

FASE 4.
BENCHMARKING HERRAMIENTAS DE PROMOCIÓN DE LA MADERA

11 de septiembre de 2020



Índice

1	INTRODUCCION.....	1
1.1	Contexto	1
1.2	Objeto de estudio	2
1.3	Objetivos	2
2	ANTECEDENTES.....	4
2.1	El reto de cuantificar de las ventajas de la madera	6
2.2	El carbono en los productos de madera	6
2.3	Productos de la madera	7
3	HERRAMIENTAS DE VALORACIÓN AMBIENTAL.....	10
3.1	La madera como producto del bosque. Gestión forestal sostenible	10
3.2	Análisis de Ciclo de Vida	16
3.2.1	Objeto y alcance de estudio	16
3.2.2	Inventario de ciclo de vida	17
3.2.3	Análisis de impacto	17
3.2.4	Interpretación de resultados	18
3.2.5	Herramientas de cálculo	18
3.3	Etiquetas Ecológicas	19
3.3.1	Etiquetas tipo I: Ecoetiquetas	20
3.3.2	Etiquetas tipo III: Declaraciones ambientales de producto .	23
3.3.3	Declaraciones ambientales de edificio	27
3.4	Comparación de bases de datos de emisiones de gases de efecto invernadero	28
3.5	Mecanismos de certificación ambiental de edificios	29
3.5.1	LEED	31
3.5.2	BREEAM	32
3.5.3	WELL Building Standard	33
3.5.4	Otras herramientas	33
4	Proyectos de investigación en torno a la madera.....	34
5	CONCLUSIONES.....	37
6	BIBLIOGRAFÍA.....	39

1 INTRODUCCION

El presente documento recoge el resultado de la fase 4 del proyecto "Generación de un nuevo modelo de construcción sostenible con madera en Navarra: diagnóstico de situación y herramientas de promoción de la madera en construcción" desarrollado por la Asociación de Empresarios de la Madera de Navarra (ADEMAN) junto con la Cátedra de Madera de la Universidad de Navarra para el desarrollo de una herramienta de promoción de la madera en la construcción.

Esta fase 4 ha consistido en analizar las diferentes herramientas diseñadas para cálculo de huella de carbono, de ciclo de vida de productos de madera para construcción, todo aquello que ponga en valor a la madera frente a otros materiales (hormigón, acero), comparadores de precio, de sostenibilidad, Declaraciones Ambientales de Producto para empresas etc., que pueda utilizarse en licitaciones y proyectos de obra. Esta herramienta debe ser un argumentario de venta para las empresas del sector que argumente que la madera es más sostenible que otros materiales.

Después de revisar el contexto, el potencial de la madera como alternativa sostenible, y los productos que se encuentran en el mercado, se procede a una revisión de los métodos que existen para valorar ambientalmente el uso de la madera en la construcción, sobre todo apoyada en el análisis de ciclo de vida de dichos productos.

Si bien alguna de la información presentada hace referencia a la situación en España y en especial en Navarra, el documento está pensado para entenderse desde una perspectiva global.

1.1 Contexto

Se estima que en 2050, dos tercios de la población mundial vivirá en ciudades [1]. La densificación de las ciudades juega ya un papel fundamental en la satisfacción de la demanda de espacios habitables y de trabajo. El desarrollo de la ciudad compacta, a pesar de sus ventajas en términos de eficiencia frente al modelo extensivo, demanda una gran cantidad de energía. De acuerdo a la Agencia Internacional de la Energía (IEA, por sus siglas en inglés), el sector de la edificación es responsable de la mitad de la demanda eléctrica global [2]. Hablando de impacto ambiental, según un informe de la Alianza Global para Edificios y Construcción (GABC, por sus siglas en inglés), en 2017, la

construcción y operación de edificios representó el 36% de uso de energía final y un 39% de las emisiones de CO₂ asociadas a energía [3].

Los impactos ambientales asociados a los materiales de construcción toman cada día mayor relevancia. Tradicionalmente, los edificios en altura se han construido en hormigón armado o en acero. Sin embargo, el proceso productivo de ambos materiales requiere de grandes cantidades de energía, que en gran medida se generan en base a combustibles fósiles, generando impactos ambientales negativos. Como alternativa, sobre todo después de dos décadas de rápido desarrollo, está la madera tecnificada.

A pesar que la madera ha sido utilizada en la construcción a lo largo de la historia, no ha sido sino hasta años recientes cuando se ha podido proponer sistemas industrializados equiparables a aquellos en hormigón o acero, y a la altura de la demanda actual en términos de resistencia mecánica, durabilidad, y versatilidad. De entrada, sabiendo que la madera es un recurso renovable, ésta supone un material de gran interés de cara a los retos actuales en términos de comportamiento medioambiental.

1.2 Objeto de estudio

En las últimas dos o tres décadas han sido incorporados al mercado diversos productos de madera tecnificada y, a la par de este desarrollo, han surgido herramientas para poner en valor y poder cuantificar sus ventajas. El presente documento de benchmarking es una revisión no exhaustiva de las herramientas de valoración ambiental disponibles para productos y edificios en madera. Dentro de éstas se encuentran los mecanismos de certificación forestal y cadena de custodia, las herramientas de análisis de ciclo de vida, las bases de datos de emisiones, las etiquetas ecológicas, y los mecanismos de certificación de edificios. Además, se ha hecho una breve revisión de proyectos de investigación recientes relacionados con la madera, sobre todo a nivel europeo.

1.3 Objetivos

En línea con los objetivos generales del proyecto, los del presente documento son:

- Presentar el contexto global actual sobre el cual se trabaja para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente relacionadas con la construcción.
- Analizar las herramientas de certificación forestal, comparando sus mecanismos de acción y los criterios evaluados, así como su presencia en España.
- Presentar el concepto de análisis de ciclo de vida, junto con las herramientas que se apoyan en el mismo para valorar un producto.
- Comparar los resultados de varias herramientas, para evaluar la congruencia en los resultados.
- Revisar la forma en que los mecanismos de certificación de edificios valoran el uso de la madera de cara a una evaluación ambiental.
- Conocer los objetivos y estado de desarrollo de los proyectos europeos actuales que giren en torno a la promoción de la madera en la edificación.

2 ANTECEDENTES

Es preciso distinguir entre dos grandes indicadores de impacto ambiental asociados a los edificios: por una parte, el consumo de energía durante el uso del edificio, sobre todo para suplir demandas de climatización, ventilación, agua caliente sanitaria, iluminación y otros, y, por otra parte, el consumo de energía necesario para la construcción (inicial) y desmontaje del edificio (final). Dentro de esto último están incluidos los procesos de extracción de materias primas, fabricación de los materiales, transporte a obra, montaje y construcción, mantenimiento, y deconstrucción.

En las últimas décadas se han hecho esfuerzos por disminuir el consumo energético de los edificios. De acuerdo al Panel Intergubernamental del Cambio Climático, IPCC, en su informe de 2016, la electrificación, la eficiencia energética, y el incremento en el porcentaje de renovables están descarbonizando la oferta energética [4]. La llegada de los edificios de consumo casi nulo (nZEB) ha disminuido la demanda de combustibles fósiles relacionados con la energía operativa de los edificios (energía proporcional). Esto ha hecho que la energía asociada a los materiales de construcción (energía embebida) gane relevancia, al aumentar su porcentaje de impacto energético total del edificio.

De igual manera, al hablar de otras categorías de impacto, podemos distinguir entre el impacto asociado a la fase de uso u operacional del edificio, y al impacto asociado a la fabricación, mantenimiento y final de vida de los materiales con que está construido. Una de las categorías de impacto más significativas es la que define el potencial de calentamiento global generado por los gases de efecto invernadero vertidos a la atmósfera asociados a un producto o proceso expresado en Kg CO₂ eq.

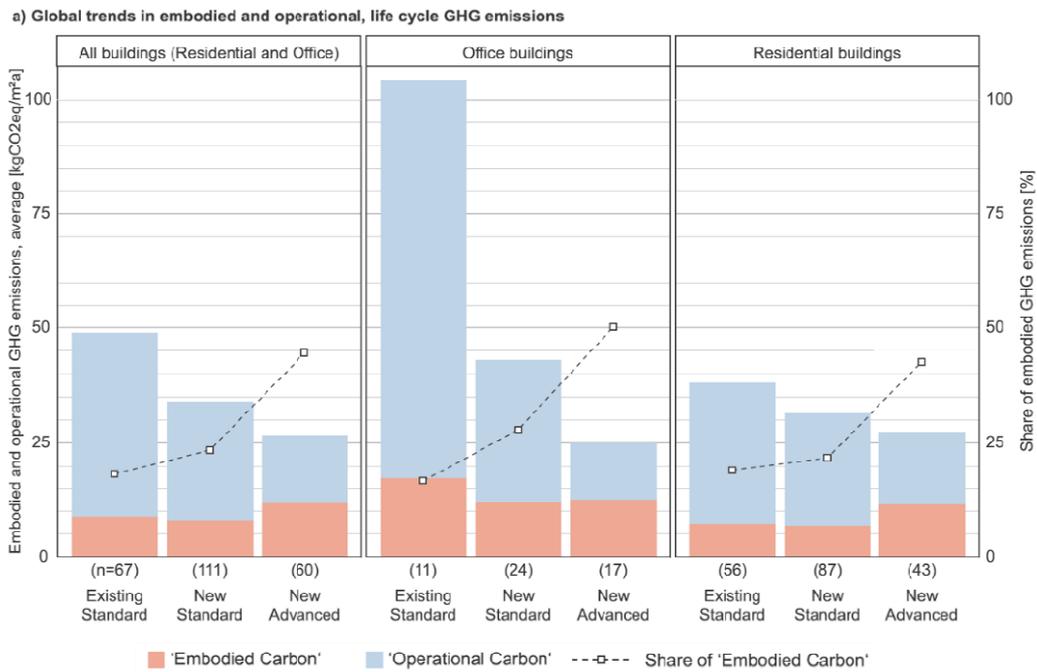


Figura 1. Tendencia global de carbono embebido y operacional. Fuente: *Material quantities and embodied carbon dioxide in structures*, De Wolf 2015 [5]

Un estudio [6] de finales de 2019, en el que se analizan sistemáticamente 650 análisis de ciclo de vida de edificios, pone de manifiesto la importancia de los impactos asociados a los materiales. En el tercio izquierdo de la figura 1, presentada en dicho estudio, se muestra la relación entre carbono embebido y operacional para tres tipos de edificios: estándar existente, nuevo estándar y nuevo estándar avanzado. Estas tres categorías pueden leerse como una progresión en la eficiencia energética de los edificios. De esta forma, es claro que, a lo largo de los últimos años, la relación entre carbono embebido y operacional (en el gráfico, *share of embodied carbon*) tiende a acercarse a 1:1. De hecho, al menos para los edificios estudiados en dicho artículo, esa reducción en el carbono operacional viene a costa de un incremento en el carbono embebido, logrando un resultado global menor a edificios anteriores.

Por esta razón, existe mucho interés en abordar el impacto asociado a los materiales de construcción, desde la extracción de materias primas hasta la construcción de la obra. También son importantes los impactos generados por el mantenimiento al edificio y por la disposición/demolición del mismo al final de su vida útil, aunque en estos dos aspectos existe aún mucha incertidumbre y lo asumido en un estudio puede distar de forma importante de la realidad. La IEA, mediante su anexo 72, aborda actualmente el impacto ambiental de los

edificios relacionado con su ciclo de vida [7]. Dicho anexo es un proyecto en curso (2016 - 2021) que, entre otras cosas, pretende armonizar los lineamientos para análisis de ciclo de vida de edificios y establecer puntos de referencia medioambientales para edificios.

2.1 El reto de cuantificar de las ventajas de la madera

Si las herramientas para cuantificar impactos ambientales de edificios en general requieren todavía de mucho desarrollo, aún más requieren las específicas para productos de madera. Esto se debe, principalmente, a tres razones. La primera, es que la industria de la madera tecnificada está aún en pleno desarrollo, a diferencia de materiales constructivos tradicionales que tras muchos años de estar en el mercado no han pasado por avances tecnológicos drásticos. La segunda razón se refiere a la capacidad de la madera de fijar, o secuestrar, carbono, y a la forma en que los mecanismos de valoración abordan este tema. Los árboles, mientras crecen, sirven como depósitos de carbono, y al fabricar productos duraderos en madera, este carbono se considera secuestrado (fijado) en los materiales, retirándolo efectivamente de la atmósfera. La tercera razón, es que los productos de madera no sustituyen completamente a otros productos de la construcción, sino que siempre necesitan ser complementados por ellos, y actualmente estos sistemas compuestos no están enmarcados dentro de un estándar que permita compararlos entre sí.

El almacenamiento de carbono solo se puede tener en cuenta para madera con sello de gestión forestal sostenible. La cantidad devuelta depende del fin de vida de la madera como por ejemplo la incineración, el vertedero, el reciclaje o la reutilización. Por tanto, solo se debe contabilizar si junto con el proceso de fabricación se estudia el proceso fin de vida.

2.2 El carbono en los productos de madera

Para la madera y los productos forestales en general, existen algunas particularidades a considerar en el cálculo de impactos ambientales. En primer lugar, los árboles fijan dióxido de carbono durante su crecimiento, y se habla de carbono secuestrado por la madera. Luego, en cuanto a la fuente de energía para la transformación de la madera, buena parte de ésta proviene de la misma biomasa (carbono biogénico), ya sea de subproductos del proceso de aprovisionamiento de materia prima (ramas

y demás), o de subproductos del proceso de transformación (corteza, aserrín y otros). Por último, al final de su vida útil, los productos de madera pueden seguir varias rutas, y dependiendo de la que sigan, el carbono secuestrado puede o no regresar a la atmósfera.

El hecho de usar los propios de residuos de madera para transformarla, junto con la capacidad de la madera de almacenar carbono, son los dos factores determinantes que hacen que las emisiones netas asociadas a productos de la madera sean inferiores a las de materiales alternativos [15].

2.3 Productos de la madera

Si bien la madera se ha utilizado en construcción desde hace muchos siglos, el desarrollo de madera tecnificada comenzó hace unas pocas décadas, y hoy más que nunca se encuentra en plena evolución. Esta tecnificación responde a varios factores. Uno de ellos es la necesidad de homogeneizar la madera, para conseguir productos mucho más estables. Otro factor es la demanda de piezas más grandes que las disponibles naturalmente. Mediante la unión de varias piezas pequeñas se pueden fabricar elementos estructurales grandes sólo limitados por las condiciones de transporte a obra. Otro factor es la demanda de tableros, que pueden ser fabricados a partir de madera virgen o de subproductos del aserrado.



Figura 2. Productos de la madera según su proceso de transformación. Adaptación propia en base a *The wood from the trees: The use of timber in construction*, Ramage [8].

Debido a que un mismo producto puede utilizarse en varios sistemas constructivos, resulta complicado clasificarlos por su función en el edificio. Un artículo de la Universidad de Cambridge [8] propone una clasificación en base al proceso de transformación, el cual se ilustra en la Figura 2.

En general (Figura 2), la madera puede ser *aserrada*, mediante el corte en piezas pequeñas de madera maciza, *desenrollada*, mediante cortes tangenciales para obtener láminas muy finas que luego son superpuestas y encoladas para fabricar tableros, o *viruteada*, para obtener virutas

pequeñas que también son unidas entre sí mediante adhesivos, para formar tableros o piezas reconstituidas.

3 HERRAMIENTAS DE VALORACIÓN AMBIENTAL

La cadena de abastecimiento de productos forestales es una compleja red de cosechadores, procesadores y distribuidores [8]. Sin embargo, fuera de esta cadena existen muchos otros actores involucrados. Por una parte, ya que la madera un producto forestal, y siendo el patrimonio forestal de dominio público, la política pública debe velar por su salvaguarda y conservación. Además, como proponentes de la utilización de la madera, los desarrolladores, arquitectos y demás profesionales de la construcción, son responsables de su uso en las obras. Por otro lado, y sobre todo siendo una industria en desarrollo, la academia tiene un rol importante desde la investigación sobre nuevas tecnologías y la evaluación de su desempeño ambiental.

A lo largo de esta cadena existen mecanismos para evaluar la gestión de los procesos. Comenzando por la gestión forestal, en el campo, existen esquemas de certificación para garantizar que un producto de madera proviene de bosques manejados responsablemente. Luego, en la etapa e fabricación de productos, existen métodos para valorar y comparar productos frente a otros similares, en términos de impactos ambientales. Además, como extensión a la gestión forestal, y aplicado a la etapa de transformación, existen certificados de cadena de custodia, que aseguran trazabilidad a esos productos provenientes de bosques certificados. Luego, en la etapa de edificación, existen, por una parte, mecanismos de evaluación y certificación ambiental que dentro de sus esquemas incluyen apartados dedicados a los materiales, y por otra parte existen las herramientas de análisis de ciclo de vida (aplicables tanto a productos individuales como a edificaciones completas).

Bajo este apartado se presentan estos mecanismos de valoración, y el análisis de algunos de ellos se presenta en profundidad en el apartado de metodología.

3.1 La madera como producto del bosque. Gestión forestal sostenible

Desde hace algunas décadas, junto con el repunte de la industrialización de la madera, creció la preocupación sobre el manejo de los bosques como fuente de materia prima. Con este fin de incentivar el manejo responsable de los bosques, han surgido algunos mecanismos de certificación de explotación sostenible. A nivel internacional, los más conocidos son FSC y PEFC. Éstos son organismos que realizan auditorías independientes y que certifican:

- Que la madera proviene de bosques manejados responsablemente, certificados a niveles aceptados local e internacionalmente.
- Que la madera proviene de fuentes legales
- Que la madera cuenta con una certificación de cadena de custodia desde el bosque hasta el usuario final, y que existe trazabilidad a lo largo de la cadena de suministro.



Consejo de Administración Forestal
Forest Stewardship Council

El Consejo de Administración Forestal (FCS) es un organismo no gubernamental, independiente, establecido para promover la gestión responsable de los bosques del planeta. Fomenta el manejo ambientalmente apropiado, socialmente benéfico y económicamente viable de los bosques. Fue fundada en Toronto en 1993.

Criterios:

1. Cumplimiento de las leyes - cumplir todas las leyes, reglamentos, tratados, convenciones y acuerdos.
2. Derechos de los trabajadores y condiciones de empleo - mantener o mejorar el bienestar social y económico de los trabajadores.
3. Derechos de los pueblos indígenas - identificar y respaldar los derechos de los pueblos indígenas de propiedad y uso de la tierra y sus recursos.
4. Relaciones con las comunidades - mantener o mejorar el bienestar social y económico de las comunidades locales.
5. Beneficios del bosque - mantener o mejorar los beneficios económicos, sociales y ambientales a largo plazo provenientes del bosque.
6. Valores e impactos ambientales - mantener o restaurar el ecosistema, su biodiversidad, recursos y paisajes.
7. Planificación de la gestión - contar con un plan de gestión implementado, monitorizado y documentado.
8. Monitorización y evaluación - demostrar el progreso hacia el cumplimiento de los objetivos de la gestión.
9. Altos valores de conservación - mantener o mejorar los atributos que definen ese tipo de bosques.
10. Plantaciones - planificar y gestionar



Programa de Reconocimiento de Certificación Ambiental

Programme for the Endorsement of Forest Certification

El Programa para el Reconocimiento de Certificación Forestal (PEFC), con sede en Suiza, es también una organización no gubernamental que fomenta y divulga la certificación ambiental como una herramienta que garantiza y promueve la gestión forestal sostenible.

Criterios:

1. El mantenimiento o mejora de la biodiversidad
2. La protección de áreas forestales de gran importancia ecológica
La prohibición de la conversión forestal y la exclusión de la certificación a plantaciones establecidas a causa de dichas conversiones
3. La prohibición del uso de productos químicos dañinos y de Organismos Modificados Genéticamente, y la minimización del uso de pesticidas
4. La protección de los derechos de los trabajadores y su bienestar, y la promoción del empleo local
5. Salvaguarda de los derechos básicos de los trabajadores

[10]

Tabla 1. Criterios evaluados por FSC y PEFC

El FSC no emite certificados. FSC está representada en cada país por una oficina nacional. En el caso de España, ésta es la Asociación para Promover el Uso Racional de los Productos y Servicios del Monte (FSC España). FSC España es la encargada de establecer los estándares de manejo forestal y cadena de custodia y de definir los procedimientos a seguir por parte de las entidades de certificación. Además, la acreditación de los entes de certificación es llevada a cabo por un tercero, ASI (Accreditation Services International), quien verifica que los certificadores cumplan con los mecanismos establecidos por FSC. Los entes certificadores en España pueden ser consultados en el sitio web de FSC España [11].

Al hablar de productos con sello FSC, existen tres tipos de etiquetas que describen el contenido del producto y su utilización:

- 100%
- Mixto - con al menos 70% de material certificado y madera controlada
- Reciclado



Figura 3. Tipos de sellos FSC según el contenido de madera

Por su parte, PEFC no certifica ni acredita entidades de certificación. PEFC trabaja con instituciones locales de certificación, comúnmente entidades de gobierno, y su objetivo es endosar estas entidades, para que sus certificados tengan una validez internacional y pueda existir convalidación entre diferentes entidades. Esto lo hace a través de una evaluación (a cargo de un organismo independiente) de los sistemas locales de certificación, comparándolos con puntos de referencia establecidos por PEFC.

Cuenta con dos esquemas de certificación:

- Gestión Forestal Sostenible - a nivel de monte. Abarca el inventario forestal, la planificación de la ordenación, la silvicultura, el aprovechamiento, así como las repercusiones ecológicas, económicas y sociales de las actividades forestales.
- Cadena de Custodia - a nivel de industria forestal. Se certifican productos compuestos por materias primas procedentes de zonas forestales, incluyendo materiales reciclados originalmente procedentes de dichas zonas. Los productos pueden ser madereros o no-madereros. Esta certificación busca implementar un sistema de trazabilidad para garantizar que los productos provienen de materias primas certificadas.

En España, la Gestión Forestal Sostenible se rige por la norma UNE 162.002, elaborada por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). La cadena de Custodia se rige por la Norma Internacional PEFC para Cadena de Custodia. Para ambos esquema existen varias entidades independientes de consulta, y el listado completo se encuentra en www.pefc.es. Navarra es la comunidad autónoma con mayor porcentaje de bosques certificados respecto al total de área cubierta con bosque.

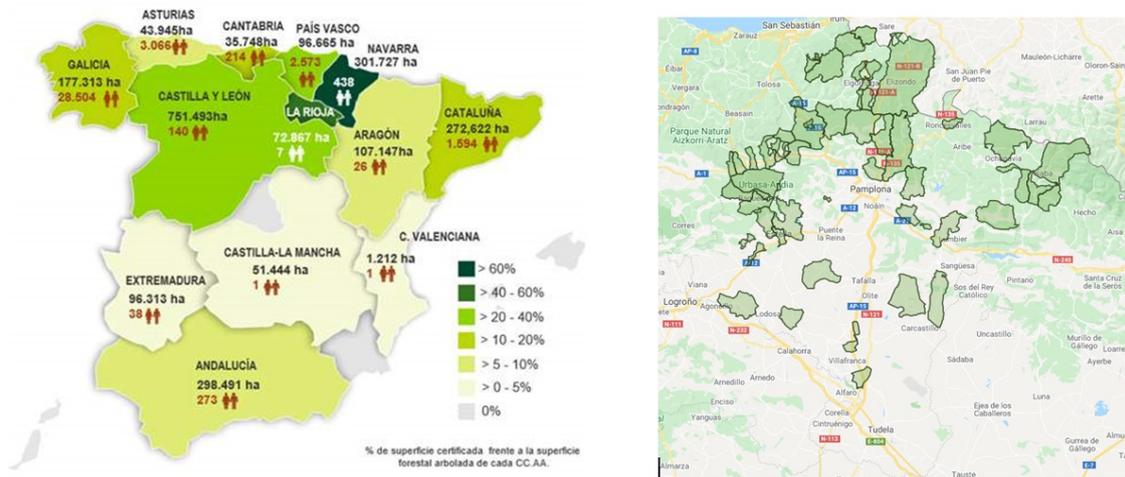


Figura 4. (izq) Superficie certificada con respecto a superficie arbolada y (der) superficie con con cobertura de bosque en Navarra. Fuente: Informe de Evolución de Certificación Forestal PEFC (marzo 2020) [12] y herramienta Madera Navarra (ADEMAN) [13].

A nivel global, PEFC es la red que cuenta con mayor número de áreas de bosque certificadas. En Europa, y aún más en España, existe una clara

preferencia por PEFC. Actualmente, Navarra no cuenta con áreas certificadas FSC. El área total de bosques certificados en España sigue creciendo de forma sostenida (Figura 6).

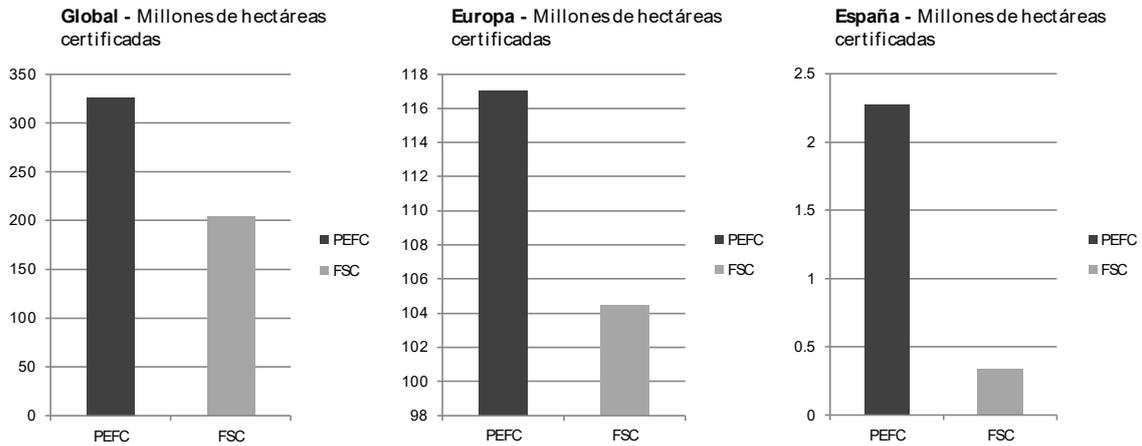


Figura 5. Panorama de áreas certificadas mediante PEFC y FSC. Tabulación propia a partir de reportes de PEFC [12] y FSC [14].

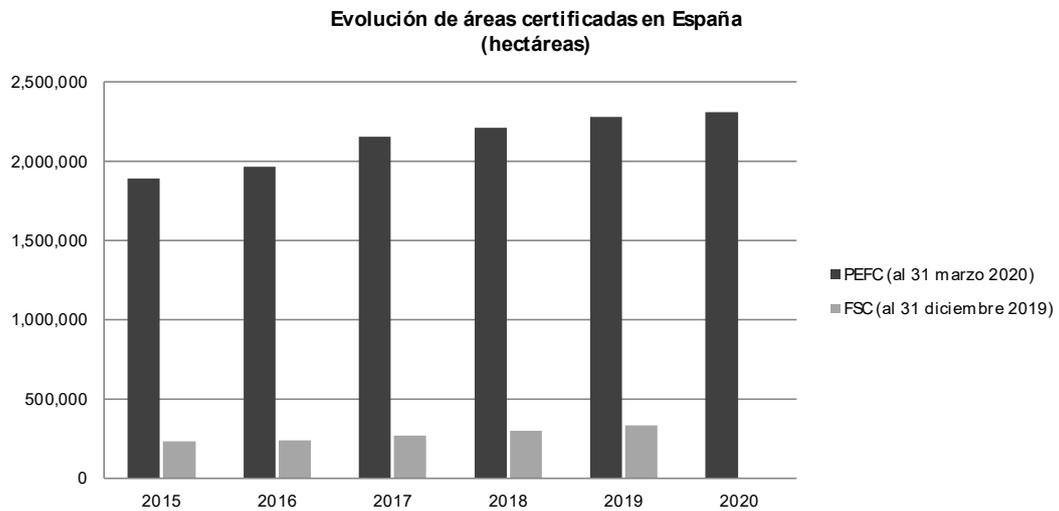


Figura 6. Evolución de áreas certificadas en España. Tabulación propia a partir de informes de PEFC [12] y FSC [14]. No hay datos de FSC para 2020.

Los bosques, en su etapa de madurez, absorben carbono mediante la fotosíntesis, y luego éste regresa a la atmósfera mediante respiración y descomposición del follaje. Una pequeña parte se secuestra de forma natural en forma de troncos caídos. Sin embargo, mediante un bosque manejado y cosechado de forma sostenible, se logra fijar en productos de

madera una mayor cantidad de carbono que mediante el ciclo natural. Pero es importante garantizar que se siembran más árboles tras la tala, y esto se logra mediante la gestión forestal sostenible. He aquí la importancia de construir con madera certificada.

3.2 Análisis de Ciclo de Vida

Las ventajas medioambientales que presenta la madera parecen evidentes, sin embargo, es necesario cuantificar estas ventajas mediante mecanismos fiables.

Si bien la madera ha sido utilizada como material constructivo desde hace muchos siglos, al hablar de madera tecnificada, ésta ha experimentado un desarrollo vertiginoso en las últimas décadas.

Este desarrollo ha coincidido con el del concepto de análisis de ciclo de vida, y a diferencia del estado del arte de otros campos como los sistemas constructivos tradicionales, el de los productos de madera para la construcción y el de la evaluación de sus impactos sobre el medioambiente están en constante evolución.

En general, el análisis de ciclo de vida (ACV) aplicado a edificios, es una herramienta para cuantificar el impacto que tienen los mismos sobre el medio ambiente, a lo largo de toda su vida. Una parte de este impacto se debe a los materiales, desde su extracción como materia prima hasta su fin de vida útil. La norma ISO 14040 establece parámetros para análisis de ciclo de vida de productos [16].

La norma ISO propone una metodología compuesta de cuatro partes, que se describen en los cuatro apartados siguientes. Luego, se presentan las herramientas que existen actualmente para llevar a cabo un ACV.

3.2.1 Objeto y alcance de estudio

El objeto de estudio hace referencia a la finalidad que se busca. Este puede ser un estudio comparativo de dos edificios equivalentes o el estudio del impacto de un producto en relación a un punto de referencia.

En primer lugar, es preciso definir en esta etapa, la unidad funcional. Ésta corresponde al fragmento del sistema que se estudiará. Es importante, como su nombre lo indica, y particularmente cuando se trata de análisis comparativos, establecerla en relación a su función. Por ejemplo, en el caso de un producto, una unidad funcional puede ser un metro cúbico del mismo pero en un edificio, ésta podría ser un metro

cuadrado de espacio útil para un uso determinado (vivienda, oficina, etc).

La definición del alcance incluye, por una parte, la definición de las etapas a evaluar (fabricación, construcción, uso y fin de vida), así como el nivel de detalle al que se trabajará. En algunos casos, por ejemplo, se decide evaluar solamente la estructura de un edificio y no todos sus componentes.

3.2.2 Inventario de ciclo de vida

En el inventario deben incluirse, por una parte, todas las entradas, o inputs, del sistema, dentro de los cuales están los recursos que se utilizan (energía, agua, y otros), y todas las salidas, u outputs, cuantificados en emisiones al aire, al agua, o en residuos generados. Sobre todo en el ACV de un producto, esto requiere un minucioso estudio del proceso productivo, para lo cual existen algunas herramientas que ayudan a cuantificar estas entradas (GHG Protocol [17]). En el caso de un edificio, el proceso se simplifica apoyándose en las cuantías de materiales y en las Declaraciones Ambientales de Productos (DAP) o en bases de datos de emisiones.

3.2.3 Análisis de impacto

A partir del inventario de ciclo de vida se procede a una evaluación del impacto ambiental. Esto se hace a través de un modelo de caracterización. Existen diversos modelos (ReCiPe, TRACI, Impact 2002+ y otros), y éstos se basan en factores de caracterización que indican el impacto ambiental asociado a una sustancia contenida en un producto. Algunas herramientas de ACV (SimaPro, GaBi) permiten elegir el modelo de caracterización, pero otras tienen uno preestablecido (Athena). Cada modelo de caracterización tiene una cuenta una o varias categorías de impacto ambiental: energía, GWG, eutrofización, etc (ver tabla 2).

Categoría de impacto	Indicador	Unidad (Expresada por unidad funcional o por unidad declarada)
Calentamiento global	Potencial de calentamiento global, GWB (Global Warming potential)	kg CO ₂ eq
Agotamiento de la capa de ozono	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférica, ODP (Depletion potential of the stratospheric ozone layer)	kg CFC 11 eq
Acidificación del suelo y el agua	Potencial de acidificación del suelo y de los recursos de agua, AP (Acidification potential of land and water)	kg SO ₂ eq
Eutrofización	Potencial de eutrofización, EP (Eutrophication potential)	kg (PO ₄) ³⁻ eq
Formación de ozono fotoquímico	Potencial de formación de ozono troposférico, POCP (Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants)	kg etano eq
Agotamiento de recursos abióticos-elementos	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles (ADP-elementos: Abiotic Resource Depletion Potential for elements) ^a	kg Sb eq
Agotamiento de recursos abióticos-combustibles fósiles	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles (ADP-combustibles fósiles: Abiotic Resource Depletion Potential of fossil fuels) ^a	MJ, valor calorífico neto
<p>El potencial de agotamiento abiótico se calcula y se declara en dos indicadores diferentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ADP-elementos: incluye todos los recursos materiales abióticos no renovables (es decir, sin incluir los recursos fósiles) • ADP-combustibles fósiles: incluyen todos los elementos fósiles 		

Tabla 2. Categorías e indicadores según la norma UNE-EN 15978 Sostenibilidad ... (elaboración propia)

3.2.4 Interpretación de resultados

En esta etapa se asocian los resultados del análisis al objeto del análisis y al alcance, para llegar a conclusiones. En primer lugar, se verifica que todos los datos estén completos, y luego se hace un análisis de sensibilidad, que puede incluir nuevos análisis de impactos tomando en cuenta variaciones porcentuales en el inventario. Otros pasos pueden incluir cálculos de incertidumbre, análisis de consistencia y análisis de representatividad.

3.2.5 Herramientas de cálculo

Existen diversas herramientas de cálculo de impactos ambientales generados por los edificios. Entre éstas están las declaraciones ambientales de productos, bases de datos sobre emisiones de CO₂, los programas de simulación, pero no existe una línea clara entre cada tipo de herramienta, ya que algunas se apoyan en otras para realizar los cálculos, y otras son recopilaciones de información adaptada a una región geográfica.

El acceso a datos de producción y construcción, la falta de estandarización en los procesos de evaluación, y la inconsistencia en la

presentación de los resultados son tres aspectos de la evaluación de carbono embebido donde hace falta trabajo [18]. Esto es evidente al tratar de comparar resultados de diferentes bases de datos. Existen diferencias entre los límites del sistema, la inclusión o no del carbono secuestrado, las categorías de productos, las unidades en que se presentan, y otros más. Mientras no exista un desarrollo importante en las bases de datos y los métodos de evaluación, los resultados de las herramientas de ACV no deberían emplearse en la toma de decisiones, excepto los resultados de Cambio Climático [19]. En dicho estudio, compara ACV de dos edificios residenciales (uno de ellos en madera), realizados con dos de las herramientas más conocida y versátiles de ACV, Simapro y GaBi, y concluye que a excepción del parámetro de calentamiento global (cambio climático), existen grandes inconsistencias entre los resultados de ambas herramientas. Esas inconsistencias se deben tanto a los datos utilizados como a los métodos cuantificación de los impactos.

Otra herramienta disponible es Athena Impact Estimator, la cual está disponible de forma abierta y está diseñada para edificio completo, pudiendo ingresar cuantías de materiales directamente. Entre sus limitaciones están el no poder elegir otro modelo de caracterización que no sea TRACI. Para estudios comparativos, o para certificación de edificios, es una herramienta muy útil y de fácil acceso.

3.3 Etiquetas Ecológicas

Una etiqueta ecológica es un instrumento de comunicación de información ambiental de un producto. Su finalidad es la de promover la demanda de productos y servicios con menos cargas ambientales. El etiquetado ambiental se rige mediante la norma ISO 14020 [20]. Dicha norma propone tres tipos de etiquetas:

- Tipo I - ecoetiquetas
- Tipo II - autodeclaraciones ambientales
- Tipo III - declaraciones ambientales de productos

Las etiquetas tipo II no son verificadas por un ente externo y, por lo tanto su veracidad no puede ser contrastada. Por ello, el presente documento se centra en los tipos I y III.

3.3.1 Etiquetas tipo I: Ecoetiquetas

Una ecoetiqueta es un mecanismo voluntario mediante el cual un producto se somete a una revisión en base a criterios medioambientales, con la cual se verifica que cumple con las exigencias establecidas, y dicho producto puede ser considerado preferible frente a otro producto similar.

Si bien existen muchos entes certificadores, que otorgan ecoetiquetas para una amplia gama de productos (sean para construcción o no), son pocos los que cuentan con productos de madera certificados. En su mayoría se trata de productos muy industrializados, como recubrimientos de suelos, aislantes de fibra de madera, mobiliario, perfiles tecnificados para revestimiento de fachadas, y otros más.

Logotipo	Programa	Origen	Sistemas / Productos con ecoetiqueta
	Etiqueta Ecológica Europea	Europa	Recubrimientos para suelos, mobiliario, limpiadores para superficies de madera, protectores contra fuego para suelos de madera, pinturas/acabados, lubricantes para equipo para <u>proceso de madera</u>
	Ángel Azul	Alemania	Puertas, recubrimientos para suelos y laminados, parquet, paredes interiores móviles, perfiles para recubrimiento de paredes y falsos techos, aislamientos de cáñamo, aislamientos de fibra de <u>madera, SATEs con fibra de madera, pellets de</u>
	Nordic Swan	Dinamarca, Finlandia, Noruega,	Paneles para construcción y fachadas, madera para uso exterior, recubrimientos para suelos, mobiliario, mobiliario para exterior, ventanas, pequeñas casas, edificios de apartamentos o <u>escuelas</u>
	ecoMark	Japón	Paneles de madera (partículas, aislantes, MDF), productos con madera reutilizada (madera recuperada de desecho), mobiliario, materiales compuestos por madera reciclada (<u>wood/plastic recvcled composites</u>), baldosas/pavimentos de
	Global Ecolabelling Network (GEN)		GEN es una red internacional de organizaciones de ecoetiquetas. Fundada en 1994, colaborara en la protección del medioambiente mediante la promoción, el mejoramiento y el desarrollo del <u>ecoetiquetado de productos verdes y de servicios</u>

Tabla 3. Programas de etiquetado ecológico y tipos de productos de madera incluidos en cada uno.

En general, los requerimientos para productos de madera giran en torno al control del origen de la misma, al control de las sustancias utilizadas para su transformación, a los compuestos orgánicos volátiles, y a los escenarios de mantenimiento, reparación y fin de vida. La Tabla 4 contiene, como ejemplo, los criterios que se evalúan para certificar

un recubrimiento de suelo a base de madera. La comparación se propone entre la Etiqueta Ecológica Europea (Europa) y el Ángel Azul (Alemania).

Etiqueta Ecológica Europea		Ángel Azul	
Categoría de producto: Revestimientos a base de madera, corcho y bambú para suelos		Categoría de producto: Tableros, puertas para interiores y revestimientos de suelos con bajas emisiones, fabricados a partir de madera y materiales a base de madera	
Origen de la madera	Madera con certificados de gestión forestal sostenible y cadena de custodia, como FSC, PEFC o similar	Origen de la madera	Al menos 50% de la madera o materias primas para productos a base de madera deberán provenir de bosques manejados de forma sostenible
Emisiones de formaldehído	Límites a las emisiones de formaldehídos	Contenido de formaldehído	Límite al contenido de formaldehído, o uso de materias primas certificadas con la etiqueta Ángel Azul
Sustancias y mezclas peligrosas	Límites al contenido de sustancias extremadamente preocupantes (SEP) Contenido de sustancias con arreglo al Reglamento de Clasificación, Etiquetado y Envasado (CLP por sus siglas)	Requerimientos aplicables a sustancias de sistemas de recubrimiento	Control de sustancias contenidas en los recubrimientos (imprimantes, barnices, pinturas, y otros)
Sustancias específicas	Límites de contaminantes en la madera (arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, flúor, cloro, pentaclorofenol y aceites de alquitrán). Límites al contenido de metales pesados en las pinturas, imprimaciones y barnices. Límites al contenido de compuestos orgánicos volátiles presentes en el tratamiento de superficies y en los diferentes materiales utilizados para fabricar el producto. Límites al formaldehído libre de las resinas aminoplásticas líquidas. Límites al uso de plastificantes. Prohibición		
Emisiones de COVs	Límites a las emisiones de COVs del producto terminado	Emisiones de los recubrimientos	Límites a las emisiones de COVs de los recubrimientos

		Calidad de aire interior	Límites a las emisiones de COVs del producto terminado. La madera tratada con amonio estará <u>sujeta a ensayos</u>
Posibilidad de reparación y garantía ampliada	Diseño de producto considerando su reparación, y facilitación de documento de instrucciones para reparación. Garantía mínima de cinco	Reciclaje y disposición final	Prohibición de uso de compuestos orgánicos halogenados
Idoneidad para el uso	Cumplimiento de normas de resistencia, dureza, fuerza de sujeción, y otros.	Mantenimiento	Cumplimiento con reglamentos de mantenimiento.
Información a los consumidores	Publicación de información relativa al producto, en su envase o en otra documentación que lo acompañe (composición del producto, recomendaciones de instalación, tratamiento, uso, limpieza, mantenimiento)	Declaración e información para el consumidor	Inclusión del fabricante, desglose de materiales contenidos, origen de la madera, número de lote, categoría de desgaste (para laminados), dimensiones y metros cuadrados contenidos en cada paquete. Adjunto de instrucciones y recomendaciones, con información de instalación, limpieza, mantenimiento,
Descripción del producto	Descripción técnica y desglose de los materiales y proporciones utilizados en el producto		
Consumo de energía en el proceso de producción	Límite a la media anual de energía consumida. Para su cálculo se toma en cuenta el porcentaje de energía renovable, la electricidad adquirida al año, y el consumo anual de combustible. Regulación de las actividades incluidas y no incluidas en el cálculo. <u>de bajas emisiones.</u>	Prueba de olores	Opcional. Recomendado.
		Embalaje	El embalaje deberá permitir la desgasificación post-manufactura de elementos <u>volátiles.</u>
		Retardantes de fuego	Control de los retardantes que pueden utilizarse.
Información que debe figurar en la etiqueta ecológica de la UE	Logotipo y número de registro/licencia visible y legible. Contenido adicional opcional, como material gestionado de forma sostenible, consumo de energía reducido, producto de	Biocidas	Prohibición de uso de <u>biocidas</u>
		Mensajes publicitarios	Control de las frases que pueden utilizarse para promoción del producto.

Tabla 4. Comparación de criterios a evaluar para otorgar etiqueta ecológica a revestimientos de suelos de madera. Elaboración propia a partir de la hoja de criterios de Etiqueta Ecológica Europea [21] y Ángel Azul [22]. Los tonos grises a ambos lados del cuadro relacionan aspectos similares, y los tonos naranja y beige del final corresponden a criterios que no cuentan con uno similar en el otro esquema de certificación.

En general, al menos para recubrimientos de suelos de madera, los criterios a evaluar son similares, sin embargo, hay algunos aspectos relevantes que se consideran en uno mas no en el otro. Por ejemplo, sólo la etiqueta ecológica europea evalúa el consumo energético durante la etapa de producción. Por su parte, Ángel Azul evalúa las características del embalaje y su contenido de compuestos orgánicos volátiles.

3.3.2 Etiquetas tipo III: Declaraciones ambientales de producto

Una declaración ambiental de producto (DAP, o EPD por sus siglas en inglés, *environmental product declaration*) es un documento en el cual se describe el comportamiento ambiental de un producto. Una DAP aporta información cuantitativa obtenida mediante un análisis de ciclo de vida del material, y comprende un estudio detallado de los impactos generados por dicho producto en sus diferentes etapas. La norma ISO 14025 establece los lineamientos para la gestión de las declaraciones ambientales de productos [23].

Las declaraciones ambientales fomentan la mejora continua en el desempeño ambiental de los productos. Las Reglas de Categorías de Productos (RCP) dictan la forma en que ha de realizarse el análisis de ciclo de vida para cada categoría de producto, y de esta forma se establecen parámetros que permiten comparar el desempeño de dos productos diferentes que sirven al mismo propósito.

A nivel internacional existen diversos programas de declaración ambiental, que son procedimientos creados por un operador, con la finalidad de gestionar el desarrollo de declaraciones ambientales. Amparándose en la norma ISO 14025, cada programa establece los requisitos mínimos, los procedimientos, y los organismos independientes de verificación para desarrollar las DAP. Los operadores establecen reglas de categorías de productos y de esta forma crean una base de datos de DAP. Una lista muy completa ha sido elaborada por N. Minkov, L. Schneider, A. Lehmann, and M. Finkbeiner [24].

Para obtener una DAP, primero debe seleccionarse un programa y revisar las *reglas de categoría* de producto para el material de interés. Luego, en base a estas RCP, se elabora un borrador de DAP. Posteriormente, este borrador debe ser revisado por un ente independiente, y finalmente publicado.

Si bien la demanda y oferta de productos con DAP sigue creciendo constantemente, también han incrementado las inconsistencias, traslapes

y duplicación de las reglas de categorías de producto, poniendo en riesgo la legitimidad de la información ambiental presentada [24]. Debido a esto, las comparaciones de DAP de productos, especialmente si pertenecen a programas diferentes, debe hacerse con cautela. En todo caso es de suma importancia que al comparar la información ambiental de dos DAP ambas se refieran a la misma unidad funcional.

A diferencia de la ecoetiquetas, el mercado de los productos de la madera ha acogido el uso de las DAP de una forma muy bien estructurada. En la Tabla 5 se presentan algunos de los programas de declaración ambiental más completos, junto con los productos de la madera que se encuentran certificados.

Logotipo	Programa	Origen	Establecido	Sistemas / Productos certificados
	The International EPD System	Suecia	1998	CLT, tableros de partículas, perfiles para fachadas, estructuras de madera aserrada, MDF, OSB, madera laminada encolada, LVL, suelos elevados, viguetas, tableros contrachapados
	Norwegian EPD Foundation	Noruega	2002	Perfiles para fachadas, CLT, madera con empalmes dentados, madera contrachapada, madera laminada encolada, recubrimientos de suelos en madera maciza, viguetas
	Institut Bauen und Umwelt	Alemania	2004	Madera aserrada, parquet, perfiles para fachadas, suelos exteriores, viguetas, OSB, madera laminada encolada, suelos elevados, particiones de madera, OSB, MDF
	INIES	Francia	2006	Madera aserrada, madera reconstituida, madera laminada encolada, tableros contrachapados, tableros de partículas, OSB, lana de madera, CLT
	American Wood Council	EUA	2010	Madera suave aserrada, madera contrachapada, OSB, madera laminada encolada, LVL, viguetas, suelos exteriores, MDF, LSL, tableros de partículas, tableros de fibras de

Tabla 5. Programas de declaración ambiental más completos en cuanto a productos de madera. Elaboración propia a partir de consulta en cada una de sus páginas web.

Es importante tomar en cuenta que, para un mismo material, los valores reportados en las DAP pueden variar significativamente dependiendo del procedimiento utilizado por cada fabricante, de la categoría de producto y del programa al que se adhiere. A continuación, se presentan dos

comparaciones entre productos y programas de certificación, para un mismo producto. Se han elegido CLT y OSB por ser dos materiales comunes y con mucho potencial de crecimiento, y para los cuales varios fabricantes tienen DAP.

Fabricante	Programa	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	D
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	
EGO-CLT	EPD International	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	0	X
Artuso Legnami	EPD International	X	X	X														
KLH CLT	Institut Bauen und Umwelt	X	X	X	X	X	0	0				0	0	X	X	X	0	X
X-LAM S. h. e.V.	Institut Bauen und Umwelt	X	X	X		X									X	X		X
Binderholz CLT	Institut Bauen und Umwelt	X	X	X		X									X	X		X
Splitkon AS CLT	EPD Norge	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	X	X
Cross Timber	EPD Norge	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	X	X

Tabla 6. Etapas de producto incluidas en las declaraciones ambientales de varios fabricantes de CLT. Tabulación propia a partir de la consulta y revisión de las declaraciones ambientales de producto correspondientes. "X" es etapa incluida, "0" es etapa incluida pero con valor cero.

En primer lugar, se comparó CLT proveniente de distintos fabricantes. Todos presentan la información en base a 1m3 de CLT, pero no todos usan las mismas etapas de producto. En la Figura 7 se observa, por ejemplo, que Artuso Legnami, sólo presenta información para la etapa de producto, y dentro de ésta no considera carbono secuestrado en la madera, por lo que el resultado final no es congruente con el resto de fabricantes.

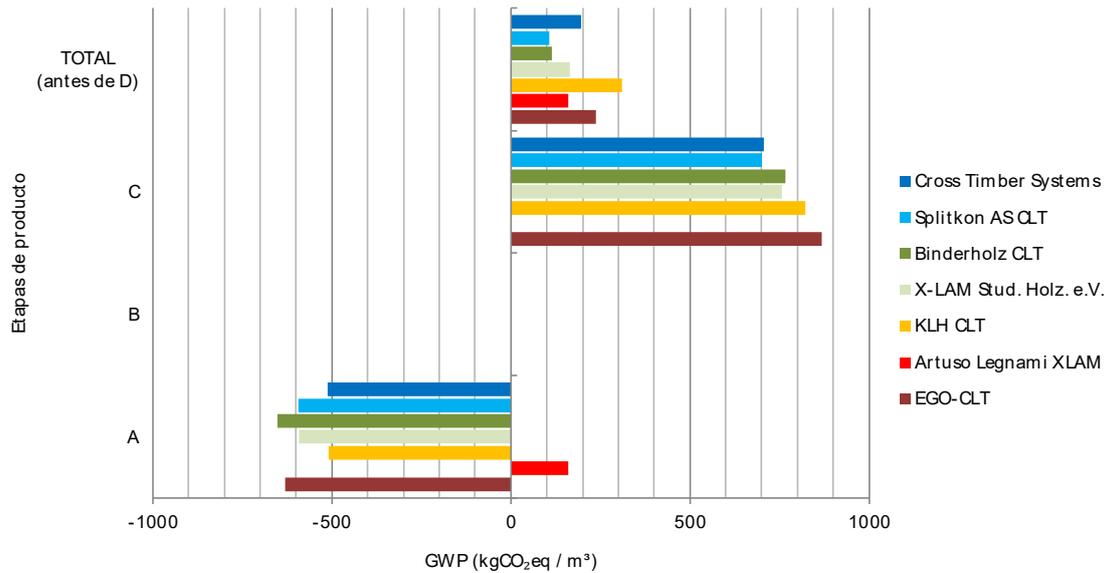


Figura 7. Potencial de calentamiento global para diferentes fabricantes de CLT y en las diferentes etapas de producto. Tabulación propia a partir de los valores presentados en las declaraciones ambientales de producto correspondientes.

Luego, se compararon tableros de OSB. Los tres primeros fabricantes presentan en sus DAP la información en base a 1m³ de OSB. La DAP del OSB3 de SmartPLY presenta la información por tonelada, y en la tabla se ha convertido a m³. El OSB de 18mm, francés, presenta la información por m², para lo cual se han extrapolado los datos a 1m³.

Fabricante	Programa	A					B							C				D		
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4			
Swiss Krono	Institut Bauen und Umwelt	X	X	X														X		X
Fritz EGG	Institut Bauen und Umwelt	X	X	X														X		X
Norbord	EPD International	X	X	X	X															
SmartPly OSB3	EPD Ireland	X	X	X																
OSB 18mm, Francia	FDES INIES	X	X	X	X	X											X	X	X	X

Tabla 7. Etapas de producto incluidas en las declaraciones ambientales de varios fabricantes de OSB. Tabulación propia a partir de la consulta y revisión de las declaraciones ambientales de producto correspondientes.

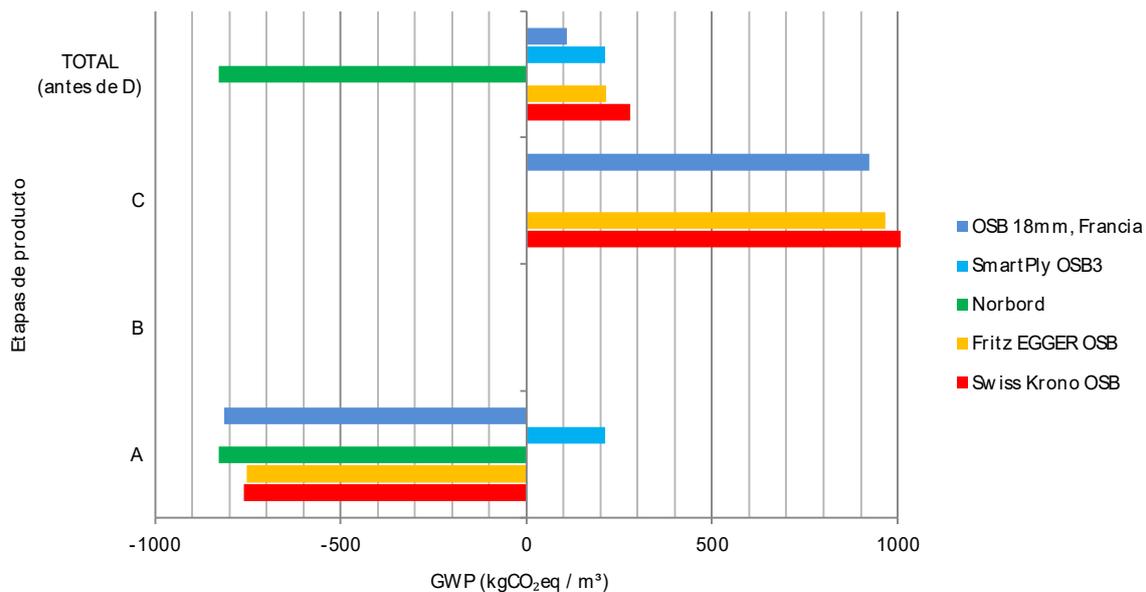


Figura 8. Potencial de calentamiento global para diferentes fabricantes de CLT y en las diferentes etapas de producto. Tabulación propia a partir de los valores presentados en las declaraciones ambientales de producto correspondientes.

En la Figura 8 es interesante observar que uno los fabricantes, Norbord, considera carbono secuestrado al inicio del proceso, pero a diferencia del resto de fabricantes, no reporta carbono liberado al final de la vida útil, por lo que el total es un valor negativo. Esto significa que se asume que el carbono se almacena de forma indefinida en el producto.

3.3.3 Declaraciones ambientales de edificio

En años recientes se ha intentado extender el concepto de declaración ambiental de producto al de declaración ambiental de edificio (EBD, por sus siglas en inglés). Esta declaración es un intento por presentar, de forma resumida, un análisis de ciclo de vida de un edificio, incluyendo además de los resultados de impactos ambientales, una lista de las consideraciones hechas en torno a unidad funcional, límites del sistema, periodo de estudio, herramienta utilizada, modelo de caracterización de impactos, y otros datos relevantes.

3.4 Comparación de bases de datos de emisiones de gases de efecto

invernadero

Existen diversas bases de datos con información de impacto ambiental para materiales de construcción. Sin embargo, son pocas las que contienen información completa para madera. El mayor reto para la investigación actual sobre madera maciza tecnificada es la obtención de datos de calidad de los procesos de transformación, tanto de fabricantes como de contratistas para construcción dedicados al rubro de la madera [25].

Base de Datos	Gestor	Materiales incluidos
ICE	Circular Ecology / Universidad de Bath	Madera laminada encolada, tableros de fibra de madera, madera contralaminada, madera aserrada, parquet, compuestos madera-plástico, perfiles I
Wood for Good	PE International	Madera contralaminada, sistemas de particiones en madera, tableros, madera aserrada, adhesivos para madera, chapa metálica para conexiones, ventanas, madera esquinada
VTT	ECO2	Tableros de madera, recubrimientos de suelo, madera contralaminada, madera aserrada, aislamiento de fibra de madera, puertas para interior, ventanas
CORRIM	CORRIM	Tableros de madera, LSL, perfiles para recubrimiento de fachadas, madera aserrada, madera laminada encolada, perfil I, MDF, LVL, recubrimiento de suelos
Ecoinvent	ETH Domain / Agroscope	Madera laminada encolada, OSB, MDF, tableros de partículas, tableros contralaminados, tableros de lana de madera, desperdicios de madera, corteza, puertas, madera aserrada, pellets

Tabla 8. Bases de datos sobre emisiones de CO₂. Se incluyen aquellas que contienen un número relevante de productos de madera. Elaboración propia a partir de consultas en cada base de datos.

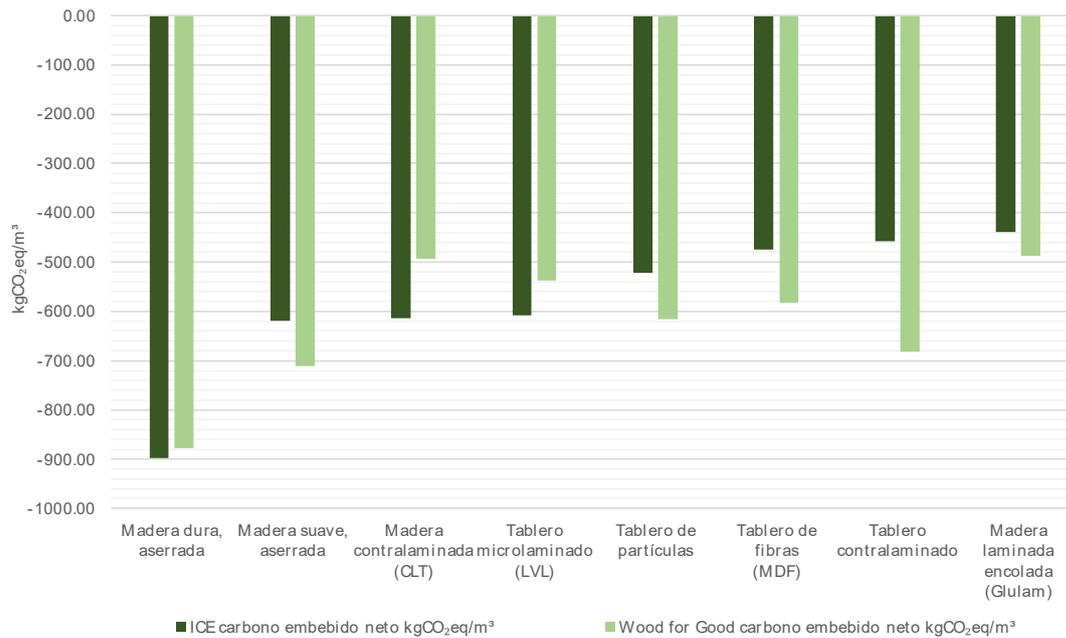


Figura 9. Comparación de valores de emisiones de CO₂, para dos bases de datos y varios productos de madera.

La figura 9 presenta los valores de carbono embebido en el CLT, encontrados en dos bases de datos. Los valores de ICE están ordenados de menor a mayor impacto. Sin embargo, esta tendencia no se mantiene para los datos de Wood for Good. Es interesante observar cómo la tecnificación introduce impactos negativos. Los productos menos tecnificados, o con procesos menos complejos, son los que se encuentran a la izquierda del gráfico.

Existen otras bases de datos, como la del Instituto de Tecnología de la Construcción (ITeC), con una cantidad importante de productos y sus emisiones de CO₂ y energía embebida, sin embargo, aún no presentan de forma clara los límites del sistema, y advierten que, por dicha razón, los datos deben usarse con precaución.

Varios artículos presentan recopilaciones de valores de emisiones para diferentes productos de madera. Uno de ellos [25] brinda información sobre resultados de análisis de ciclo de vida para muchos productos de madera.

3.5 Mecanismos de certificación ambiental de edificios

La necesidad de cuantificar el impacto ambiental de los edificios, y la de procurar su disminución, ha llevado al desarrollo de herramientas de certificación. Estas herramientas son desarrolladas por organismos independientes que proponen una serie de aspectos ambientales a evaluar.

Existen herramientas enfocadas en aspectos específicos, como energía, y otras que abordan los proyectos desde un punto de vista general, donde evalúan muchos aspectos como grado de urbanización del emplazamiento, gestión de la energía y el agua, manejo de los desechos de construcción, ciclo de vida de los materiales, y otros.

Actualmente, los dos mecanismos de certificación con más aceptación a escala global son BREEAM [26] y LEED [27]. Ambos cuentan con varias escalas o certificados que se otorgan en función del resultado de la evaluación. Tradicionalmente, ambos mecanismos se han centrado en aspectos previos a la puesta en operación de la edificación, pero en años recientes, la necesidad de verificación del comportamiento del edificio está motivando a incluir la evaluación pos ocupacional. Adicionalmente, un punto importante que se comienza a evaluar en sus versiones más actuales es el del análisis de ciclo de vida. A pesar de que el ACV aún se encuentra en una etapa de desarrollo y es complicado establecer parámetros de referencia, desde los esquemas de evaluación ya se promueve su uso, y se espera que en los siguientes años las exigencias en dicho tema se vuelvan más rigurosas. Es oportuno mencionar que los mejores resultados en las evaluaciones con estas herramientas no necesariamente representan los mejores comportamientos en algunos aspectos de impacto ambiental específicos, como potencial de calentamiento global. Un estudio [5] realizado estudiando los impactos ambientales embebidos en los materiales de doscientos edificios concluyó que no eran los edificios en las mejores escalas de certificación los que presentaban menores de emisiones de CO₂.

Otro mecanismo de certificación que está ganando terreno en los últimos años es Well Building Standard (WELL), gestionado por el International Well Building Institute y centrado en aspectos de salud y confort del usuario [28]. Este mecanismo está basado en el comportamiento prestacional del edificio, y cuantifica el impacto de los edificios sobre sus ocupantes.

A pesar de que la madera es un material renovable y, en términos generales, con menor impacto sobre el medio ambiente y las personas que materiales más habituales, ningún mecanismo de certificación favorece expresamente a un edificio sólo por el hecho de estar construido en madera, ya que el material por sí mismo no garantiza que vaya a ser empleado de forma sostenible. Sin embargo, sí es posible afirmar que el empleo de la madera hace más fácil la obtención de algunos créditos, sobre todo relacionados con la gestión de los residuos, la energía

embebida y las emisiones de CO₂ de los materiales (ACV), y la calidad de aire interior. A continuación, se presentan algunos de los puntos que se evalúan en cada mecanismo de certificación, y que tienen relación con la madera. Como se puede ver, algunos de los criterios limitan el tipo de productos que se pueden utilizar para el tratamiento de la madera.

3.5.1 LEED

La siguiente información corresponde a lo presentado por LEED en su sitio web [29]. En su apartado de *materiales y recursos*, está incluida la reducción del impacto de ciclo de vida del edificio (hasta 5 créditos). Aquí se fomenta el re-uso adaptado de materiales y el empleo de productos con bajo impacto ambiental. Entre las opciones para obtener estos créditos, están la rehabilitación de edificios existentes, el re-uso de materiales, y la evaluación de ciclo de vida de todo el edificio. En el ACV, debe demostrarse el nivel de comportamiento del edificio con respecto a un edificio base, y lógicamente una propuesta innovadora en madera puede fácilmente alcanzar mejores resultados en comparación a un edificio base, que un edificio con materiales tradicionales. También, se promueve el uso de materiales con declaración ambiental de producto (hasta 2 puntos), y el suministro de materias primas gestionadas responsablemente (hasta 2 puntos, en caso de madera, sello FSC por ejemplo). También se otorgan créditos (hasta 2 créditos) por usar materiales con información sobre sus ingredientes. Para edificios de carácter sanitarios, se otorgan créditos por usar materiales y mobiliario con DAP, base-bio, o de origen certificado (hasta 2 créditos). En el apartado de *calidad de aire interior*, se otorgan créditos por usar materiales con bajas emisiones de compuestos orgánicos volátiles (hasta 3 créditos). Para productos de madera, se hace un énfasis en realizar pruebas de contenido de formaldehído, para contrachapados, OSB, laminados encolados, viguetas, y otros.

Leed también cuenta con un apartado de análisis de ciclo de vida. Ya que no existen, o es muy difícil establecer, puntos de referencia, la asignación de créditos (hasta 4) se basa en, primero, realizar un ACV, y luego en comparar un modelo optimizado contra un modelo base. El máximo puntaje, 4 créditos, se obtiene incorporando a la estructura y envolvente del edificio materiales recuperados o reutilizados, y demostrando una reducción del potencial de calentamiento global de al menos 20% con respecto a un edificio base, además de una reducción de al menos 10% en otras dos categorías de impacto.

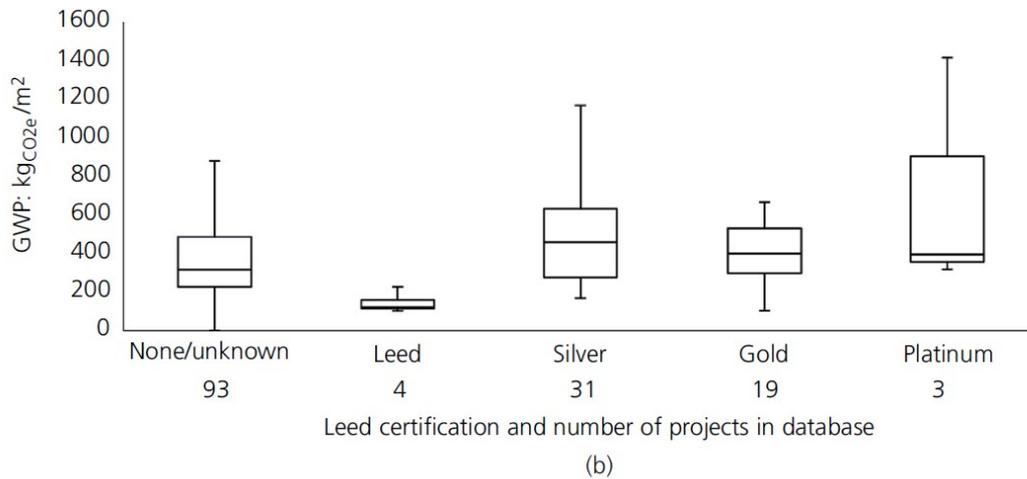


Figura 10. Potencial de calentamiento global por categoría de certificación LEED. Fuente: *Material quantities and embodied carbon dioxide in structures, De Wolf, 2015 [5]*

De acuerdo al estudio de De Wolf [5], una mejor calificación LEED no representa un mejor indicador de potencial de calentamiento global, aunque la muestra correspondiente a edificios LEED certificados quizá sea muy pequeña (4 edificios).

3.5.2 BREEAM

En su apartado de *materiales*, caben destacar dos puntos donde la madera puede facilitar el acceso a créditos. Uno de ellos es el de impacto de ciclo de vida, donde la madera tiene claras ventajas frente a otros materiales con procesos de fabricación más intensivos. Además de la realización de ACV, también se otorgan créditos por utilizar materiales con declaración ambiental de producto, y como se ha mencionado anteriormente, ya existen muchos productos de la madera con dichas declaraciones. Otro punto es el del propio origen de la madera. BREEAM otorga créditos por utilizar madera certificada, proveniente de bosques gestionados responsablemente y transformada en establecimientos con certificación de cadena de custodia. En el apartado de *residuos*, el uso de elemento prefabricados o de piezas (vigas, forjados, cerramientos) cortados en fábrica y llevados a obra listos para instalar disminuye de forma importante la cantidad de residuos generados en obra. En el apartado de *salud y bienestar*, se verifica la calidad del aire interior. En este aspecto, por una parte, la madera por sí misma no emite compuestos orgánicos volátiles dañinos, pero, por otra parte, los

productos con los cuales suele ser tratada o pintada, sí que pueden emitir. Además, en el apartado de *innovación*, cabrían propuestas novedosas en madera, ya que es un material en desarrollo y con gran potencial.

3.5.3 WELL Building Standard

Al ser un mecanismo centrado en la salud y bienestar, los criterios que evalúa y que tiene relación con la madera giran en torno a métodos de tratamiento de la madera, emisiones de los materiales y otros relacionados. En su apartado de *aire*, WELL evalúa la cantidad de compuestos orgánicos volátiles en el aire del edificio, que en general será menor para materiales menos tecnificados, como la madera. En cuanto a *sonido*, se evalúa el aislamiento acústico de las estancias. Hay algunos productos aislantes a base de madera que pueden utilizarse en particiones interiores, por ejemplo. Por otra parte, la madera maciza por sí misma no es un buen aislante acústico, por lo que debe ser complementada con otros elementos. En el apartado de *materiales*, se regula el uso de madera tratada con CCA (cobre, cromo y arsénico); se limita el uso de materiales peligrosos, como plomo; se limita el uso de compuestos halogenados, formaldehído, ftalatos, emisiones de muebles y pinturas; y se incentiva la divulgación de la composición de los materiales. En general, al ser la madera un producto que puesto en obra conserva muchas de sus propiedades naturales originales, es un material con claras ventajas en estos aspectos mencionados.

3.5.4 Otras herramientas

Es importante mencionar otras herramientas que sirven de guía para la construcción sostenible, por ejemplo, las guías de IHOBE del País Vasco, que contienen lineamientos para construir de forma más sostenible. En el caso de la madera, IHOBE propone elegir productos con etiquetas ecológicas, utilizar materiales reciclados y materiales rápidamente renovables (tiempo de renovación menor a diez años), utilizar madera en construcción, elegir tableros aglomerados con bajas emisiones de formaldehídos y evaluar los tratamientos hechos a la madera.

4 Proyectos de investigación en torno a la madera

Actualmente se están desarrollando proyectos de investigación apoyados por la Unión Europea, orientados a promover la industria de la madera. El enfoque de los proyectos es muy variado. Algunos abordan el manejo sostenible de los bosques, otros promueven las cadenas de valor de productos de madera, y otros están específicamente orientados a construcción en madera.

El involucramiento de los sectores políticos, empresariales y académicos es de vital importancia en la promoción de la madera. Hay dos razones importantes que hacen necesario abordar el tema de forma conjunta. Por una parte, los productos vienen del bosque, que es un bien común y que es necesario gestionar de forma responsable creando políticas para su aprovechamiento. Por otra parte, al ser la madera tecnificada un tema en desarrollo, es importante involucrar al sector académico en la investigación y el desarrollo de los productos.

La Tabla 9 presenta algunos de los proyectos más relevantes a escala europea, tanto los que recién concluyen, los que están en curso, y algunos por comenzar.

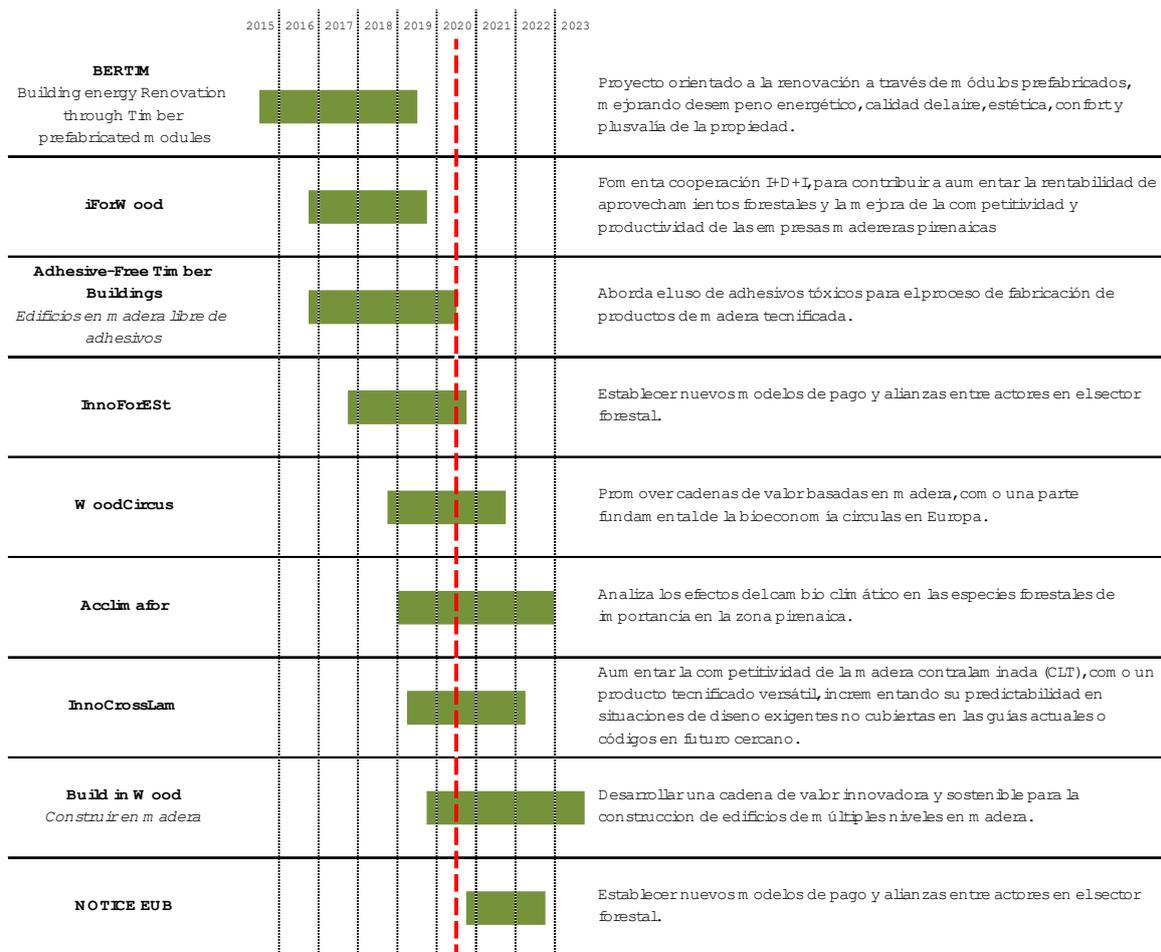


Tabla 9. Proyectos de investigación en torno a la madera, con su marco de tiempo y breve descripción de su enfoque. Elaboración propia a partir de la revisión de los sitios web de los mismos.

Build-in-Wood, por ejemplo, es un proyecto de 10 millones de euros y veintiún socios, orientado a promover la construcción de edificios en madera de entre tres y diez niveles, ya que es en esta escala donde existe una mayor demanda en Europa. El proyecto intenta romper algunas barreras existentes en relación al empleo de madera como un material útil y duradero. Uno de los problemas es la falta de conocimiento de la madera como elemento constructivo a dicha escala. En general, el sector de la construcción prefiere materiales industrializados más tradicionales como acero u hormigón. El objetivo específico del proyecto es el de desarrollar soluciones estandarizadas para utilizar en edificios de varios niveles.

Adhesive-Free Timber Buildings (*Edificios en Madera Libres de Adhesivos*) es, un proyecto actualmente en conclusión, que aborda el uso de adhesivos tóxicos en el proceso de fabricación de productos de madera. Si bien la tecnificación ha hecho posible el desarrollo de piezas y productos no disponibles naturalmente o mediante un proceso básico de aserrado, ésta ha debido emplear adhesivos dañinos para la salud y para

el medio ambiente. El proyecto propone la sustitución de dichos adhesivos por espigas de madera, para su uso en productos como CLT, vigas laminadas, y conexiones entre vigas y pilares. El método consiste unir piezas de madera mediante pasadores de madera de frondosa, insertos a presión en agujeros perforados previamente. La espiga tiene originalmente una humedad inferior a las piezas a unir, por lo que una vez juntos, esta humedad aumenta y la espiga se expande, creando una unión a presión. A pesar de que este sistema no utiliza componentes tóxicos, sus impactos ambientales aún no han sido estudiados [30].

El proyecto BERTIM (*Rehabilitación Energética de Edificios mediante el uso de Elementos Prefabricados de Madera, por sus siglas en inglés*) propone el uso de elementos prefabricados en la rehabilitación energética de edificios. Se propone abordar la rehabilitación de forma digital, desde la toma de datos y luego en la gestión mediante formato BIM. El proceso de rehabilitación puede llevarse a cabo en unos pocos días y sin la necesidad de desalojar el edificio. El proyecto ha involucrado a tres empresas dedicadas a la construcción con madera, que ahora, después de haber participado en él, ofrecen éstos productos orientados a rehabilitación.

5 CONCLUSIONES

El análisis expuesto en este documento no pretende ser una revisión exhaustiva de los mecanismos de valoración ambiental. En cambio, el objetivo es brindar una visión general de dichos mecanismos y de los elementos a tener en cuenta al hacer uso práctico de ellos. La intención es mostrar que los resultados de una valoración ambiental pueden cambiar dependiendo de las herramientas que se elijan. Estas incongruencias pueden tener su origen en la herramienta de ACV utilizada, la base de datos, la región geográfica, la forma de valoración del carbono secuestrado, y otras más.

Existen varias ventajas o puntos fuertes al utilizar comparaciones directas entre productos. En términos generales, el hecho de comparar ya involucra una conciencia sobre el impacto ambiental. Además, cuando se evalúan productos de la madera frente a materiales más habituales como hormigón o acero, es posible hacer estimaciones rápidas sobre porcentajes de mejora relacionados con emisiones. Esto se puede hacer con base en cuantías de materiales, y ya que se sabe que la estructura representa aproximadamente el 50% de la emisión total de un edificio, y terminado en cuenta que a nivel de cuantías es un apartado relativamente compacto, comparar estructuras de madera con estructuras en otros materiales es un buen medio para conocer potencial de ahorro total de emisiones de un edificio. Otro punto fuerte resulta de evaluar productos adheridos al mismo ente de certificación. De esta forma, las reglas de categorías de producto y los criterios a evaluar serán los mismos. Por último, una ventaja de algunas herramientas de ACV es que permiten introducir valores de impactos ambientales específicos para un producto, que se puede encontrar en su declaración ambiental. Esto hace que el resultado sea más ajustado a la realidad.

Por otra parte, existen dificultades o inconvenientes a tener en cuenta. Como ya se mencionó, quizá el problema más grande hoy en día es la falta de estandarización en los procedimientos de evaluación. Al hablar de producto de madera, un aspecto clave es la forma en que se considera el carbono secuestrado en la madera. En este sentido, al comparar directamente dos productos, es preciso que el carbono se haya incluido de la misma forma en ambos inventarios. Otra dificultad es la incertidumbre sobre los escenarios futuros, sobre todo relacionados con la etapa de fin de vida y con los beneficios más allá del sistema. Generalmente, los fabricantes incluyen en sus declaraciones ambientales un valor por deconstrucción, pero no por beneficios adicionales que pueden resultar, por ejemplo, de reutilizar los productos.

A nivel de producto, existen ya muchos con declaración ambiental de producto (CLT, madera laminada encolada, OSB, LVL, suelos laminados, placas aislantes, entre otros.). Sin embargo, las diferencias en sus resultados son importantes. Un factor importante a esta escala es el transporte. Debido al desarrollo de la industria, algunos países (por ejemplo, Austria) cuentan con sistemas productivos mucho mejor establecidos, y es frecuente que exporten productos terminados de madera hacia otros países. En estos casos, las emisiones a causa del transporte ganan relevancia.

Para concluir es importante dejar clara la importancia de la gestión forestal sostenible como vía para garantizar la eficacia del uso de la madera en los edificios como herramienta para combatir el cambio climático. La tasa de secuestro de carbono en un bosque puede llegar a su punto máximo cuando se tala y se replanta constantemente, pero para esto hace falta que se garantice la gestión responsable.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Banco Interamericano de Desarrollo and O. de E. y Supervisión, "Evaluación de la Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles del BID," p. 60, 2016.
- [2] IEA, "World Energy Outlook 2016," *Econ. Outlook*, vol. 11, no. 4, pp. 1-8, 2016.
- [3] Global Alliance for Buildings and Construction, "2018 Global Status Report," p. 325, 2018.
- [4] IPCC, "5 IPCC Special Report on 1.5 C Warming," *An IPCC Spec. Rep. impacts Glob. Warm. 1.5°C above pre-industrial levels Relat. Glob. Greenh. gas Emiss. pathways...*, no. June, p. 132, 2018.
- [5] C. De Wolf, F. Yang, D. Cox, A. Charlson, A. S. Hattan, and J. Ochsendorf, "Material quantities and embodied carbon dioxide in structures," *Proc. Inst. Civ. Eng. Eng. Sustain.*, vol. 169, no. 4, pp. 150-161, 2016.
- [6] M. Röck *et al.*, "Embodied GHG emissions of buildings - The hidden challenge for effective climate change mitigation," *Appl. Energy*, vol. 258, no. November 2019, p. 114107, 2020.
- [7] Energy in Buildings and Communities Programme, "Assessing Life Cycle Related Environmental Impacts Caused by Buildings," 2019.
- [8] M. H. Ramage *et al.*, "The wood from the trees: The use of timber in construction," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 68. Elsevier Ltd, pp. 333-359, 01-Feb-2017.
- [9] "Los Diez Principios." [Online]. Available: <https://es.fsc.org/es-es/certificacin/los-principios-y-criterios-del-fsc/los-diez-principios>. [Accessed: 27-Jun-2020].
- [10] "PEFC - ¿Qué diferencia a PEFC?" [Online]. Available: https://www.pefc.es/pefc_unico.html. [Accessed: 27-Jun-2020].
- [11] "Entidades certificadoras acreditadas." [Online]. Available: <https://es.fsc.org/es-es/certificacin/entidades-certificadoras-acreditadas>. [Accessed: 29-Jun-2020].
- [12] PEFC, "Evolución Certificación Forestal PEFC Marzo 2020," 2020.
- [13] 'MaderaNavarra' la web de los aprovechamientos forestales de Navarra | ADEMAN." [Online]. Available: <https://www.ademan.org/madera-navarra/>. [Accessed: 29-Jun-2020].

- [14] FSC, "FSC Facts & Figures - February 2020," 2020.
- [15] R. Bergman, M. Puettmann, A. Taylor, and K. E. Skog, "The carbon impacts of wood products," *For. Prod. J.*, vol. 64, no. 7-8, pp. 220-231, 2014.
- [16] International Organization for Standardization, "ISO 14040:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework." 2006.
- [17] "Greenhouse Gas Protocol |." [Online]. Available: <https://ghgprotocol.org/>. [Accessed: 28-Jun-2020].
- [18] J. Gieseke and F. Pomponi, "Briefing: Embodied carbon dioxide assessment in buildings: guidance and gaps," *Proc. Inst. Civ. Eng. Eng. Sustain.*, vol. 171, no. 7, pp. 334-341, 2017.
- [19] N. Emami *et al.*, "A life cycle assessment of two residential buildings using two different LCA database-software combinations: Recognizing uniformities and inconsistencies," *Buildings*, vol. 9, no. 1, pp. 1-20, 2019.
- [20] International Organization for Standardization, "ISO 14020:2000 - Environmental labels and declarations - General principles." 2000.
- [21] European Commission, "DECISIÓN (UE) 2017/176 DE LA COMISIÓN," vol. 2015, no. 4, pp. 37-39, 2017.
- [22] Blue Angel, "The German Ecolabel Low-Emission Floor Coverings , Panels and Doors for Interiors made of Wood and Wood-Based Materials," no. January, 2013.
- [23] International Organization for Standardization, "ISO 14025:2006 - Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures." 2006.
- [24] N. Minkov, L. Schneider, A. Lehmann, and M. Finkbeiner, "Type III Environmental Declaration Programmes and harmonization of product category rules: Status quo and practical challenges," *J. Clean. Prod.*, vol. 94, pp. 235-246, 2015.
- [25] K. Sahoo, R. Bergman, S. Alanya-Rosenbaum, H. Gu, and S. Liang, "Life cycle assessment of forest-based products: A review," *Sustain.*, vol. 11, no. 17, pp. 1-30, 2019.
- [26] Building Research Establishment, "BRE Environmental Assessment Method BREEAM." [Online]. Available: <https://www.breeam.com/>.

[Accessed: 25-May-2020].

- [27] U.S. Green Building Council, "LEED v4.1." [Online]. Available: https://www.usgbc.org/leed/v41?creative=340482139151&keyword=leed-certified-buildings-list&matchtype=b&network=g&device=c&gclid=CjwKCAjw2a32BRBXEiwAUcugiOIUeIeFnxnMbHg1YlJHdK1IoMBi5LbH7Fje92TYwJO2p6dMpuuPDRoCb50QAvD_BwE. [Accessed: 25-May-2020].
- [28] International Well Building Institute, "WELL Building Standard." [Online]. Available: <https://www.wellcertified.com/>. [Accessed: 25-May-2020].
- [29] "LEED v4.1 | U.S. Green Building Council." [Online]. Available: <https://www.usgbc.org/leed/v41>. [Accessed: 27-Jun-2020].
- [30] A. Sotayo *et al.*, "Review of State of the Art of Dowel Laminated Timber Members and Densified Wood Materials as Sustainable Engineered Wood Products for Construction and Building Applications," *Dev. Built Environ.*, vol. 1, p. 100004, Dec. 2019.



Universidad
de Navarra

CÁTEDRA
MADERA