

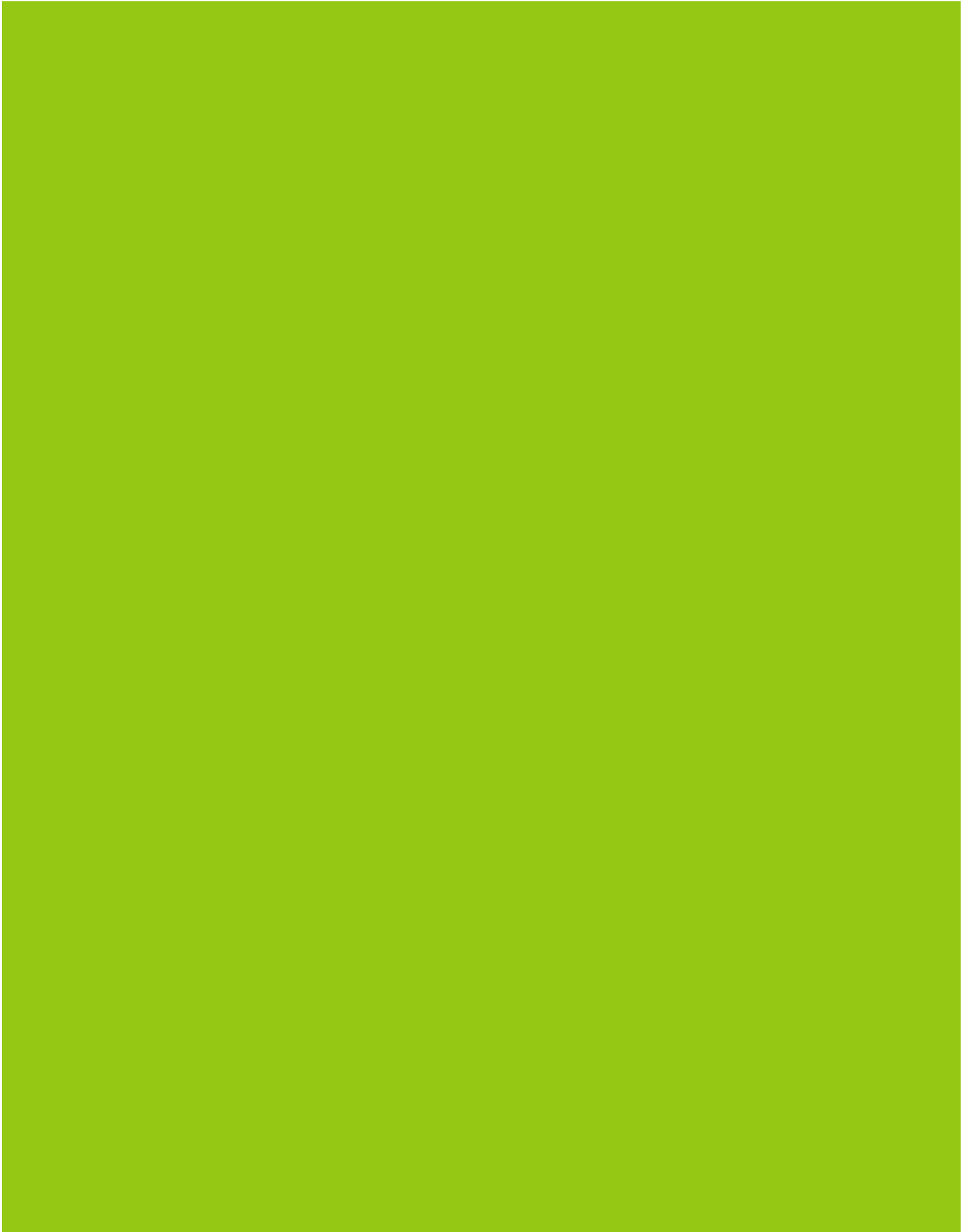
CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible.

Herramienta inteligente para la
selección de productos de madera
destinados a la construcción





Autor Principal: Marta Conde García (UCO)

Otros autores: Soledad Montilla Moreno (CSIC); María Belén Abad Garrido (UCO); Teresa Garnica Muñoz (UCO); Sheila Otero Seseña (CSIC); María Conde García (INIA); Juan Ignacio Fernández-Golfín Seco (INIA); Esperanza Carrillo Galán (PEFC); José Antonio Tenorio Ríos (CSIC).

ÍNDICE

1. Título
2. Palabras Clave
3. Resumen
4. Introducción
5. Metodología
6. Resultados
7. Discusión
8. Conclusiones
9. Bibliografía

1. TÍTULO

Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible: “Herramienta inteligente para la selección de productos de madera destinados a la construcción”.

2. PALABRAS CLAVE

Producto de madera; solución constructiva; declaración ambiental de producto

3. RESUMEN

Actualmente la madera además de ser un material tradicional es uno de los más innovadores dentro del sector de la construcción. Los productos de madera que se encuentran en el mercado están perfectamente caracterizados.

Sin embargo, existe una gran dificultad para asociar los productos de madera con las soluciones constructivas y demostrar que cumplen con las exigencias reglamentarias. Además, son pocas las soluciones constructivas que se encuentran en el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación que contienen componentes de madera.

Por otra parte, la madera es un material que destaca por sus valores ambientales. Sin embargo, la información ambiental que existe de los productos de madera es escasa y no siempre la calidad de los datos está identificada.

El Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible, ha desarrollado el proyecto “*Herramienta inteligente para la selección de productos de madera destinados a la construcción*” con el objetivo de facilitar la prescripción de productos de madera con criterios técnicos y ambientales, impulsando la cadena de valor desde el monte hasta el consumidor final. Se han desarrollado nuevas soluciones constructivas en base madera y una clasificación taxonómica de productos para su vínculo con dichas soluciones. Además, se han generado Declaraciones Ambientales de Producto genéricas de las principales familias de productos de madera utilizadas en construcción. A partir del conocimiento generado se ha desarrollado una herramienta que integra un buscador de productos de madera y un selector que vincula los productos con los sistemas constructivos para la correcta prescripción.

4. INTRODUCCIÓN

El uso de madera en la arquitectura como material constructivo ha sido fundamental desde tiempos remotos. En España, hasta bien entrado el siglo XX, la madera ha sido un referente como material tradicional. Prueba de este protagonismo es la presencia del material en innumerables ejemplos del patrimonio construido de este país, que avalan su excelente durabilidad con el paso del tiempo. A pesar de ello, con la irrupción de materiales como el acero o el hormigón, se produce un desplazamiento de la madera como elemento principal en construcción, para generalizar el uso de estos otros materiales en la construcción.

En la actualidad, sin embargo, existe un creciente interés en torno a este material por parte de arquitectos e ingenieros, debido fundamentalmente a los valores asociados a la sostenibilidad, tanto ambiental, económica como social, pero también debido a su funcionalidad y diseño.

En temas de sostenibilidad, durante la formación de la madera, como material procedente de los bosques, el árbol capta 1 tonelada de CO₂ y desprende 0,7 toneladas de O₂ aproximadamente para producir 1 m³ de madera (AITIM, 2010). Esta madera además procede de montes certificados por lo que su consumo supone una forma clara de lucha contra el cambio climático.

Todos estos aspectos positivos de la madera como material han fomentado su uso en los últimos años. De forma paralela se percibe una respuesta de la industria forestal, y maderera en particular, unido a una creciente innovación en los productos en base a madera. Si bien es cierto que productos como la madera contrachapada se vienen usando desde hace más de 100 años, y que el CLT (Cross Laminated Timber) ha estado en producción desde la década de 1990, la industria de la madera se encuentra en constante innovación para hacer frente a las necesidades medioambientales actuales. Productos con retardantes para fuego, adhesivos de mayor durabilidad y menor impacto medioambiental, aumentar la reciclabilidad de productos, etc. (Clark, D., et al., 2012), son una breve muestra del enorme número de innovaciones surgidas en la ingeniería de los productos de madera.

Frente a un sector involucrado en la constante innovación de sus productos, es necesario que el sector de la construcción se posicione en el mismo punto. Estos productos deben tener una aplicabilidad directa en la construcción, siendo esencial que se amplíen los conocimientos sobre la construcción con madera, y que se pierda ese cierto temor a lo desconocido cuando se va a construir un edificio con este material. Esto puede deberse en parte al olvido que en los últimos años ha sufrido la madera como material de construcción, quedando casi relegada de los manuales constructivos. Esta circunstancia se observa claramente en nuestro país donde, a pesar de la utilización casi generalizada de elementos de madera en las construcciones tradicionales, el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación (CTE) no incluye apenas soluciones constructivas comprobadas para ser utilizadas por los constructores.

A lo anterior se añade además la falta de comunicación entre el sector de la madera y el de la construcción y el desconocimiento de las características propias del material, cómo se utiliza y qué características debe tener para cumplir las prestaciones necesarias. Todas estas carencias contribuyen a la dificultad en la prescripción de los productos de madera.

El proyecto “Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible. Herramienta inteligente para la selección de productos de madera destinados a la construcción”.

El proyecto consiste en el desarrollo de una herramienta inteligente para la adecuada selección y prescripción de productos derivados de la madera destinados a la construcción para su incorporación en edificios sostenibles, proporcionando contenidos técnicos y ambientales. El fin último de este proyecto es poner en valor la madera como material por sus aspectos tanto técnicos como relacionados con la sostenibilidad, destacando el papel de los bosques y los productos forestales en la sociedad como origen natural de los materiales de construcción.

Para ello se ha llevado a cabo un análisis y selección de productos de madera para la construcción, una propuesta y evaluación de nuevas soluciones constructivas en base a madera y una evaluación ambiental de familias de productos seleccionadas. En la implementación del proyecto se han utilizado herramientas avanzadas para que la información llegue de forma sencilla a los prescriptores, y mediante el empleo de los sistemas más innovadores (Building Information Modelling, BIM), se han proporcionado herramientas para facilitar el cumplimiento normativo (Código Técnico de la Edificación). Mediante un selector inteligente de productos generado por el proyecto, el prescriptor puede conocer los datos de excelencia ambiental de un producto de madera seleccionado, obtenidos de forma objetiva mediante Análisis de Ciclo de Vida (ACV), a través de su Declaración Ambiental de Producto (DAP).

En esta comunicación se muestran las bases de la metodología y resultados técnicos obtenidos durante el proyecto, poniendo especial atención en lo referente a productos de madera, desarrollo y evaluación de nuevas soluciones constructivas en base a madera, estudio ambiental de productos tipo seleccionados y desarrollo de la herramienta inteligente como método de transferencia de la información.

5. METODOLOGÍA

5.1 Clasificación taxonómica de productos de madera para la construcción en función de sus propiedades técnicas y fichas de características técnicas de familias de productos

Se detalla la metodología seguida para el desarrollo de herramientas que permitan simplificar la elección de madera o productos de madera más adecuados para cada uso. Como se ha visto, esta tarea no es sencilla para los técnicos debido a la diversidad de usos y de productos y además genera gran rechazo en estos por las numerosas patologías que se producen asociadas a una mala elección. Las herramientas para una correcta elección son la clave técnica de la propuesta.

Selección de productos tipo derivados de la madera

Se han analizado las distintas familias de productos derivados de la madera para su uso en construcción, desde el punto de vista de su utilización en el sector español de la construcción y de su procedencia nacional.

Para identificar y definir productos tipo dentro de cada familia de productos se han utilizado uno o varios de los siguientes criterios:

- Clase técnica, definida por la clase de uso y por la clase de servicio, en función a las condiciones de humedad en las que trabaja la madera
- Clases resistentes, aplicables a la madera aserrada estructural y a la madera laminada.
- Dimensiones de los productos
- Especies de madera utilizada

De este modo, se ha llevado a cabo una selección y análisis de un total de 133 productos tipo de madera.

Realización de un sistema taxonómico de clasificación

Tras realizar un estudio en profundidad de productos de madera con fines constructivos se observa la elevada complejidad que conlleva crear un sistema de clasificación taxonómica. Debido a que la división tradicional por familias puede atender a múltiples criterios, se busca establecer un sistema de clasificación flexible que pueda ser implementado fácilmente en la herramienta inteligente a desarrollar.

Se parte de determinar bloques y definir taxones de clasificación en función de las características, propiedades o prestaciones más relevantes.

Recopilación de características técnicas de las familias de productos y elaboración de fichas tipo para cada familia de producto

A partir de las familias de productos de madera seleccionadas se han estudiado y recopilado las características técnicas (propiedades geométricas, físico-mecánicas, higrotérmicas, durabilidad y vida de servicio, etc.) de cada una de las familias y de los productos tipo que las componen. Este trabajo se ha llevado a cabo teniendo en consideración la información necesaria y los aspectos más relevantes a la hora de la utilización de los productos para su uso en construcción, así como su caracterización para poder establecer un vínculo con elementos que integran soluciones constructivas (normas de referencia, clases de uso y servicio, etc).

Toda esta información se recoge en un conjunto de fichas tipo elaboradas para los productos seleccionados de las familias establecidas. Dada la gran cantidad y variedad de productos del mercado sólo se ha podido abarcar una parte de estos.

5.2 Propuesta de soluciones constructivas en base madera o que contengan madera en su composición. Selector inteligente de productos.

La propuesta de nuevas soluciones constructivas en base madera pretende aumentar el número de soluciones constructivas en base madera que se recogen en el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación (CTE). La labor desempeñada por el Catálogo

de Elementos Constructivos del CTE comenzó hace más de diez años, y con el presente proyecto se pretende actualizar su contenido con nuevas soluciones constructivas más industrializadas, establecer un mejor vínculo entre soluciones constructivas y los productos que las componen y mostrarlo en el formato utilizado actualmente por profesionales del sector, mediante modelos BIM.

Generalización de soluciones constructivas, en base madera o que contengan madera en su composición, incluidas en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE y propuesta de nuevas soluciones industrializadas

Para comenzar se realiza un análisis de las soluciones constructivas en base madera que se detallan en el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación 2010. Dentro del conjunto de soluciones constructivas que ofrece el catálogo, únicamente se utiliza la madera como soporte estructural de una solución de tipo cubierta, una de fachada y una de partición, una aportación minúscula en cuanto a la capacidad de uso de la madera como material estructural. En este tipo de soluciones se utiliza como soporte estructural un entramado ligero de madera (MM Montante de madera), donde también se incluyen otros elementos de madera como son los rastreles de la cámara de aire ventilada en los que se apoya el revestimiento exterior (RE) y el uso de algunos tableros estructurales de madera (TM).

Con esta información de partida, se lleva a cabo un estudio detallado de posibles soluciones a incorporar.

El estudio se ha basado en la realización de un sistema jerarquizado de clasificación, en el que se incluyen soluciones constructivas de tipo cubierta, fachada, forjado y partición. Para los cuatro grandes grupos se establece un sistema jerarquizado de clasificación, que permite recoger de forma lógica toda la variabilidad de soluciones constructivas, a la vez que definir las.

El sistema jerárquico propuesto permite recoger, a la vez que caracterizar, posibles sistemas constructivos dentro de un sistema ordenado. La organización lógica y descriptiva de este permite a su vez añadir futuras incorporaciones en el supuesto de que fuese necesario durante el desarrollo del proyecto.

Se ha elaborado, además, un sistema de claves identificativas que permite nombrar de forma inequívoca cada una de las soluciones propuestas y que está vinculado con el sistema de jerarquía propuesto.

Verificación de prestaciones frente a las exigencias reglamentarias del CTE

La metodología a seguir para el cálculo de las prestaciones exigidas en el CTE comienza por definir qué tipo de material o producto compone cada elemento de la solución constructiva propuesta. De esta manera se elabora un listado de materiales empleados y se recopila información técnica. Esta información es necesaria para el cálculo de las prestaciones:

- Espesor, e , en milímetros;
- Densidad, ρ , en kg/m^3 ;
- Conductividad térmica, λ , en W/m.K ;
- Calor específico, C_p , en J/kg K ;
- Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua seco, μ , adimensional.

Una vez caracterizados los materiales que componen la solución constructiva, se procede al cálculo de sus prestaciones. Para las soluciones seleccionadas se han analizado las prestaciones de comportamiento frente a la humedad, frente al fuego, acústica y térmica. Se ha comprobado la bondad de las soluciones frente a las exigencias reglamentarias del CTE y siguiendo los procedimientos de cálculo que en este se detallan. El cálculo de estas prestaciones se basa en un procedimiento de cálculos con base teórica, siempre estimando del lado de la seguridad.

Para mostrar los resultados se elaboran fichas técnicas de soluciones constructivas y modelos BIM, que recopilan todo el trabajo realizado:

- Esquema en 2D de la solución constructiva, con leyenda de cada uno de los elementos que la forman.
- Características de los materiales y productos que componen cada elemento de la solución constructiva.
- Prestaciones del conjunto de la solución propuesta, incluyendo variantes.

Se trata de mostrar los resultados de modo que puedan ser visualizados en la herramienta inteligente con la mayor sencillez y agilidad.

Vinculación de las soluciones constructivas con los productos de la clasificación taxonómica. Selector.

Tras la caracterización de productos y soluciones constructivas, se lleva a cabo la vinculación entre ambos, se define qué producto o productos de madera pueden ser utilizados como elementos de las soluciones constructivas diseñadas. El objetivo es poder caracterizar cada elemento de madera dentro de una solución constructiva y poder elegir los productos de madera asociados bajo el criterio de selección establecido. Para ello se han estudiado distintas opciones. Inicialmente se trató de hacer una correlación entre la taxonomía propuesta y la vinculación según la metodología propuesta en el VII Congreso Forestal Español (Conde et al., 2017). Esto suponía la necesidad de establecer nuevos taxones a fin de incorporar los términos de adecuación al uso. Finalmente se ha establecido la correlación mediante la codificación de los productos que forman parte de las soluciones constructivas. El problema reside en que la codificación no es biunívoca, ya que a una solución pueden corresponderle varios productos y viceversa.

De esta forma, el código se establece a nivel de solución y los productos se vinculan a las soluciones adoptando dicho código. El sistema de codificación es escalable.

Desarrollo de modelos BIM.

Los modelos BIM se elaboran por medio de la construcción virtual, de forma que consiste en agregar de una forma específica, ordenada y coherente lo que se denominan “objetos”. Al unir los objetos se genera un modelo de edificio o de una infraestructura, constituyendo una base de datos gráficos y no gráficos aportados por cada objeto al conjunto.

Es necesario asegurar la calidad de los objetos que se utilizan, ya que esto repercute de forma directa sobre la calidad final del propio modelo. No se puede obtener un modelo BIM de calidad sin objetos iniciales de calidad.

El trabajo en BIM permite que especialistas en distintas áreas de conocimiento, configuren modelos que se complementan mutuamente en la definición de un activo. En este sentido, y frente a la necesidad de transmitir o intercambiar información contenida en los modelos, se precisa un acuerdo en los criterios que configuran los objetos que se incorporan.

Se han establecido las bases, desarrollando previamente un estado del arte, se han analizado las prestaciones requeridas a los objetos para cumplir los estándares de calidad, conectarse con objetos genéricos y de fabricantes y asegurar que la colaboración e interoperabilidad con las distintas plataformas BIM se cumpla. Las normas que se siguen son estrictamente las europeas OPENBIM.

5.3 Valores ambientales: Declaraciones Ambientales de Producto (DAPs) de productos tipo representativos.

La madera es un material renovable, reciclable y con la capacidad de secuestrar grandes cantidades de carbono durante su creación gracias al crecimiento secundario de los árboles a lo largo de la vida. Sin embargo, y a pesar de los beneficios ambientales que posee en términos de huella de carbono de los productos derivados de ella, no se ha implantado en España el uso generalizado de las Declaraciones Ambientales de Producto por parte de los fabricantes y prescriptores de productos de madera. Por el contrario, en otros países europeos como Alemania, Austria o Noruega sí está generalizado el empleo de las DAPs como una herramienta para poner en valor la madera como producto de construcción sostenible mucho más ventajoso en términos medioambientales que los tradicionales en muchas aplicaciones constructivas.

Esta ausencia de reconocimiento y puesta en valor de los productos de madera en el sector de la construcción mediante alguna de las tipologías de etiquetado existentes en la normativa contrasta con el comportamiento del sector forestal, donde la implantación de los sistemas de certificación forestal en el monte y la cadena de custodia en la industria es un hecho, lo que convierte al sector forestal en pionero en el establecimiento de sistemas e indicadores que evalúen y garanticen la sostenibilidad de las actividades que soporta, asegurando un uso sostenible de los recursos naturales y la conservación y mejora de los ecosistemas forestales.

Uno de los mayores retos que tienen que afrontarse al realizar la DAP genérica (aquella que no está asignada a ningún fabricante) de una familia de producto bajo el enfoque del ACV es la obtención de los datos de inventario debido a la falta de datos públicos disponibles. En el proyecto *“Grupo Operativo. Madera. Construcción. Sostenible”* se han evaluado un conjunto de productos de madera agrupados en 6 familias pertenecientes a las industrias de primera y segunda transformación, para los que se ha establecido un flujo de producción, puesta en obra, demolición, reutilización y reciclaje. Para cada una de estas etapas por las que pasa el producto de madera a lo largo de su vida útil se ha calculado el consumo de materias primas, materiales y energía bajo un contexto generalizable al conjunto de aserraderos y fábricas de dicho producto de madera en el ámbito geográfico español. Finalmente se ha calculado el carbono biogénico de cada producto y se ha realizado el balance de carbono resultante de su vida útil, lo que permite resaltar la ventaja competitiva de la madera frente a otros materiales en términos de huella de carbono.

Selección de productos tipo por familias

Una vez analizadas todas las familias de productos identificadas en este proyecto se han seleccionado las siguientes para la realización de su DAP genérica:

- Madera aserrada
- Madera laminada encolada
- Tablero de madera maciza
- Perfil Laminado
- Tablero contrachapado
- Tablero LSL

Dentro de cada familia, se han considerado algunas de las principales especies españolas empleadas para su fabricación. En concreto, se han estudiado productos de castaño, pino laricio, pino silvestre, pino pinaster y chopo, definiendo una o varias unidades funcionales según el uso característico que se le haya asignado al producto cumpliendo así con la norma UNE-EN 16485:2014 (Madera aserrada y madera en rollo. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de productos de madera y derivados de la madera para su utilización en construcción). En aquellos casos donde no se ha tenido en cuenta ningún uso concreto, se ha considerado la unidad declarada en vez de la unidad funcional. A partir de las unidades funcionales y declaradas, se ha definido el producto tipo de cada familia para el cálculo de los flujos de materia y energía correspondientes. Las distintas unidades funcionales y declaradas, así como los respectivos productos tipo considerados, pueden consultarse en el cuadro 1.

Cuadro 1. Jerarquía de unidades funcionales, declaradas y productos tipo por familia y especie.

Familia	Especie	Unidad funcional / declarada	Producto tipo
Madera aserrada	<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>salzmannii</i>	1 m ³ de madera aserrada estructural de pino laricio para uso como elemento estructural (viga o pilar), en ambiente seco y uso interior y con tratamiento superficial con lasur, instalada y con tratamiento de residuos en el fin de vida.	Perfil de madera aserrada estructural de pino laricio de dimensiones 150 mm x 200 mm x 4000 mm.
	<i>Pinus sylvestris</i> L.	1 m ³ de madera aserrada estructural de pino silvestre para uso como elemento estructural (viga o pilar), en ambiente seco y uso interior y con tratamiento superficial con lasur, instalada y con tratamiento de residuos en el fin de vida.	Perfil de madera aserrada estructural de pino silvestre de dimensiones 150 mm x 200 mm x 4000 mm.
	<i>Pinus pinaster</i> , Ait.	1 m ³ de madera aserrada estructural de pino pinaster para uso como elemento estructural (de cubierta) en ambiente húmedo y uso interior y con tratamiento superficial con lasur, instalada y con tratamiento de residuos en el fin de vida.	Perfil de madera aserrada estructural de pino pinaster de dimensiones 50 x 150 x 3000 mm.
	<i>Castanea sativa</i> Mill.	1 m ³ de madera aserrada estructural de castaño para uso como elemento estructural (de cubierta) en ambiente húmedo y uso interior y con tratamiento superficial con lasur, instalado y con tratamiento de residuos en el fin de vida.	Perfil de madera aserrada estructural de castaño de dimensiones 50 mm x 150 mm x 3000 mm.
Madera laminada encolada	<i>Pinus sylvestris</i> L.	1 m ³ de madera laminada encolada de pino silvestre para uso como elemento estructural (viga o pilar), en ambiente seco y uso interior y con tratamiento superficial con lasur, instalada y con tratamiento de residuos en el fin de vida.	Perfil de madera laminada encolada de pino silvestre de dimensiones 180 x 140 x 3000 mm.
	<i>Castanea sativa</i> Mill.	1 m ³ de madera laminada encolada de castaño para uso como elemento estructural (viga o pilar), en ambiente seco y uso interior y con tratamiento superficial con lasur, instalada y con tratamiento de residuos en el fin de vida.	Perfil de madera laminada encolada de castaño de dimensiones 180 x 140 x 3000 mm.
Perfil laminado	<i>Castanea sativa</i> Mill.	1 m ³ de perfil laminado de castaño para uso como marco de puerta exterior , en ambiente húmedo y uso exterior, y con tratamiento superficial con lasur, instalada y con tratamiento de residuos en el fin de vida.	Perfil laminado de madera de castaño de dimensiones 72 x 120 x 2300 mm.
Tablero alistonado	<i>Castanea sativa</i> Mill.	1 m ³ de tablero de madera maciza de castaño para uso peldaño , en ambiente seco y uso interior y con tratamiento superficial con lasur, instalada y con tratamiento de residuos de fin de vida.	Tablero alistonado de madera de castaño de dimensiones 32 x 1220 x 2440 mm.
Tablero contrachapado	<i>Populus</i> sp.	1 m ³ de tablero contrachapado estructural de chopo de 7 chapas para uso como elemento constructivo de cubierta , en ambiente húmedo y uso exterior y con tratamiento de sales hidrosolubles, instalada y con tratamiento de residuos en el fin de vida.	Tablero contrachapado de chopo compuesto por 7 chapas de dimensiones 15 x 1220 x 2500 mm.
Tablero LSL	<i>Populus</i> sp.	1 m ³ de tablero LSL estructural ignífugo de chopo para uso como elemento estructural (viga, pilar), en ambiente seco y uso interior instalada y con tratamiento de residuos en el fin de vida.	Tablero LSL de chopo de dimensiones 20 x 200 x 8000 mm.

Fuente: Elaboración propia.

Se ha realizado un análisis de ciclo de vida de “cuna a tumba”, incluyendo los límites del sistema todas las fases de las etapas A, B y C, así como el módulo D “Información adicional más allá del ciclo de vida del edificio” según la norma UNE-EN 15804:2012 “Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción”. Así mismo, se ha tenido en cuenta todo lo expuesto en la norma UNE-EN 16485 (Madera aserrada y en rollo. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de productos de madera y derivados de la madera para su utilización en construcción).

La figura 1 detalla las etapas y subetapas del ACV realizado en base a la norma UNE-EN 15804:2012.

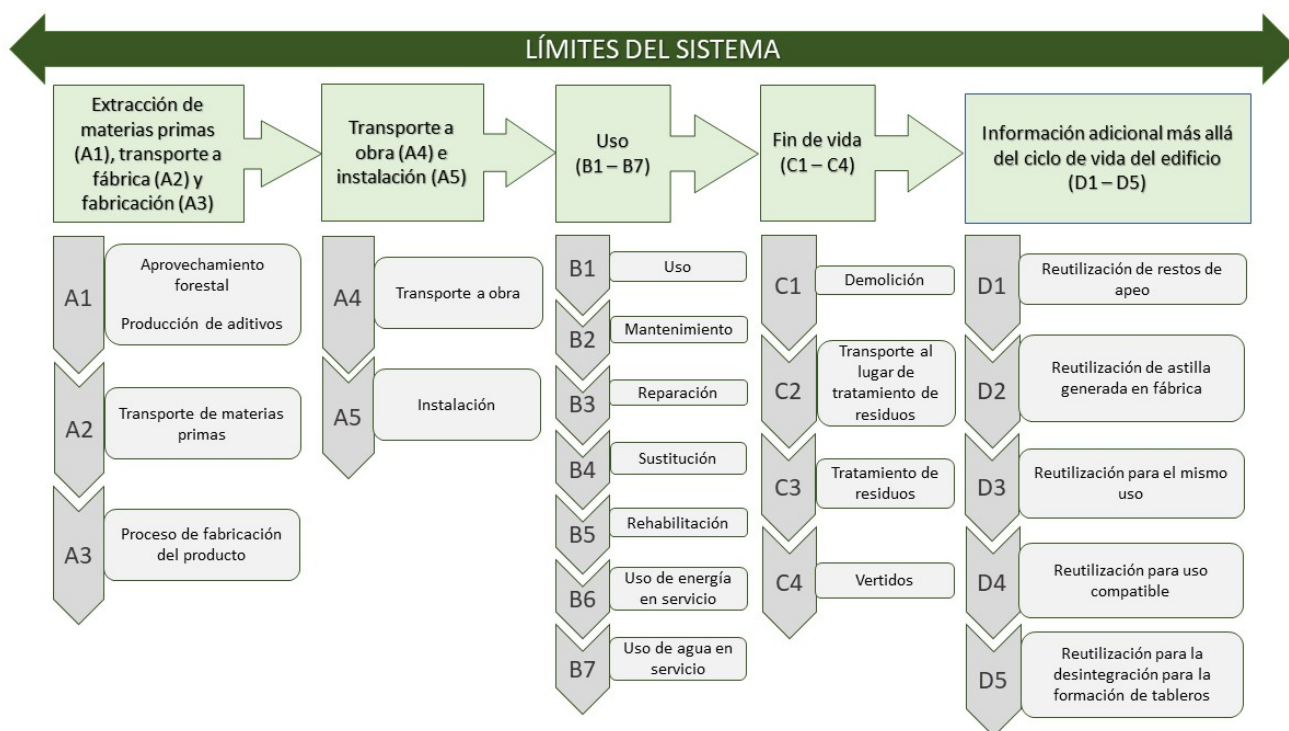


Figura 1. Etapas y subetapas consideradas en los límites del sistema del ACV.

(Adaptado de UNE-EN 15804:2012)

Las DAPs genéricas para las familias de producto consideradas se han realizado conforme a las siguientes normas:

- Nueva norma UNE-EN 15804:2012+A2:2020 Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción, aunque la versión UNE-EN 15804:2012+A1:2014 siga estando vigente.
- UNE-EN ISO 14025:2010 Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos. (ISO 14025:2006)

- UNE-EN 16485:2014 Madera aserrada y madera en rollo. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de productos de madera y derivados de la madera para su utilización en construcción.

Se ha realizado un informe para cada familia de producto, que recoge de forma transparente y minuciosa todas las consideraciones, hipótesis y asunciones realizadas durante las distintas etapas del ACV, de manera que pueda conocerse el contexto de cálculo de los datos de consumo y replicarse a otros productos cuyos contextos sean equivalentes. Estos informes no son públicos para proteger la confidencialidad de los datos que han aportado distintos fabricantes que han colaborado en el proyecto.

El inventario de los datos de consumo de materia y energía se ha realizado tomando la unidad funcional como cantidad de referencia, teniendo en cuenta la cantidad de unidades de producto incluidas en cada unidad funcional según las dimensiones asignadas al producto tipo.

Los datos de consumo de energía y materias primas en la producción de una unidad funcional de producto tipo se han estimado a partir de datos proporcionados por fabricantes nacionales, estudios basados en experiencias reales y de la revisión de bibliografía especializada.

Los datos de los aditivos se han extraído de las fichas técnicas de marcas comerciales de uso habitual en el sector, así como de datos aportados por fabricantes nacionales del producto analizado.

En cualquier caso, la selección de datos y estimaciones de consumos realizadas se ha llevado a cabo buscando la mayor representatividad de cada sector involucrado en la fabricación de cada producto en España.

A los datos empleados se les asume un nivel de calidad 'Muy bien' según el anexo E de la UNE-EN 15804:2012+A2:2020. Este nivel de calidad se debe a la representatividad geográfica, técnica y temporal de los datos empleados, a que proceden de fuentes reconocidas y fiables provenientes del área de estudio, y a que los procesos tecnológicos están referidos al producto final.

En general, los datos han sido obtenidos de estudios teóricos y encuestas a fabricantes. Las empresas seleccionadas tienen un alto nivel tecnológico y sensibilidad ambiental, lo que puede dar lugar a valores de impactos conservadores, inferiores a la media. Debido a esta razón se aplica una penalización del 30% en los resultados de los impactos ambientales.

La asignación de consumos de materia y energía se ha realizado siguiendo la norma UNE-EN 15804 siempre que ha sido posible.

La energía consumida por la maquinaria del proceso de fabricación se ha obtenido mediante estimaciones a partir de datos de potencia demandada, rendimiento y consumo horario procedentes de experiencias prácticas con datos reales, datos de fabricantes del producto tipo y bibliografía especializada.

Igualmente, los datos de consumo energético de las fases de extracción de materias primas y transporte se han estimado a partir de datos de maquinaria real, obtenidos de catálogos y bibliografía especializada que recoge casos prácticos.

Cabe resaltar que se han tenido en cuenta todos los consumos de materias primas y energía, salvo los relacionados con el mantenimiento de las máquinas y vehículos y la reposición de piezas desgastadas por el uso.

Cálculo del carbono biogénico de los productos de madera.

El carbono biogénico contenido en los productos de madera de las familias analizadas se ha realizado en base al modelo de cálculo recogido en la norma UNE-EN 16449 (Madera y productos derivados de la madera. Cálculo del contenido en carbono biogénico de la madera y conversión en dióxido de carbono), mientras que el contexto de cálculo se ha adecuado a lo recogido en la UNE-EN 16485 (Madera aserrada y madera en rollo. Declaraciones ambientales de productos de madera y derivados de la madera para su utilización en construcción).

Esta última norma establece que, en los casos en los que se pueda garantizar la gestión forestal sostenible de los bosques, se asume la neutralidad del carbono biogénico de manera que el CO₂ biogénico es equivalente al carbono biogénico secuestrado en el producto en cuestión y no se incluye en el cálculo del Global Warming Potential (GWP).

Según la UNE-EN 16485, puede asumirse la neutralidad del carbono biogénico de la madera cuando ésta proceda de países que cumplan el artículo 3.4 del Protocolo de Kioto o cuándo los bosques de los que proceda cumplan algún esquema de certificación de gestión forestal sostenible. En concreto, todos los países europeos cumplen el artículo 3.4 del Protocolo de Kioto y, además, en el caso del presente proyecto, la madera es de origen nacional y certificada por lo que se puede asumir la neutralidad del carbono biogénico.

Una vez definido el contexto de cálculo del carbono biogénico, se han estimado los contenidos de CO_{2-eq} de los productos de madera. Para ello, es necesario conocer el contenido de humedad de la madera por la influencia que ésta tiene en la densidad y el volumen de la misma. Esta humedad está definida, a su vez, por las condiciones ambientales a las que se someterá el producto durante su vida útil y que se reflejan en las clases de uso y servicio que les han sido asignadas.

Finalmente, se ha realizado un balance de las emisiones de CO_{2-eq} y del carbono biogénico para cada producto que se ha representado gráficamente, como se recoge en la figura 2, donde se muestra el balance para la madera aserrada de *Pinus nigra*.

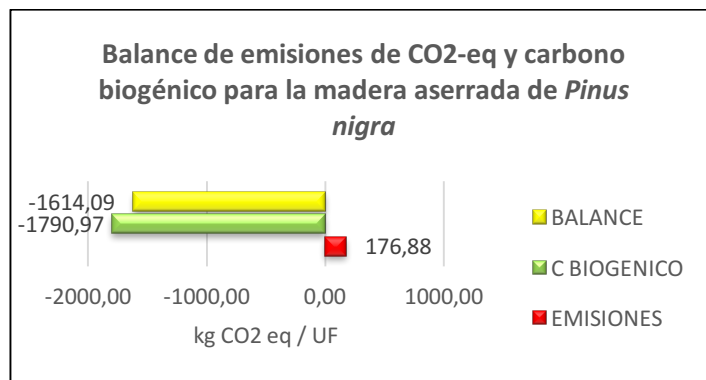


Figura 2. Balance de emisiones de CO₂-eq y carbono biogénico para el pino laricio. (Elaboración propia)

Desarrollo de Declaraciones Ambientales de Producto genéricas.

La obtención de los datos de inventario de los productos tipo de las principales familias de productos de madera, fueron calculados para todos los procesos desde la extracción de la materia prima hasta la etapa de fin de vida del edificio, con el fin de obtener un control absoluto de la calidad de los datos.

Para el cálculo del ACV ha sido necesario elaborar un conjunto de hojas de cálculo. En cada etapa del ciclo de vida se han considerado las entradas de materia y energía (consumos de diésel, aceite, etc.) para cada operación descrita. Se han calculado sus emisiones mediante factores de conversión obtenidos de diferentes fuentes oficiales como el IDAE (Consumo y emisiones de CO₂). En cuanto al cálculo de los impactos, se han tenido en cuenta los factores de caracterización disponibles en el EC-JRC como indica la norma UNE-EN 15804.

Las categorías de impactos ambiental tenidas en cuenta son:

- Contribución al calentamiento global (GWP) en Kg CO₂ eq.
- Destrucción de la capa de ozono estratosférico (ODP) en Kg CFC 11 eq.
- Acidificación de agua y tierra (AP) en Kg de SO₂ eq.
- Eutrofización (EP) en Kg PO₄³⁻ eq.
- Formación de ozono a nivel suelo (POCP) en Kg de etileno eq.
- Agotamiento de recursos abióticos fósil (ADP fósil) en MJ.
- Agotamiento de recursos abióticos elementos (ADP elementos) en Kg de Sb eq.

En cuanto al uso de recursos y generación de residuos se han considerado los siguientes indicadores de ciclo de vida:

- Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima (PERE) en MJ.
- Uso de energía primaria renovable excluyendo energía primaria renovable utilizada como materia prima (PERM) en MJ.
- El uso total de los recursos de energía primaria renovable (PERT) en MJ.
- Uso de energía primaria no renovable excluyendo energía primaria no renovable utilizada como materia prima (PENRE) en MJ.
- Uso de energía primaria no renovable utilizada como materia prima (PENRM) en MJ.
- El uso total de los recursos de energía primaria no renovables (PENRT) en MJ.

- Uso de materiales secundarios (SM) en kg.
- Uso de combustibles secundarios renovables (RSF) en MJ.
- Uso de combustibles secundarios no renovables (NRSF) en MJ.
- Uso de agua (FW) en m³.

- Desechos peligrosos eliminados (HWD) en kg.
- Desechos no peligrosos eliminados (NHWD) en kg.
- Desechos radiactivos eliminados (RWD) en kg.

5.4 Desarrollo de la herramienta: buscador y selector inteligente

Especificaciones de diseño del buscador para facilitar la localización de la información técnica y ambiental

En el desarrollo de la herramienta se plantea en primer lugar el establecimiento de requisitos funcionales y no funcionales de diseño. Cómo requisitos funcionales se establecen requisitos de usuario del buscador y selector inteligente y cómo requisitos no funcionales de la herramienta se consideran requisitos de interfaz y restricciones.

Se establece un diseño del buscador inteligente modo listado, que presente a su vez detalle soluciones constructivas, detalle de producto y comparador de dos soluciones constructivas o productos. Además, se define un diseño para la herramienta del selector inteligente, que se encuentra vinculado a cada elemento de madera de las soluciones constructivas propuestas.

Se define un árbol de navegación y se fija el sistema de acceso al buscador inteligente.

Buscador y selector inteligente de productos de madera

El desarrollo del buscador inteligente se lleva a cabo en base al buscador inteligente IB2Pro2Search, implementado por BALIDEA Consulting & Programming S.L. junto a CUPA Innovación S.L.U., socios participantes de este proyecto.

De cara a la definición de los elementos que son parte crucial del buscador, se lleva a cabo el desarrollo de una base de datos de productos y soluciones constructivas, en la que se recoge toda la información elaborada en el proyecto y que es objeto de visualización en la herramienta.

El buscador ofrece un sistema de clasificación de información muy avanzado puesto que utiliza taxonomías que van más allá del simple uso de categorías. Mediante las taxonomías se pueden definir distintos conceptos y valores que puedan servir para describir los distintos contenidos del portal. Esto permite realizar búsquedas y clasificaciones utilizando uno o varios de los criterios existentes. El uso de taxonomías creadas optimiza las relaciones que se establecen entre los elementos, e internamente entre las partes que dan forma a las diferentes estructuras que se han definido.

El selector inteligente se desarrolla como una parte específica del buscador de productos y soluciones constructivas del proyecto. El componente ha sido integrado en el buscador con la finalidad de localizar productos equivalentes a productos que dan forma a las soluciones constructivas evaluadas. Para la gestión del selector inteligente se han establecido relaciones en base de datos de forma que sea necesario tener en el sistema al menos un producto tipo que tenga vinculados otros productos que ofrezcan las mismas prestaciones.

Cuando se define una solución constructiva a nivel buscador inteligente, se establecen las capas o elementos que dan forma a la misma, y los productos pueden ser utilizados en la solución para definir esas capas, así como las variantes resultantes. De este modo se establece el vínculo entre los productos y las soluciones. Estos productos de cada capa a su vez tienen otros productos

equivalentes que, mediante el selector inteligente, indicarán tras su consulta y al usuario final las nuevas prestaciones derivadas de las nuevas configuraciones.

El selector inteligente funciona por lo tanto como un componente que relaciona los productos tipo que forman parte del listado de materiales de la solución constructiva con productos equivalentes y que pueden ser utilizados en lugar de los primeros obteniendo una solución constructiva equiparable en prestaciones.

6. RESULTADOS

6.1 Clasificación taxonómica de productos de madera para la construcción en función de sus propiedades técnicas y fichas de características técnicas de familias de productos

Las familias de productos de madera seleccionadas para seleccionar los productos tipo son las siguientes:

- Madera aserrada estructural de sección rectangular (MAE)
- Madera laminada encolada (MLE)
- Tableros de madera maciza (SWP)
- Tableros contralaminados de madera maciza (CLT)
- Tableros contrachapados (TPLY)
- Productos microlaminados (LVL)
- Tablero OSB (OSB)
- Tablero de partículas (TPE)
- Tablero de fibras densidad media MDF
- Tableros sándwich

Tras el proceso de selección de productos tipo derivados de la madera se obtiene una relación de 133 productos tipo de madera, que se muestran a continuación:

Cuadro 2. Relación de productos de madera analizados del tipo perfil.

Producto	Propiedad	Familia	Dimensión	Clase	Especie	Clase técnica
Perfil	Estructural	Madera aserrada estructural	Viga coníferas (MEG)	C22	Pino laricio	5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4)
					Pino silvestre	5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4)
				C20	Pino radiata	5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4)
			Viga frondosas (MEF-G)	D24	Castaño	4 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2)
			Tabla tablón coníferas	C30	Pino laricio	5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4)
					Pino silvestre	5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4)
				C24	Pino radiata	5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4)
					Pino pinaster	5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4)
				C18	Pino laricio	5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4)
					Pino silvestre	5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4)
		Pino radiata			5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4)	
		Pino pinaster			5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4)	
		Tabla tablón frondosas	D40	Eucalipto	4 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2)	
			D24	Castaño	4 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2)	
		Madera laminada encolada	Viga laminada coníferas	GL-24h	Pino silvestre	4 clases de uso y servicio
					Abeto	2 clases de uso y servicio
				GL-28h	Pino silvestre	4 clases de uso y servicio
					Abeto	2 clases de uso y servicio
			Viga laminada frondosas	GL-30h	Castaño	3 clases de uso y servicio
			Perfil de madera microlaminada	-		
	Perfil de chapas de madera	-				
	Perfil de virutas	-				
	Perfiles mixtos	-				
	No estructural	Madera aserrada (MAS)	-			
		Madera termotratada	-			
		Madera acetilada	-			
		Perfil laminado	-			

Fuente: Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible

Cuadro 3. Relación de productos de madera analizados del tipo tablero.

Producto	Propiedad	Familia	Clase técnica	Espesores		
Tablero	Estructural	Tablero de madera maciza multicapa	SWP1-ML	12 a 20, >20 a 30, >30 a 42, > 42		
			SWP2-ML	12 a 20, >20 a 30, >30 a 42, > 42		
			SWP3-ML	12 a 20, >20 a 30, >30 a 42, > 42		
		Tablero de madera maciza monocapa	SWP1-SL	>20 a 30		
			SWP2-SL	>20 a 30		
			SWP3-SL	>20 a 30		
		Tablero Contrachapado	Clase técnica 1	8 a 25		
			Clase técnica 2	8 a 25		
			Clase técnica 3	8 a 25		
		Tablero OSB	OSB/2	>6 a 10, >10 a 18, > 18 a 25		
			OSB/3	>6 a 10, >10 a 18, > 18 a 25		
			OSB/4	>6 a 10, >10 a 18, > 18 a 25		
		Tablero de partículas	P4	> 6 a 13, > 13 a 20, > 20 a 25, > 25 a 32, > 32 a 40, > 40		
			P5	> 6 a 13, > 13 a 20, > 20 a 25, > 25 a 32, > 32 a 40, > 40		
			P6	> 6 a 13, > 13 a 20, > 20 a 25, > 25 a 32, > 32 a 40, > 40		
			P7	> 6 a 13, > 13 a 20, > 20 a 25, > 25 a 32, > 32 a 40, > 40		
		Tablero mixto				
		No estructural	Tablero alistonado			
			Tablero OSB			
	Tablero de partículas					
	Tablero de fibras					
	Tablero mixto					
	Aislante	Tablero de fibras				
Tablero mixto						

Fuente: Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible

Una vez realizada la selección de productos tipo, se propone la siguiente clasificación taxonómica:

- Dominio: Productos
- Reino: Productos de madera y otros productos
- División: Productos de madera para uso general y para uso en la construcción
- Clase: Productos en forma de perfil o en forma de tablero o panel.
- Orden: Producto con uso estructural o con uso no estructural

- Género: Clase técnica definida por la clase de uso y clase de servicio.
- Categoría: Funciones u otros requisitos específicos.

Para todos estos productos se ha llevado a cabo un proceso de recopilación de características técnicas y se han elaborado fichas tipo que agrupan productos de características concretas dentro de la misma familia.


Como resultado se obtiene un total de 28 fichas de producto, que recogen la totalidad de los 133 productos tipo definidos. Se muestra a continuación a modo de ejemplo una ficha elaborada para *Madera laminada encolada homogénea de pino silvestre*.

Grupo Operativo
Madera Construcción Sostenible

92

MLE-6L24H-PNSY

Madera laminada encolada homogénea GL24h de Pino silvestre.



Elemento estructural (perfil) de madera laminada encolada, compuesta por láminas de madera de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) de espesor entre 8 y 45 mm, de anchura variable y misma clase resistente, dispuestas y encoladas longitudinalmente según el ojo de la pieza. Cada lámina, a su vez, está compuesta por piezas de la misma especie unidas longitudinalmente entre sí mediante empalmes encolados de unión dentada hasta alcanzar la longitud deseada para el elemento.

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS (MEG)

Ancho	100-215 mm
Alto	135-495 mm
Largo	± 13000mm

*En función del grosor de lámina.
+ Clase de servicio 1 y 2: grosor de lámina > 40mm
+ Clase de servicio 3: grosor de lámina > 30 mm

Tolerancias
Tolerancias dimensionales según Norma UNE-EN 339

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS UNE-EN 14080

Clase resistente	EL30A	Flexión fm.g.k	3k	N/mm ²
Tracción paralela ft.0.g.k	19.2	Tracción perpendicular ft.90.g.k	0.5	N/mm ²
Compresión paralela fc.0.g.k	3k	Compresión perpendicular fc.90.g.k	1.5	N/mm ²
Coronaje (coronadura y torsión) ft.g.k	1.5	Coronaje de rodadura ft.g.k	1.2	N/mm ²
Módulo de elasticidad medio paralelo E0.g.medio	11800	Módulo de elasticidad medio perpendicular E90.g.medio	300	N/mm ²
Módulo de elasticidad característico paralelo E0.g.05	1400	Módulo de elasticidad característico perpendicular E90.g.05	350	N/mm ²
Módulo de coronaje medio Gg.medio	450	Módulo de coronaje característico Gg.05	500	N/mm ²

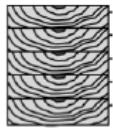
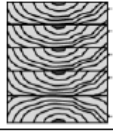




Grupo Operativo
Madera Construcción Sostenible

93

Módulo de coronaje de rodadura medio E0g.medio	45	N/mm ²	Módulo de coronaje de rodadura característico E0g.05	5k	N/mm ²
Densidad característica pg.k	365	Kg/m ³	Densidad media pg.medio	420	Kg/m ³
CEC-2010					
Conductividad térmica λ	0.13	W/mk	Calor específico Cp	1400	J/kgK
Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua seco μ	20				CEC-2010

PROPIEDADES DE DURABILIDAD Y VIDA DE SERVICIO

Tipo de adhesivo	Tratamiento de la madera	Disposición de las láminas ¹
CS1 CU1 LME Resorcina Pegularbano EPOXY/Viscolac	Acabado superficial, lacura y gelac	
CS2 CU2 LME Resorcina Poluretano	Acabado superficial, lacura y gelac	
CS3 CU3.1 LME Resorcina	Tratamiento en sustrato del perfil completo	
CS3 CU3.2 LME Resorcina	Tratamiento en sustrato del perfil completo	

1 Clase de servicio según la Norma UNE-EN 1995-1-1:2007 (EN 1995)
 2 Clase de uso conforme a UNE-EN 339.
 Disposición de las láminas que conforman el perfil según caso a su vez.

Figura 3. Ejemplo de ficha de producto de madera. (Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible)

6.2 Propuesta de soluciones constructivas en base madera o que contengan madera en su composición; y selector inteligente de productos

Tras el estudio realizado, el total de soluciones susceptible de ser industrializadas propuestas, desarrolladas y descritas es de: 40 soluciones de cubierta, 11 de fachada, 8 particiones y 24 forjados tipo. Estas soluciones podrían incrementarse si se tienen en consideración en algunos casos de forma independiente las soluciones con trasdosado.

Cuadro 4. Relación de la totalidad de soluciones constructivas de tipo cubierta propuestas, sistema de jerarquía y claves identificativas.

CUBIERTA	PLANA	TRANSITABLE	NO VENTILADA	SOLADO FIJO	Convencional	CPT NVSFC-CLT
						CPT NVSFC-ENT
					CPT NVSFC-MX	
				SOLADO FLOTANTE	Invertida	CPT NVSFI-CLT
					CPT NVSFI-ENT	
					CPT NVSFI-MX	
				VENTILADA	SOLADO FLOTANTE	Convencional
			CPT NVSFL-ENT			
			CPT NVSFL-MX			
			Invertida		CPT VSFLC-CLT	
					CPT VSFLC-ENT	
					CPT VSFLC-MX	
		NO TRANSITABLE	NO VENTILADA	GRAVA	Convencional	CPT VSFLI-CLT
						CPT VSFLI-ENT
					CPT VSFLI-MX	
				AUTO PROTEGIDA	Convencional	CPNT NVGC-CLT
					CPNT NVGC-ENT	
					CPNT NVGC-MX	
				AJARDINADA	Convencional	CPNT NVGI-CLT
			CPNT NVGI-ENT			
			Invertida		CPNT NVGI-MX	
					CPNT NVAC-CLT	
	VENTILADA		NO VENTILADA	CAPA PROTECCIÓN	Convencional	CPNT NVAC-ENT
						CPNT NVAC-MX
					Invertida	CPNT NVAJC-CLT
				CPNT NVAJC-ENT		
			AUTO PROTEGIDA	Convencional	CPNT NVAJC-MX	
				CPNT NVAJI-CLT		
		LIGERA	Ligera	CPNT NVAJI-ENT		
	Protegida		CPNT NVAJI-MX			
	Impermeabilizada		CI NV-L			
	VENTILADA	LIGERA	Insonorizada	CI NV-P		
				CI NV-IP		
	INCLINADA	NO TRANSITABLE	NO VENTILADA	Convencional	CI NV-IS	
				Invertida	CI NVCP-CLT	
				CI NVCP-ENT		
		VENTILADA	AUTO PROTEGIDA	Convencional	CI NVCP-CLT	
					CI NVCP-ENT	
			LIGERA	Ligera	CI NVAC-CLT	
		CI NVAC-ENT				

Fuente: Grupo Operativo Construcción Madera Sostenible

Cuadro 5. Relación de la totalidad de soluciones constructivas de tipo fachada propuestas, sistema de jerarquía y claves identificativas.

FACHADA	PESADA	ENTRAMADO	SATE	FAP ENT-SATE
			CÁMARA VENTILADA	FAP ENT-CV
		CLT	SATE	FAP CLT-SATE
			CÁMARA VENTILADA	FAP CLT-CV
	LIGERA	ENTRAMADO	SATE	FAL ENT-SATE
			CÁMARA VENTILADA	FAL ENT-CV
		PANELES	SIMPLE	FAL P
			PROTEGIDA	FAL P-P
			IMPERMEABILIZADA	FAL P-IP
			INSONORIZADA	FAL P-IS
MIXTA		SATE	FAX-SATE	
		CÁMARA VENTILADA	FAX-CV	

Fuente: Grupo Operativo Construcción Madera Sostenible

Cuadro 6. Relación de la totalidad de soluciones constructivas de tipo forjado propuestas, sistema de jerarquía y claves identificativas.

FORJADO	ENTRAMADO	ESTRUCTURA VISTA		FO ENT-EV	
		FALSO TECHO		FO ENT-FT	
	CLT	SIMPLE	Trasdosado		FO CLT-T
			No trasdosado		FO CLT-NT
		DOBLE	Trasdosado		FO 2CLT-T
			No trasdosado		FO 2CLT-NT
	MIXTO		ESTRUCTURA VISTA		FO MX-EV
			FALSO TECHO		FO MX-FT

Fuente: Grupo Operativo Construcción Madera Sostenible

Cuadro 7. Relación de la totalidad de soluciones constructivas de tipo partición propuestas, sistema de jerarquía y claves identificativas.

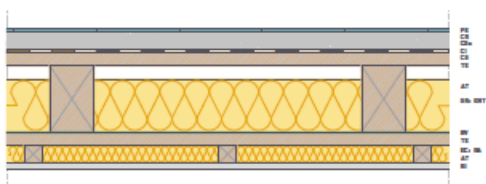
PARTICIONES VERTICALES	TABIQUERÍA	CLT	Acabado simple	No trasdosado	PTAB CLT	
				Trasdosado	PTAB CLT t	
				Doble trasdosado	PTAB CLT 2t	
			Acabado doble	No trasdosado	PTAB CLT- 2Ac	
				Trasdosado	PTAB CLT- 2Ac t	
				Doble trasdosado	PTAB CLT- 2Ac 2t	
	ENTRAMADO		Acabado simple		PTAB ENT	
			Acabado doble		PTAB ENT- 2Ac	
			Acabado triple		PTAB ENT- 3Ac	
	SEPARACIONES ENTRE USUARIOS (SEU)	CLT	CLT SIMPLE	AT+AA		PSEU CLT- AT+AA
			CLT DOBLE	Acabado simple	No trasdosado	PSEU 2CLT
		Trasdosado			PSEU 2CLT t	
		Doble trasdosado			PSEU 2CLT 2t	
		AT+CA		PSEU 2CLT- AT+CA		
		Acabado doble		No trasdosado	PSEU 2CLT- 2Ac	
				Trasdosado	PSEU 2CLT- 2Ac t	
			Doble trasdosado	PSEU 2CLT- 2Ac 2t		
		ENTRAMADO	SIMPLE	2AT	Acabado simple	PSEU ENT- 2AT
					Acabado doble	PSEU ENT- 2AT 2Ac
			DOBLE	CA	CON ARRIOST.	PSEU 2ENT- CA A
					SIN ARRIOST.	PSEU 2ENT- CA SA
AT				Acabado simple	PSEU 2ENT- AT	
				Acabado doble	PSEU 2ENT- AT 2Ac	
Acabado triple	PSEU 2ENT- AT 3Ac					

Fuente: Grupo Operativo Construcción Madera Sostenible

Tras el trabajo realizado se obtiene una variedad compleja de soluciones constructivas que supera las expectativas iniciales del proyecto. El estudio pormenorizado de cada una de ellas conlleva una gran labor que no tiene cabida en el planteamiento inicial del proyecto. Es por este motivo que se ha comenzado por evaluar 3 soluciones nuevas de cubierta, 5 fachadas, 3 particiones y 2 forjados tipo. De cada una de las soluciones constructivas evaluadas, se estudia la posibilidad de incluir trasdosado, por lo que algunas de ellas se duplican, desarrollando por lo tanto 6 fichas de soluciones constructivas de tipo cubierta, 10 de fachadas, 4 particiones y 3 forjados tipo. Computan un total de 23 fichas de soluciones constructivas realizadas. A continuación, se muestra un ejemplo de ficha de solución constructiva.

CPT NVSFC-ENT t

Cubierta, Plana, Transitable, No ventilada, Solado Fijo, Convencional, Entramado, trasdosado



PC	Protección Exterior	SR-ENT	Soporte Revestimiento entramado
CR	Capa de Regulación	SV	Barrera de Vapor
CSa	Capa Separadora antipuntuamiento	TE	Tablero Estructural
CI	Capa Impermeabilizante	EC-RA	Elemento de Compartimentación trasdó
CS	Capa Separadora	AT	Aislante Térmico
TE	Tablero Estructural	RI	Revestimiento Interior
AT	Aislante Térmico		

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Material	Esesor (mm)	p (kg/m ³)	λ (W/m.K)	Cp (J/kg.K)	μ (adim.)	
PE1	Baldosa	4	2000	1	800	30
CR1	Mortero Cemento	40	2000	1,8	1000	10
CSa1	Gestaltil no tejido antipuntuamiento	1,1	120	0,05	130	15
CI1	PVC	5	1390	0,17	900	50000
CS1	Gestaltil no tejido	1,1	120	0,05	130	15
TE 1	Tablero Estructural OSB	25	650	0,13	1700	30
AT1	Panel lana mineral	100	100	0,035	0	1
SR-ENT1	Perfil estructural madera maciza	120	550	0,18	1600	20
SR-ENT2	Perfil estructural madera maciza	150	550	0,18	1600	20
SV	Film freno de vapor de polietileno extruido (PE)	0,2	940	0,4	1800	725000
EC-RA3	Perforación metálica	40	350	0,13	-	50
EC-RA2	Listones de madera	40	650	0,15	1600	20
AT4	Panel lana mineral	40	100	0,035	-	1
RI1	Placasaco laminado	15	900	0,25	-	280

PRESTACIONES SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

Esesor total	Ei	HE		HR		
		U (W/(m ² .K))	m (kg/m ²)	RA (dBA)	RAtr (dBA)	
V1: SR-ENT1, EC-RA3	276,4	EI 30V EI 40	0,23	150,80	43	58
V2: SR-ENT2, EC-RA2	308,4	EI 30V EI 30	0,24	168,94	42	57

1. Cálculo de la resistencia térmica. Se han considerado: barrera al vapor al tipo de construcción según la disposición de la Norma UNE EN 12975-1.1. Considerar el coeficiente de aislamiento térmico de los materiales homogéneos.
 2. Los datos de propiedades térmicas de los materiales homogéneos se han obtenido de la Norma UNE EN 12975-1.1. Considerar el coeficiente de aislamiento térmico de los materiales homogéneos.
 3. En cuanto a la construcción de la cubierta al tipo de solución constructiva se han considerado los valores de la Norma UNE EN 12975-1.1. Considerar el coeficiente de aislamiento térmico de los materiales homogéneos.
 4. Se han considerado los valores de la Norma UNE EN 12975-1.1.
 5. Se han considerado los valores de la Norma UNE EN 12975-1.1.
 6. Se han considerado los valores de la Norma UNE EN 12975-1.1.
 7. Para el cálculo de la resistencia térmica de los materiales homogéneos se han considerado los valores de la Norma UNE EN 12975-1.1. Considerar el coeficiente de aislamiento térmico de los materiales homogéneos.

Figura 4. Ejemplo de ficha de solución constructiva (Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible).

Todos los elementos de madera incluidos en las soluciones constructivas evaluadas han sido vinculados con productos tipo de madera compatibles. Para ello se han establecido tipologías de elementos estructurales que se repiten en las diferentes soluciones constructivas, y que se encuentran instalados bajo las mismas condiciones de humedad. A estas tipologías se les asocia un código que se vincula con productos tipo compatibles. Son las siguientes:

Cuadro 8. Tabla resumen de vinculación de productos tipo de madera con elementos de las soluciones constructivas evaluadas.

Código	Elemento constructivo	Nº de productos tipo vinculados
SR: CLT	Soporte Resistente: madera contralaminada	-
SR: ENT	Soporte Resistente: entramado	15
EC: RA-Int	Elemento de compartimentación: rastrel (interior calefactado)	1
EC: RA-Ext	Elemento de compartimentación: rastrel (exterior)	1
TE-C	Tablero estructural: cara caliente (interior calefactado)	21
TE-F	Tablero estructural: cara fría (interior no calefactado)	24
RE-Ext	Revestimiento exterior: paneles de madera (exterior)	10
EC: MO	Elemento de compartimentación: montante (interior calefactado)	12
PS	Panel sándwich (exterior)	1
RI	Revestimiento interior: suelo de madera (interior calefactado)	1

Fuente: Grupo Operativo Construcción Madera Sostenible

6.3 Valores ambientales: Declaraciones Ambientales de Producto (DAPs) de productos tipo representativos

Como resultado de la realización de las DAPs genéricas de las familias consideradas se han obtenido varios documentos con contenidos y aplicaciones diversos.

En primer lugar, se ha generado un documento de trabajo (ficha) donde se reflejan todas las consideraciones, suposiciones, hipótesis y demás aspectos para tener en cuenta a la hora de definir el contexto de cálculo de los datos de inventario que permita extrapolarlos a otros procesos de fabricación.

En segundo lugar, se han desarrollado unas hojas de cálculo para obtener los valores de los indicadores necesarios para conocer los impactos asociados a la fabricación del producto en base a ciertos parámetros obtenidos de los datos de inventario. Estas hojas de cálculo permiten replicar los cálculos para distintos productos de manera ágil y sistemática.

Además, se ha generado el documento que recoge los resultados de ACV y que constituye la DAP. Este documento debe someterse a certificación por una tercera parte independiente para que la DAP esté vigente durante el período de tiempo especificado en ella. En este proyecto se han elaborado las bases para la certificación, labor que ha sido desarrollada por AENOR Internacional.

Finalmente, se ha desarrollado una hoja de cálculo del carbono biogénico asociado a cada producto tipo en base a determinados parámetros relacionados con residuos y coproductos. En base a estos resultados, se han obtenidos los balances de CO₂-eq para los distintos procesos de fabricación considerados, que se han representado gráficamente para facilitar su interpretación y comparación.

Categoría de impactos ambientales	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1-7	C1	C2	C3	C4	D
GWP Calentamiento global [kg CO ₂ eq]	3,02E+01	1,00E+01	1,21E+02	1,61E+02	1,58E+01	1,54E+01	0	1,97E+01	9,18E+00	6,96E-01	8,30E-04	-1,29E+02
ODP Agotamiento de la capa de ozono estratosférico [kg CFC-11 eq]	1,07E-03	4,07E-04	0,00E+00	1,47E-03	6,70E-04	1,55E-05	0	2,59E-05	3,91E-04	1,30E-05	3,52E-08	-2,24E-03
AP Acidificación del suelo y de los recursos de agua [kg SO ₂ eq]	1,83E-01	1,29E-01	0,00E+00	3,12E-01	1,15E-01	2,67E-03	0	4,44E-03	6,71E-02	2,22E-03	6,04E-06	-4,32E-01
EP Eutrofización [kg (PO ₄) ⁻³ eq]	2,97E-02	1,13E-02	0,00E+00	4,10E-02	1,87E-02	4,33E-04	0	7,22E-04	1,09E-02	3,61E-04	9,82E-07	-6,25E-02
POCP Formación de ozono troposférico [kg etileno eq]	9,02E-03	4,43E-03	0,00E+00	1,34E-02	5,67E-03	1,31E-04	0	2,19E-04	3,31E-03	1,10E-04	2,98E-07	-1,98E-02
ADPF Agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles [MJ]	3,28E+02	2,16E+02	0,00E+00	5,44E+02	1,57E+02	2,67E-03	0	7,98E+00	1,20E+02	3,99E+00	1,08E-02	-7,64E+02
ADPE Agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles [kg Sb eq]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 5. Tabla en la que se describen los impactos ambientales definidos en la Norma UNE-EN 15804, incluida dentro de la DAP de madera aserrada estructural de pino silvestre con tratamiento superficial (Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible)

Cantidad de carbono biogénico				
Etapas	A1	A2	C3	TOTAL
Cantidad [Kg CO ₂ eq]	-1669,00	817,81	851,81	0,00

Figura 6. Tabla en la que se calcula la cantidad de carbono biogénico, incluida dentro de la DAP de madera aserrada estructural de pino silvestre con tratamiento superficial (Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible)

6.4 Herramienta: buscador y selector inteligente de productos

Para concluir se presenta como resultado de transferencia la herramienta desarrollada. Esta herramienta incluye el buscador online de productos de madera y soluciones constructivas y el selector inteligente que permite encontrar productos vinculados que son compatibles con los diferentes elementos de la solución constructiva. El buscador permite realizar búsquedas tanto de productos de madera como de soluciones constructivas, mediante un sistema de etiquetas desplegables que avanzan por ambos sistemas jerárquicos de clasificación hasta llegar a la solución constructiva o producto final deseado. Los productos o soluciones aparecen a modo de listado y al hacer clic sobre una de las opciones se despliega una opción para visualizar la ficha completa. Ahí se suministra información gráfica sobre el producto, características relevantes, y los descargables disponibles (en el caso de productos, la ficha de producto; y en soluciones

constructivas, la ficha técnica y el modelo BIM). Además, cuenta con un comparador que permite establecer comparaciones entre dos productos.



Figura 7. Interfaz del buscador inteligente. (Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible)

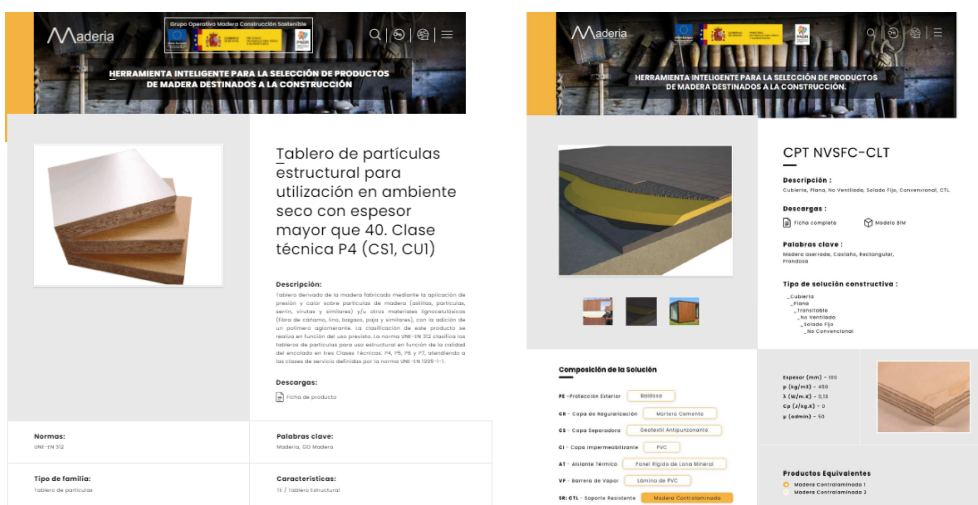


Figura 8. Visualización de ficha completa de un producto (izquierda) y una solución constructiva (derecha). (Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible)

El selector inteligente se encuentra implementado dentro de cada ficha completa de solución constructiva. Esta ventana permite seleccionar materiales y productos para ciertos elementos de las soluciones constructivas, así como generar variantes. El selector inteligente muestra al usuario una lista con todos los productos tipo de madera implementados en esta fase del proyecto que son compatibles para el elemento de la solución constructiva elegido.

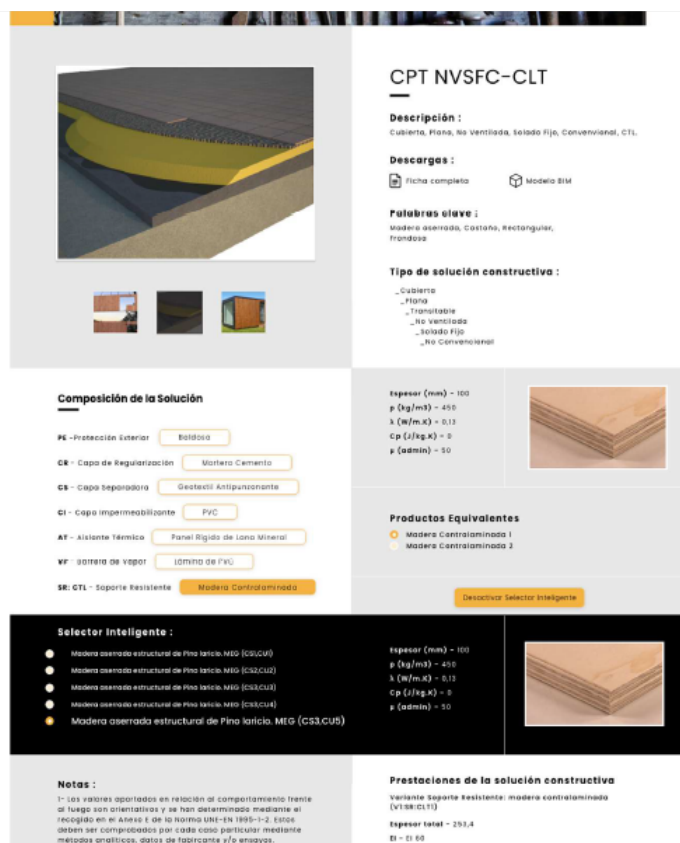


Figura 9. Interfaz del selector inteligente implementado dentro de la sección de productos equivalentes de una solución constructiva. (Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible)

7. DISCUSIÓN

De todas las clasificaciones posibles de familias de productos de madera destinados a la construcción, se ha escogido la que distingue a las familias de productos de madera según el grado de desintegración que sufre la madera para la fabricación de los diferentes productos. La elección de esta clasificación se debe a que es la que mejor diferencia a los productos por sus características técnicas definidas a partir de las correspondientes normas de ensayo.

De la totalidad de familias de productos se han elegido las diez familias de productos indicadas en el apartado de resultados por ser estas las más utilizadas en el sector de la construcción. De las 10 familias de productos seleccionadas todas ellas son elegidas por ser los productos elaborados con especies de procedencia española o fabricados con tecnología española, a excepción del tablero OSB cuyo consumo cada vez está más extendido en España.

De las posibles clasificaciones taxonómicas de productos de madera se ha optado por elegir aquella que permita realizar un árbol de decisión que posibilite la elección de un determinado producto capaz de cumplir determinados requisitos establecidos previamente. Otras clasificaciones de los productos derivados de la madera hacen referencia a las aplicaciones y destino final de estos productos, estando dirigidas a usos generales de la madera y no tanto basadas en aspectos técnicos, como las clasificaciones analizadas en este trabajo, para su uso en construcción.

En nuestro contexto, un sistema de ordenación taxonómico de clasificación divide los materiales y productos de la construcción y los clasifica de manera unívoca. Tiene la importancia de clasificar mediante un sistema jerárquico y sistemático los productos. Se busca en todo momento la simplicidad como clave para su utilización.

En relación a la propuesta de nuevas soluciones constructivas, se han obtenido un total de 40 soluciones constructivas de cubierta, 12 de fachada, 8 forjados y 24 particiones verticales. El sistema de clasificación jerarquizado permite su ampliación si fuese necesario incluir nuevos sistemas constructivos en base a madera. Esta situación provoca una mejora considerable en el contexto inicial en el se encontraban pocas soluciones constructivas en base a madera en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. Este elevado número de soluciones constructivas diseñadas ha sobrepasado con creces las expectativas iniciales del proyecto, cuyo objetivo inicial era desarrollar 6 soluciones constructivas de tipo cubierta, 10 de fachada, 4 forjados y 4 particiones verticales.

En la evaluación de prestaciones de la solución constructiva la caracterización de los materiales que componen cada elemento juega un papel clave, pudiendo encontrar un gran número de variantes simplemente en función de los materiales que la componen. Las prestaciones han sido estimadas mediante cálculos según lo detallado en el CTE y utilizando programas de cálculo específicos, aunque se deberían complementar con valores comprobados mediante datos de ensayos. La disposición de una gran variedad de soluciones constructivas diseñadas y sus prestaciones tiene una gran implicación en el sector de la construcción, aportando valor a arquitectos e ingenieros de cara a la prescripción de productos de madera.

La elaboración de las Declaraciones Ambientales de Producto y demás documentos anexos ha conseguido sistematizar los procesos de obtención de datos de inventario y de cálculo de impactos en la medida de lo posible, ya que el proceso de fabricación de cada producto, así como su instalación, demolición y tratamiento de residuos varía significativamente en cada caso debido a los numerosos factores ajenos al propio producto. En cualquier caso, y a pesar de ello, el hecho de poder comparar varios contextos permite seleccionar y aplicar los datos de inventario correctamente y, además, facilita la comparación de resultados entre productos distintos, alcanzando así el objetivo de acercar los productos de madera a los prescriptores y facilitar su selección por comparación con otros productos de construcción tradicionales.

Además, la parametrización de los cálculos facilita la generación de las DAPs, haciéndolas más accesibles a los fabricantes de productos de madera y promoviendo la implantación de su uso de manera generalizada en el mercado español.

Cabe remarcar la importancia de la obtención de datos de inventario bien contextualizados y con una sólida base científica, ya que es imprescindible la existencia de buenos y abundantes datos para facilitar la generación de DAPs de manera más fácil y generalizada en el sector. Es necesario combatir la falta de datos públicos, fiables y representativos si se quiere promover el

uso generalizado de las DAPs en el sector de la fabricación de productos de madera y de su uso en construcción.

Por último, las herramientas desarrolladas, buscador de productos y selector inteligente, se presentan a modo de una vía de transmisión de toda la información desarrollada en el proyecto. La transmisión de la información de forma simple y lógica ha sido una de las claves de esta fase del proyecto. El gran volumen de información obtenido y su complejidad técnica han hecho de ello una labor crucial para la difusión de la información, de forma que esta pueda llegar al mayor número de personas posible. El acceso es totalmente gratuito y está disponible para todos los agentes interesados en la madera como material de construcción. La herramienta se aloja en la web ya existente de Maderia Sociedad Española de la Madera, una Asociación Técnica sin ánimo de lucro que reúne en su estructura a profesionales y empresas relacionadas con la madera. Esta presenta una sólida trayectoria en el sector de la madera y contribuirá a la mayor visualización del proyecto.

8. CONCLUSIONES

1. El desarrollo de un sistema de clasificación taxonómico y la elaboración de fichas sintéticas de información sobre los productos contribuyen a la puesta en valor y facilitan su conocimiento a los prescriptores de este material. Es fundamental conocer sus características técnicas y su aplicabilidad dentro de los sistemas constructivos. Las fichas de productos elaboradas reúnen la información necesaria para la elección de productos de madera, permitiendo realizar una vinculación con elementos constructivos concretos.
2. Las soluciones constructivas en base a madera incluidas actualmente en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE son insuficientes para alcanzar los objetivos futuros de transición a una construcción sostenible. El trabajo llevado a cabo ha permitido ampliar en gran medida el número de soluciones constructivas en base a madera incluidas en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. El sistema jerarquizado propuesto para la clasificación de soluciones constructivas permite estructurar y definir sistemas constructivos, permitiendo su ampliación de forma lógica.

La elaboración de fichas técnicas de soluciones constructivas y la realización de un catálogo de modelos BIM en los que se recoge toda la información desarrollada, contribuye a su difusión y conocimiento en el ámbito de la construcción.

La vinculación de los elementos de cada solución constructiva con productos de madera compatibles, completa la labor de facilitar a los prescriptores la identificación y correcta elección de productos de madera.

3. La implantación del uso generalizado de DAPs genéricas, a falta de DAPs de fabricantes, es imprescindible para el fomento del uso de productos de madera en construcción atendiendo a criterios de sostenibilidad. Para que estos datos sean fiables y comparables, debe asegurarse que el contexto de aplicación de los datos de inventario es el correcto.

Mediante la parametrización de los cálculos de los impactos se facilita la generación de DAPs, lo que las hace más accesibles a los fabricantes de productos de madera. Esto permitirá su implantación de manera generalizada en un mercado más estable y competitivo.

La estimación del balance de CO_{2-eq} de los productos de madera para construcción permite evidenciar su ventaja competitiva en términos ambientales frente a otros productos de construcción. Esto facilita la transmisión de las bondades de la madera a los prescriptores en particular y al consumidor final en general.

4. La herramienta online desarrollada a través de un buscador y selector inteligente mejora la visualización y la comunicación de los resultados obtenidos en el proyecto, facilitando por tanto el acceso a la información por parte de todos los agentes interesados en la utilización de la madera como material de construcción.

En el proyecto Madera Construcción Sostenible han participado como miembros: PEFC España (representante), Universidad de Córdoba (coordinador), Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria INIA, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja CSIC, Cupa Innovación, BJD Services, BALIDEA Consulting & Programming y AENOR Internacional S.A.U. Participan como colaboradores: MADERIA Sociedad Española de la Madera, Confederación de Organizaciones de Selvicultores de España COSE y MADERAS ABAD. Proyecto cofinanciado por la Unión Europea; Inversión total: 495066,72€. Cofinanciación UE 80%.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] AITIM. "Vivir con madera: Manual de productos". 2010.
- [2] Clark, D., et al. (2012), "Innovative wood-based products, 2011-2012", in Forest Products Annual Market Review 2011-2012, UN ECE, Geneva 10 (<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/13.pdf>)
- [3] CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. Ministerio de Fomento, España (<http://www.codigotecnico.org>)
- [4] Conde García, M., Castro-Nuño Cordero, D.F., Abad Garrido, B., Conde García, M., Fernández-Golfín Seco, J.I., Tenorio Ríos, J.A. (2017), Base de datos de valores ambientales de referencia en los productos de madera para la evaluación de la sostenibilidad en la construcción., Actas del 7º Congreso Forestal. Plasencia
- [5] UNE-ENV 1995-1-1:1997. EUROCÓDIGO 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.
- [6] UNE-ENV 1995-1-2. EUROCÓDIGO 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de Estructuras sometidas al fuego.
- [7] UNE-EN 312:2010. Tableros de partículas. Especificaciones.
- [8] UNE-EN 300:2007. Tableros de virutas orientadas (OSB). Definiciones, clasificación y especificaciones.
- [9] UNE-EN 636:2012+A1:2015. Tableros contrachapados. Especificaciones.
- [10] UNE-EN 14279:2007+A1:2009. Madera microlaminada (LVL). Definiciones, clasificación y

especificaciones.

- [11] UNE-EN 12775:2001. Tableros de madera maciza. Clasificación y terminología.
- [12] UNE-EN 14081-1:2016. Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales.
- [13] UNE-EN 15497:2014. Madera maciza estructural con empalmes por unión dentada. Requisitos de prestación y requisitos mínimos de fabricación.
- [14] UNE-EN 14080:2013. Estructuras de madera. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos.
- [15] UNE-EN ISO 14040:2006. Gestión ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.
- [16] UNE-EN ISO 14044:2006/A1:2018. Gestión ambiental. Evaluación del ciclo de vida. Requisitos y directrices. Modificación 1.
- [17] UNE-EN ISO 14025:2010. Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos.
- [18] UNE-EN 15804:2012+A2:2020. Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.
- [19] UNE-EN 16485:2014. Madera aserrada y madera en rollo. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categorías de productos de madera y derivados de la madera para su utilización en construcción.
- [20] UNE-EN 16449:2014. Madera y productos derivados de la madera. Cálculo del contenido en carbono biogénico de la madera y conversión en dióxido de carbono.