles: Irregular	Pino albar: Regular Robles: Irregular	Pino albar: Regular Robles: Irregular	Pino albar: Regular Robles: Irregular
Estructura objetivo:	Semiregular	Semiregular	Irregular	Irregular

Código itinerario:	GFT_A	GFT_B	GFI_A	GFI_A
Tratamientos				
Sotobosque:	Desbroce total	No desbroce	Desbroce parcial	Desbroce parcial
Regenerado:	Corta de selección + selección de brinzales	Corta de selección + selección de brinzales	Corta de selección	Corta de selección
Arbolado:	Corta de selección	Corta de selección	Corta de selección	Corta de selección
Productos				
Industrias de destino:	Combustibles y embalaje	Combustibles y embalaje	Combustibles, embalaje, chapa, instrumentos, carpintería, madera estructural	Combustibles, embalaje, instrumentos, carpintería, madera estructural
Productos finales elaborados:	Leña, astilla, palets, postes.	Leña, astilla, palets.	Violín, astilla, leña, palet, ventana, chapa, vigas	Violín, astilla, leña, palet, ventana, vigas

*Las frondosas acompañantes son; arce, seta de pastor, serbal, fresno y cerezo.

A continuación, se detallan la información de la Tabla 37 por modelo de gestión:

CÓDIGO: GFT_A

ESPECIES: Pino albar y robles

CORTA DE REGENERACIÓN: Clareo sucesivo uniforme por el pino y corte de selección robles.

REGENERACIÓN – REPOBLACIÓN: Regeneración del arbolado mediante regeneración natural provocada por cortas de selección. No existe forestación.

TRATAMIENTOS

SOTOBOSQUE: Desbroce total del sotobosque, respetando algunos arbustos aislados de interés para la fauna. El objetivo del desbroce es tener buena visibilidad para abatir los árboles de grandes dimensiones sin causar daños irreversibles a la masa remanente y facilitar la regeneración de semilla.

ESTRATO ARBÓREO: A lo largo del turno establecido por los 4 escenarios (150 años) el tratamiento consta de 8 intervenciones.

En la primera y la tercera intervención se actúa sobre todas las especies con mayor intensidad en el pino. La segunda intervención se enfoca únicamente en el pino, mientras que a partir de la cuarta intervención ya sólo se actúa sobre los robles y las especies acompañantes. Habiendo alcanzado el objetivo de promoción del roble por producción de leñas.

Tabla 38. Itinerario para la GFT en calidad de estación alta (GFT_A)

Año	Modelo ORGESTO	Actuación silvícola	VAE Pino albar a extraer (m3/ ha)	VAE Robles a extraer (m3/ ha)
0	Ps03	Corta preparatoria	117,6	-
0	Qh04	Corta de selección/selección de tanys	-	33
8	Ps03	Corta diseminatoria	104,4	-
20	Ps03	Corta final	84,6	-
20	Qh04	Corta de selección/selección de tanys	-	33
45	Qh04	Corta de selección	-	56
70	Qh04	Corta de selección	-	60
95	Qh04	Corta de selección	-	60
120	Qh04	Corta de selección	-	60
150	Qh04	Corta de selección	-	68
		TOTAL POR ESPECIE:	306,6	370
		TOTAL:	676,6 m3/ ha	

TIPO DE BOSQUE FINAL / ESCENARIO FINAL DE LA GESTIÓN SILVÍCOLA

Robledal semiregular, con una distribución de referencia de 500 pies/ha y 7,2 m²/ha. Con una posibilidad de extracción de leñas de entre 60 y 75 toneladas/ha cada 25-30 años.

OBSERVACIONES

La aplicabilidad de este itinerario selvícola recae en la importancia del estado inicial del pino en el rodal a actuar. Preferiblemente, y por el éxito del itinerario, el pino silvestre (dominante en AB) debe encontrarse en recesión, capitalizado, sin regeneración potencial presente y con altas dificultades de regenerarse mediante actuaciones a tal fin.

El objetivo de este itinerario es la promoción de los robles, dando flexibilidad en los pesos de las actuaciones y el número de éstas en cuanto a extracción del pino silvestre. Siempre respetando las AB mínimas después de cada intervención que marcan los modelos ORGEST escogidos para cada especie.

En este itinerario se alcanza una posibilidad media de 4,8 m³ / ha/año.

CÓDIGO: GFT_B

ESPECIES: Pino albar y robles

CORTA DE REGENERACIÓN: Clareo sucesivo uniforme por el pino y corte de selección robles.

REGENERACIÓN – REPOBLACIÓN: Regeneración del arbolado mediante regeneración natural provocada por cortes de selección por golpes. No existe forestación.

TRATAMIENTOS

SOTOBOSQUE: Como norma general no se realizan desbroces, ya que los productos se obtienen en una rotación larga, y la rentabilidad del aprovechamiento se ve muy comprometida. Se extiende si existe posibilidad de incorporar ganado.

ESTRATO ARBÓREO: A lo largo del turno establecido por los 4 escenarios (150 años) el tratamiento consta de 6 intervenciones. El pino albar en el año 0 ya se encuentra en el

inicio del aclareo sucesivo uniforme, y se proyectan tres cortadas con 10 años de diferencia cada una. La primera intervención en el roble en el año 0 se centra en sacar los pies más dominados y malformados.

A partir del año 20 ya se pretende tener una dominancia de roble, aunque éste no constará de copas desplegadas y/o de gran vitalidad en gran mayoría.

La intervención en el roble del año 20 no se incluye en el ORGEST, que marca una rotación de mínimo 40 años. La masa de robles que había sido dominada requiere ser reconducida con una intervención de mejora extra, este caso en el año 20. Donde se dejarán los pies por cepa adecuados y se respetarán/seleccionarán los árboles de futuro. En este itinerario de 150 años se alcanza una posibilidad media de 2,8 m³/ha/año.

Tabla 39. Itinerario para la GFT en calidad de estación media-baja (GFT_B)

Año	Modelo ORGESTO	Actuación silvícola	VAE Pino albar a extraer (m ³ /ha)	VAE Robles a extraer (m ³ /ha)
0	Ps09	Corta preparatoria	82,2	-
0	Qh07	Corta de selección/selección de tanys	-	22,2
10	Ps09	Corta diseminatoria	75	-
20	Ps09	Corta final	62,4	-
20	Qh07	Corta de selección/selección de tanys	-	13,8
65	Qh07	Corta de selección	-	55,5
105	Qh07	Corta de selección	-	55,5
150	Qh07	Corta de selección	-	62,4
TOTAL POR ESPECIE:			219,6	209,4
TOTAL:			429 m ³ /ha	

TIPO DE BOSQUE FINAL / ESCENARIO FINAL DE LA GESTIÓN SILVÍCOLA

Robledal semirregular, con una distribución de referencia de 500 pies/ha y 7,2 m²/ha. Con una posibilidad de extracción de leñas aproximada de 50 toneladas/ha cada 40 años.

OBSERVACIONES

La aplicabilidad de este itinerario silvícola recae en la importancia del estado inicial del pino en el rodal a actuar. Preferiblemente, y por el éxito del itinerario, el pino silvestre (dominante en AB) debe encontrarse en recesión, capitalizado, sin regeneración potencial presente y con altas dificultades de regenerarse mediante actuaciones a tal fin.

Si bien el itinerario consta de más actuaciones sobre el roble que sobre el pino, se extrae un mayor volumen de madera de pino debido al estado inicial del rodal. Las cortas cada 40 – 45 años sobre roble permiten extraer hasta un 70% del AB en cada intervención, se recomienda que las intervenciones se lleven a cabo en torno a los 26 m² / ha.

CÓDIGO: GFI_A

ESPECIES: Pino albar y roble con otras frondosas

CORTA DE REGENERACIÓN: Cortadas selectivas pie a pie o por bosques pequeños/medios

REGENERACIÓN – REPOBLACIÓN: Regeneración natural, algunas especies por rebrote, y el pino de semilla por manchas o bosquetes.

TRATAMIENTOS

SOTOBOSQUE: Desbroce parcial donde se respetan arbustos productores de fruto de interés para la fauna. Dependiendo de la zona, la intensidad del desbroce será mayor o menor, dependiendo de la composición de arbustos y la densidad inicial.

ESTRATO ARBÓREO:

La masa se trata como un bosque irregular desde el primer momento, donde en las primeras intervenciones habrá que promocionar la regeneración del pino por manchas o bosquecillos.

A lo largo de los 150 años establecidos, se realizarán 16 actuaciones cada una con una rotación de 10 años.

En las 2 primeras intervenciones se actúa con mayor intensidad en el pino para ajustar la masa a un 50% de frondosas y un 50% de pino teórico. Debido al estado inicial del rodal, en las 2 primeras actuaciones se extraerán más árboles de futuro de pino que de frondosas.

En cada intervención se extraerán de media 12 árboles de futuro, siempre manteniendo estable el número de árboles de futuro base. Este número se establece en 175 pies/ha. De los cuales 125 son de frondosas (roble, serbal común, fresno, arce...) y 50 de pino albar.

Tabla 40. Itinerario por la GFI en calidad de estación alta (GFI_A)

Año	Actuación silvícola	VAE total (m3/ ha) frondosas extraído	VAE total (m3/ ha) pino albar extraído
0	Corta de selección	7,7	28,3
10	Corta de selección	9,6	26,4
30	Corta de selección	18,8	18,6
40	Corta de selección	18,8	18,6
50	Corta de selección	18,8	18,6
60	Corta de selección	18,8	18,6
70	Corta de selección	18,8	18,6
80	Corta de selección	18,8	18,6
90	Corta de selección	18,8	18,6
100	Corta de selección	18,8	18,6
110	Corta de selección	18,8	18,6
120	Corta de selección	18,8	18,6
130	Corta de selección	18,8	18,6
140	Corta de selección	18,8	18,6
150	Corta de selección	18,8	18,6
TOTAL POR ESPECIE:		280,1	315,4
TOTAL:		595,5 m3/ ha	

TIPO DE BOSQUE FINAL / ESCENARIO FINAL DE LA GESTIÓN SILVÍCOLA

Bosque mixto de roble y frondosas varias con pino albar, irregular con una distribución de referencia de 843 pies/ha (352 pino y 491 frondosas) y 30 m²/ha. Con una posibilidad de extracción de 4 m³/ha/año.

OBSERVACIONES

Los árboles de futuro que se extraen en cada intervención deben ser reemplazados por árboles jóvenes. El volumen medio de los árboles de futuro se establece en 0,73 m³ en las frondosas y 0,82 m³ en los pinos.

En el caso de los pinos, los árboles de futuro se destinan a madera estructural (viga) o carpintería (ventana). En el caso de los robles y frondosas, los árboles de futuro se pueden destinar a madera estructural, chapa, o instrumentos musicales. Hay que tener en cuenta que habrá ocasiones en las que los árboles que no son de futuro se podrán vender a destinos de mayor valor añadido, como por ejemplo la madera estructural.

CÓDIGO: GFI_B

ESPECIES: Pino albar y roble con otras frondosas

CORTA DE REGENERACIÓN: Cortadas selectivas pie a pie o por bosques pequeños/medios

REGENERACIÓN – REPOBLACIÓN: Regeneración natural, algunas especies por rebrote, y el pino de semilla por manchas o bosqueques.

TRATAMIENTOS

SOTOBOSQUE: Desbroce parcial donde se respetan arbustos productores de fruto de interés para la fauna. Dependiendo de la zona, la intensidad del desbroce será mayor o menor, dependiendo de la composición de arbustos y la densidad inicial.

ESTRATO ARBÓREO: La masa se trata como un bosque irregular desde el primer momento, donde en las primeras intervenciones habrá que promocionar la regeneración del pino por manchas o bosquecillos.

A lo largo de los 150 años establecidos, se realizarán 13 actuaciones cada una con una rotación de 12-13 años.

En las 2 primeras intervenciones se actúa con mayor intensidad en el pino para ajustar la masa a un 50% de frondosas y un 50% de pino teórico. Debido al estado inicial del rodal, en las 2 primeras actuaciones se extraerán más árboles de futuro de pino que de frondosas.

En cada intervención se extraerán de media 12 árboles de futuro, siempre manteniendo estable el número de árboles de futuro base. Este número se establece en 175 pies/ha. De los cuales 125 son de frondosas (roble, serbal común, fresno, arce...) y 50 de pino albar.

Tabla 41. Itinerario para la GFI en calidad de estación baja (GFI_B)

Año	Actuación silvícola	VAE total (m3/ ha) frondosas extraído	VAE total (m3/ ha) pino albar extraído
0	Corta de selección	5,8	21,2
12	Corta de selección	7,2	19,8
24	Corta de selección	14,1	14
36	Corta de selección	14,1	14
48	Corta de selección	14,1	14
60	Corta de selección	14,1	14
72	Corta de selección	14,1	14
85	Corta de selección	14,1	14
98	Corta de selección	14,1	14
111	Corta de selección	14,1	14
124	Corta de selección	14,1	14
137	Corta de selección	14,1	14
150	Corta de selección	14,1	14
TOTAL POR ESPECIE:		167,8	194,7
TOTAL:		362,5 m3/ ha	

TIPO DE BOSQUE FINAL / ESCENARIO FINAL DE LA GESTIÓN SILVÍCOLA

Bosque mixto de roble y frondosas varias con pino albar, irregular con una distribución de referencia de 843 pies/ha (352 pi y 491 frondosas) y 30 m²/ ha. Posibilidad de extracción de 2,4 m³/ ha/año.

OBSERVACIONES

Los árboles de futuro que se extraerán del rodal no serán de la misma calidad que en el caso de los rodales con calidad de estación alta. Este hecho lleva a descartar según qué destinos, como la chapa. No sólo se descarta algún producto, sino que otros con exigencias mínimas de calidad se ven disminuidos considerablemente en cuanto a posibilidad de obtención.

Índice de Tablas y Figuras

Figuras

- FIGURA 24. CONCEPTO DE ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA
- FIGURA 25. ETAPAS DE ACV
- FIGURA 3. SISTEMA DE ESTUDIO
- FIGURA 4. COMPARACIÓN DE MAGNITUD DE IMPACTO TOTAL ENTRE ESCENARIOS DE GESTIÓN
- FIGURA 5. COMPARACIÓN DE MAGNITUD DE IMPACTO ENTRE UNA TONELADA DE MADERA RESULTANTE DE CADA ESCENARIO DE GESTIÓN
- FIGURA 6. COMPARACIÓN POR INDICADOR DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL CICLO DE VIDA DE UNA TONELADA DE ASTILLA PROCEDENTE DE LOS 4 MODELOS DE GESTIÓN
- FIGURA 7. IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO A CADA ETAPA DENTRO DEL CICLO DE VIDA DE UNA TONELADA DE ASTILLA, %
- FIGURA 8. COMPARACIÓN POR INDICADOR DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL CICLO DE VIDA DE UNA TONELADA DE LEÑA PROCEDENTE DE LOS 4 MODELOS DE GESTIÓN
- FIGURA 926. IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO A CADA ETAPA DENTRO DEL CICLO DE VIDA DE UNA TONELADA DE LEÑA, %
- FIGURA 1027. COMPARACIÓN POR INDICADOR DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL CICLO DE VIDA DE UN EUROPALÉT DE MADERA DE PINO PROCEDENTE DE LOS 4 MODELOS DE GESTIÓN
- FIGURA 281. IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO A CADA ETAPA DENTRO DEL CICLO DE VIDA DE UN EUROPALÉT, %
- FIGURA 12. COMPARACIÓN POR INDICADOR DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL CICLO DE VIDA DE UN METRO CÚBICO DE VIGA DE MADERA PROCEDENTE DE TRES MODELOS DE GESTIÓN GFT_A, GFI_A Y GFI_B
- FIGURA 13. IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO A CADA ETAPA DENTRO DEL CICLO DE VIDA DE UN METRO CÚBICO DE VIGA GFI_A, %
- FIGURA 14. IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO A CADA ETAPA DENTRO DEL CICLO DE VIDA DE UN METRO CÚBICO DE CHAPA GFI_A, %
- FIGURA 15. COMPARACIÓN POR INDICADOR DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL CICLO DE VIDA DE UN MARCO DE VENTANA PROCEDENTE DE LAS GESTIONES INNOVADORAS GFI_A Y GFI_B
- FIGURA 16. IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO A CADA ETAPA DENTRO DEL CICLO DE VIDA DE UN MARCO DE MADERA DE GFI_A, %
- FIGURA 17. GRÁFICO DE BARRA DE COMPARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL EN LA GENERACIÓN DE 1 MJ DE CALOR POR TRES TIPOS DE COMBUSTIBLE
- FIGURA 18. GRÁFICO DE BARRA DE COMPARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL CICLO DE VIDA DE UN EUROPALET DE MADERA Y PLÁSTICO
- FIGURA 19. GRÁFICO DE BARRA DE COMPARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ENTRE EL CICLO DE VIDA DE UN METRO CÚBICO DE VIGA DE MADERA Y EL CICLO DE VIDA DE UN METRO CÚBICO DE VIGA DE HORMIGÓN ARMADO
- FIGURA 20. GRÁFICO DE BARRA DE COMPARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ENTRE EL CICLO DE VIDA DE UN METRO CUADRADO DE CUBIERTO DE CHAPA MADERA Y MELAMINA
- FIGURA 21. GRÁFICO DE BARRA DE COMPARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL CICLO DE VIDA DE UN MARCO DE VENTANA DE MADERA Y DE ALUMINIO, CON 1 M2 DE VISIBILIDAD

FIGURA 22. COMPARACIÓN DE REI POR MODELO DE GESTIÓN (TN CO₂)

FIGURA 23. COMPARACIÓN DE MODELOS DE GESTIÓN DE LA RETENCIÓN DE C, ESCENARIO A 25 AÑOS
VISTA (TN CO₂)

Tablas

TABLA 1. FLUJO DE SALIDAS POR ESCENARIO DE GESTIÓN – VOLUMEN DE MADERA COMERCIAL SECA DESTINADA A CADA TIPO DE PRODUCTO.....	19
TABLA 2. CARBONO FIJADO EN FUNCIÓN DE LA PRÁCTICA DE GESTIÓN FORESTAL APLICADA EN 1 HA DURANTE 150 AÑOS. FUENTE: CPF, 2020	20
TABLA 3. FRACCIÓN DE CARBONO BIOGÉNICO EN LA MADERA SECA Y EN EL SUELO Y MATERIA ORGÁNICA MUERTA. FUENTE: ELABORACIÓN A PARTIR DE CPF, 2020.....	21
TABLA 4. CONSUMO DE RECURSOS Y RESIDUOS PRODUCIDOS POR UNIDAD DECLARADA POR MODELO DE GESTIÓN	23
TABLA 5. ASIGNACIÓN POR CRITERIO FÍSICO (MASA) DE PRODUCTOS DE CADA ESCENARIO DE GESTIÓN	24
TABLA 6. RESUMEN DE UNIDAD POR TIPO DE PRODUCTO.....	24
TABLA 7. INVENTARIO DE CICLO DE VIDA DE UNA TONELADA DE ASTILLA	26
TABLA 8. INVENTARIO DE CICLO DE VIDA DE UNA TONELADA DE LEÑA	27
TABLA 9. INVENTARIO DE CICLO DE VIDA DE UN EURO PALET DE MADERA	29
TABLA 10. INVENTARIO DE CICLO DE VIDA DE UN METRO CÚBICO DE VIGA DE MADERA.....	32
TABLA 11. INVENTARIO DE CICLO DE VIDA DE UN METRO CÚBICO DE CHAPA DE MADERA.....	34
TABLA 12. INVENTARIO DE CICLO DE VIDA DE UN MARCO DE VENTANA DE MADERA DE 1 M2 DE VISIBILIDAD	36
TABLA 13. RESULTADOS DE IMPACTO AMBIENTAL TOTAL DE LOS CUATRO MODELOS DE GESTIÓN, POR INDICADOR, VALORES ABSOLUTOS.....	40
TABLA 14. BALANCE DE CARBONO ASOCIADO A DIFERENTES MODELOS DE GESTIÓN POR HECTÁREA A LO LARGO DE 150 AÑOS.....	42
TABLA 15. RESULTADOS DE IMPACTO AMBIENTAL DE UNA TONELADA DE MADERA COMERCIAL SECA PROCEDENTE DE LOS 4 MODELOS DE GESTIÓN, POR INDICADOR, VALORES ABSOLUTOS	42
TABLA 16. BALANCE DE CARBONO ASOCIADA A LA TONELADA DE MADERA SECA DE CADA ESCENARIO DE GESTIÓN	44
TABLA 17. RESULTADOS DE IMPACTO AMBIENTAL DEL CICLO DE VIDA DE UNA TONELADA DE ASTILLA PROCEDENTE DE CUATRO MODELOS DE GESTIÓN, POR INDICADOR, VALORES ABSOLUTOS.....	45
TABLA 18. CONTRIBUCIÓN POR ETAPA DEL CICLO DE VIDA DE UNA TONELADA DE ASTILLA AL IMPACTO TOTAL, VALORES ABSOLUTOS.....	46
TABLA 19. RESULTADOS DE IMPACTO AMBIENTAL DEL CICLO DE VIDA DE UNA TONELADA DE LEÑA A PROCEDENTE DE CUATRO MODELOS DE GESTIÓN, POR INDICADOR, VALORES ABSOLUTOS.....	47
TABLA 20. CONTRIBUCIÓN POR ETAPA DEL CICLO DE VIDA DE UNA TONELADA DE LEÑA AL IMPACTO TOTAL, VALORES ABSOLUTOS.....	49
TABLA 21. RESULTADOS DE IMPACTO AMBIENTAL DEL CICLO DE VIDA DE UN EURO-PALET PROCEDENTE DE CUATRO MODELOS DE GESTIÓN, POR INDICADOR, VALORES ABSOLUTOS	50
TABLA 22. CONTRIBUCIÓN POR ETAPA DEL CICLO DE VIDA DE UN EUROPALÉT AL IMPACTO TOTAL, VALORES ABSOLUTOS	51
TABLA 23. RESULTADOS DE IMPACTO AMBIENTAL DEL CICLO DE VIDA DE UN METRO CÚBICO DE VIGA DE MADERA PROCEDENTE DE TRES MODELOS DE GESTIÓN, POR INDICADOR, VALORES ABSOLUTOS	53

TABLA 24. CONTRIBUCIÓN POR ETAPA DEL CICLO DE VIDA DE UN METRO CÚBICO DE VIGA DE MADERA AL IMPACTO TOTAL, VALORES ABSOLUTOS	54
TABLA 25. CONTRIBUCIÓN POR ETAPA DEL CICLO DE VIDA DE UN METRO CUBICO DE CHAPA AL IMPACTO TOTAL, VALORES ABSOLUTOS	55
TABLA 26. RESULTADOS DE IMPACTO AMBIENTAL DEL CICLO DE VIDA DE UN MARCO DE VENTANA DE MADERA PROCEDENTE DE DOS MODELOS DE GESTIÓN INNOVADOR, POR INDICADOR, VALORES ABSOLUTOS	57
TABLA 27. CONTRIBUCIÓN POR ETAPA DEL CICLO DE VIDA DE UN MARCO DE MADERA DE MADERA AL IMPACTO TOTAL, VALORES ABSOLUTOS	58
TABLA 28. NOMBRES DE LOS PRODUCTOS A PIE DE PISTA, PRODUCTOS FINALES, PRODUCTOS A COMPARAR Y GESTIÓN AFECTADA SEGÚN ESPECIE	60
TABLA 29. COMPARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL TOTAL EN LA GENERACIÓN DE 1 MJ DE CALOR	61
TABLA 30. COMPARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL TOTAL ENTRE UN EURO PALET DE MADERA Y UN EURO PALET DE PLÁSTICO	62
TABLA 31. COMPARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL TOTAL ENTRE UNA VIGA DE MADERA Y UNA VIGA DE HORMIGÓN ARMADO	64
TABLA 32. COMPARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL TOTAL ENTRE UN METRO CUADRADO DE CHAPA DE MADERA Y UN METRO CUADRADO DE MELAMINA.....	66
TABLA 33. COMPARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL TOTAL ENTRE UN MARCO DE VENTANA DE MADERA Y DE ALUMINIO, CON 1 M2 DE VISIBILIDAD.....	68
TABLA 34. CÁLCULO DE COEFICIENTE DE SUSTITUCIÓN (TN CO2/ TN).....	71
TABLA 35. UNIDAD DE CONVERSIÓN ENTRE FLUJO DE MADERA Y UNIDAD FUNCIONAL POR PRODUCTO	72
TABLA 36. RESULTADOS DE REI POR MODELO DE GESTIÓN	72
TABLA 38. TABLA RESUMEN DE LOS ATRIBUTOS VINCULADOS A LOS DIFERENTES ESCENARIOS DE GESTIÓN	77
TABLA 39. ITINERARIO PARA LA GFT EN CALIDAD DE ESTACIÓN ALTA (GFT_A).....	79
TABLA 40. ITINERARIO PARA LA GFT EN CALIDAD DE ESTACIÓN MEDIA-BAJA (GFT_B)	81
TABLA 41. ITINERARIO POR LA GFI EN CALIDAD DE ESTACIÓN ALTA (GFI_A)	83
TABLA 42. ITINERARIO PARA LA GFI EN CALIDAD DE ESTACIÓN BAJA (GFI_B).....	85

Bibliografia

- ISO 14040: 2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework
- ISO 14044: 2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines
- UNE-EN 16485:2014. *Madera aserrada y madera en rollo. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoria de productos de madera y derivados de la madera para su utilización en construcción.*
- Zampori, L., Pant, R. (2019). *Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method, EUR 29682 EN*, Publications Office of the European Union. JRC115959.
- A.I.T.I.M, A. d. (2009). *Propiedades física de la madera: Peso específico*. Obtenido de <https://infomadera.net/modulos/index.php>.
- FEDEMCO y ECOEMBES. (2019). *TASA DE VALORIZACIÓN DE LOS ENVASES Y EMBALAJES DE MADERA EN ESPAÑA EN 2019*. España: Ecoembes.
- Eurostat. (s.f.). <https://ec.europa.eu/>. Recuperado el 03 de 2022, de Packaging waste by waste management operations: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WASPAC__custom_2408704/default/table?lang=en
- EUROSTAT. (2019). <https://ec.europa.eu/eurostat/>. Recuperado el 04 de 2022, de https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/explore/all/envir?lang=en&subtheme=env.env_was&display=list&sort=category&extractionId=ENV_WASPAC__custom_2449297
- OBSERVATORI FORESTAL CATALA. (2018). <https://www.observatoriforestal.cat/>. Recuperado el 04 de 2022, de <https://www.observatoriforestal.cat/estadistica-i-llistat-dempreses/>
- Leskinen, P., Cardellini, G., González-García, S., Hurmekoski, E., Sathre, R., Seppälä, J., . . . Johannes, P. V. (2018). *Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation*. From Science to Policy 7.
- Centre National de la Propriété Forestière (CNPFF) (2019). Label Bas Carbone. *Méthode conversion de taillis en futaie sur souches*. Version de 18/04/2019.
- EMEP/EEA (2013). *Air pollutant emission inventory guidebook*.
- Almeida, J, Bengtsson, J. (2017). Pallet Life Cycle Assessment and Benchmark. Report from Edge Environment Pty Ltd for Range International Limited.
- Borrell Arqué, A. (2015). *Mobilització de la fusta per a biomassa a través dels instruments d'ordenació forestal en finques privades a Catalunya. Biomassa Autosuficiència energètica i gestió forestal*. Col·lecció Documents de Treball. Diputació de Barcelona.
- Casabona, D. (2015). *La normativa aplicable pel que fa a la qualitat de l'aire en la combustió de la biomassa. Biomassa Autosuficiència energètica i gestió forestal*. Col·lecció Documents de Treball. Diputació de Barcelona.
- Casabona, D. (2015). *La normativa aplicable pel que fa a la qualitat de l'aire en la combustió de la biomassa. Biomassa Autosuficiència energètica i gestió forestal*. Col·lecció Documents de Treball. Diputació de Barcelona.
- García-Durañona, L., Farreny, R., Navarro, N., Boschmonart, J. (2016). *Life Cycle Assessment of a coniferous wood supply chain for pallet production in Catalonia, Spain*. Journal of Cleaner Production, 137, 178–188.
- Gaspà, I. (2015). *La qualitat de la biomassa forestal i les seves especificacions tècniques. Biomassa Autosuficiència energètica i gestió forestal*. Col·lecció Documents de Treball. Diputació de Barcelona.
- Valada T., Cardellini G., Vial E., Levet A.L., Muys B., Lamoulie J., Hurel C., Privat F., Cornillier C. and Verbist B. 2016. *LCA and mitigation potential from forest products*. FORMIT project Deliverable 3.2.

- Sathre, R. and O'Connor, J. 2010. *Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution*. Environmental Science & Policy 13: 104–114.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.12.005>
- Domenjó, I. (2019). *Calculadora de la petjada de carboni i del balanç energètic de productes fusters*. Barcelona: Serradora Boix.
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R., & Muñoz, M. (2005). Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles, vol. 13. *Monografías INIA: Serie Forestal*.
- (2019). *GUÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE ABSORCIONES DE DE ABSORCIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO*, v4. MITECO.
- inèdit. (2016). *Evaluación ambiental del ciclo de vida de plantaciones agroforestales y filtros verdes para la captación de nitratos*. UAB. IRTA.
- Humedad de la madera*. (2011). Retrieved Abril 2022, from <https://tmolduras-fbermejo.es/>:
<https://tmolduras-fbermejo.es/content/46-humedad>
- Teresa María, S., & Berger, G. (2009). Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. *EdUNaM - Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones*, 2010(1a ed.).