ACHE Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural

MONOGRAFÍA ACHE:

SOSTENIBILIDAD Y CONSTRUCCIÓN

AUTORES:

Grupo de Trabajo de Sostenibilidad de ACHE

Barcelona, julio 2012

Índice

PRÓLOGO

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN A LA SOSTENIBILIDAD EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN. 1
Antonio Aguado y Jaime Gálvez

CAPÍTULO 2

LA SOSTENIBILIDAD Y LA REGLAMENTACIÓN DE LA EDIFICACIÓN 17
Juan Antonio Tenorio Ríos y Luís Vega Catalán

CAPÍTULO 3

ESTRUCTURAS SOSTENIBLES: MITOS Y RETOS 31
Fernando Rodríguez García

CAPÍTULO 4

LA SOSTENIBILIDAD EN LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS IN SITU 67
Javier Ainchil Lavin

CAPÍTULO 5

LA SOSTENIBILIDAD EN LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS PREFABRICADOS 87
David Fernández-Ordóñez

CAPÍTULO 6

LA SOSTENIBILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN 113
Arturo Alarcón, Sergio Carrascón

CAPÍTULO 7

IMPACTO AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO:
CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO 135
Juan Cagiao, Breixo Gómez, Juan Luis Doménech y Salvador Gutiérrez

CAPÍTULO 8

LA SOSTENIBILIDAD DE LOS MATERIALES: CEMENTO 155
Joan Puig y Sergio Carrascón

CAPÍTULO 9

EL PAPEL DE LOS ADITIVOS QUÍMICOS EN LA SOSTENIBILIDAD 173
Joana Roncero

CAPÍTULO 10

LA SOSTENIBILIDAD EN LOS ÁRIDOS 189
Pilar Alaejos y Fernando Martínez

CAPÍTULO 11

LA SOSTENIBILIDAD EN EL ACERO Y LAS ARMADURAS 221
Ignacio Cortés y Eugenio García

CAPÍTULO 12

LA SOSTENIBILIDAD EN LOS PRODUCTOS "TÉCNICOS" DE MADERA PARA LA CONSTRUCCIÓN 237
Juan I. Fernández-Golfín Seco, Beatriz Rivela Carballal, Marta Conde García

CAPÍTULO 13

LA SOSTENIBILIDAD EN EL HORMIGÓN 261
Juan Eugenio Cañadas Bouzas

CAPÍTULO 14

LA SOSTENIBILIDAD EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO 279
Miren Exteberria

CAPÍTULO 15

LA SOSTENIBILIDAD EN CERRAMIENTOS DE EDIFICIOS 309
Clara Liaño, Luis Villegas, Ignacio Lombillo: GTED-UC

CAPÍTULO 16

LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD. NECESIDADES Y MODELOS EXISTENTES 337
José T. San-José, Eduardo Rojí y Alejandro Josa

CAPÍTULO 17

METODOLOGÍA Y HERRAMIENTA VERDE PARA LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN EDIFICIOS 359
Manuel Macias y Justo García Navarro

CAPÍTULO 18

METODOLOGÍA GENÉRICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS. EL MÉTODO MIVES 383
Diego Gómez, Alfredo del Caño, M. Pilar de la Cruz y Alejandro Josa

CAPÍTULO 19

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN Y METÁLICAS. LA EHE Y LA EAE. ANÁLISIS PRELIMINAR 409
Diego Gómez, Alfredo del Caño, M. Pilar de la Cruz y Alejandro Josa

CAPÍTULO 20

APLICACIONES ESTRUCTURALES DEL HORMIGÓN CON ÁRIDOS RECICLADOS 435
Pilar Alaejos.

CAPÍTULO 21

ESTRUCTURAS DE EDIFICACIÓN 447
Antoni Blázquez

CAPÍTULO 22

CONTRIBUCION DE LA ESTRUCTURA A LA SOSTENIBILIDAD DE UN EDIFICIO 467
Ramón Losada, Eduardo Rojí, Jesús Cuadrado

CAPÍTULO 23

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN EDIFICACIÓN CON SOLUCIONES INDUSTRIALIZADAS 485
Antonia Pacios Álvarez y Juan Manuel Vargas Funes

CAPÍTULO 24

EXPERIENCIAS ESPECÍFICAS EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN 503
Javier Ainchil Lavin

CAPÍTULO 25

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE TUBOS DE SANEAMIENTO 529
Bernat Viñolas, Albert de la Fuente, Antonio Aguado y Alejandro Josa

CAPÍTULO 26

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN FORJADOS DE EDIFICACIÓN 545
Ramon Carles y Carlos Fernandez-Lillo

CAPÍTULO 27

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE PILARES DE HORMIGÓN ARMADO EN EDIFICACIÓN 563
Pere Duran, Guillermo Sánchez y Antonio Aguado

CAPÍTULO 28

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE EDIFICIOS ESCOLARES: SISTEMAS CONSTRUCTIVOS 581
Oriol Pons

CAPÍTULO 29

CONCLUSIONES 599
Antonio Aguado

CAPÍTULO 12

LA SOSTENIBILIDAD EN LOS PRODUCTOS "TÉCNICOS" DE MADERA PARA LA CONSTRUCCIÓN

12.1.- INTRODUCCIÓN

En el momento actual, la protección del medio ambiente se ha convertido en elemento movilizador de importantes sectores sociales, tanto en el ámbito de lo gubernamental como en la propia sociedad civil. Las preocupaciones del pasado han adquirido cierta emergencia que sitúa hoy en día a la temática ambiental en el eje central del desarrollo económico.

El sector de la construcción afronta el reto de la sostenibilidad desde una posición paradigmática: la industria de la construcción mundial consume el 40% de los materiales que forman parte de la economía global y genera entre el 40 y el 50% de las emisiones de gases de efecto invernadero y de agentes causantes de la lluvia ácida, lo que le convierte en una de las actividades menos sostenibles del planeta (Kofoworola y Gheewala, 2008). El imperativo de promover una edificación más sostenible hace necesaria la puesta en marcha de estrategias que incorporen un enfoque holístico en el que se contemplen todas las fases del ciclo de vida de la edificación, desde la extracción de materiales, construcción, vida útil, mantenimiento hasta la gestión de residuos tras su vida útil.

Una de las acciones clave para la optimización del uso de recursos y la reducción del impacto ambiental asociado a la construcción se presenta en la utilización de madera.

La madera como recurso es el material renovable de mayor relevancia (Bowyer, 1995), habiéndose generalizado su empleo por sus excelentes propiedades en relación a su disponibilidad, grado de aislamiento proporcionado, elevada resistencia, etc. (Skodras *et al*., 2004).

Los productos de madera y sus derivados destacan por su capacidad de almacenamiento de carbono, su alta reciclabilidad, la renovabilidad de sus materias primas y el hecho de que se haga un reducido uso de combustibles fósiles en su transformación, constituyéndose como materiales a ser muy tenidos en cuenta para combatir el cambio climático (Bermúdez *et al*., 2007). Dado su amplio espectro potencial de aplicaciones, la madera frecuentemente se presenta como un material muy adecuado para el sector de la construcción (Stael *et al*., 2001; Petersen y Solberg, 2005).

12.2.- EL CONCEPTO DE ECOCERTIFICACIÓN APLICADO A LOS PRODUCTOS DE LA MADERA

De entre los productos de la construcción, los productos de la madera son los únicos que pueden incorporar tanto una certificación de procedencia, que hace referencia a su obtención a través de una gestión forestal sostenible de los recursos, como otra de cadena de custodia, que es la que hace referencia a que durante todo el proceso de transformación y/o comercialización la trazabilidad respecto de su procedencia quede asegurada.

Cuando Naciones Unidas estableció en 1987 la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo [Informe Brundtland (ONU, 1987)], era ya evidente que la protección del medio ambiente iba a convertirse en una cuestión de supervivencia para todos. A partir de este informe queda claro que la protección del medio ambiente y el crecimiento económico habrían de abordarse como una sola cuestión.

Como resultado del informe Brundtland, la Asamblea General de Naciones Unidas convocó en 1992 la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD). La Conferencia, conocida como Cumbre de la Tierra o Cumbre de Río, ya que se celebró en Río de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992, fue un momento decisivo en las negociaciones internacionales sobre las cuestiones del medio ambiente y el desarrollo.

En lo que hace referencia a los bosques, y como fruto de la anterior Cumbre de Río, en 1995 se estableció el Grupo Intergubernamental sobre los Bosques, con el encargo de estudiar en detalle los criterios para una ordenación sostenible de los recursos forestales mundiales.

Desde ese momento, el sector forestal mundial en general y el europeo en particular han venido trabajando intensamente en el establecimiento de una serie de

indicadores que permitan evaluar y documentar la sostenibilidad de la gestión forestal. La aparición de estos indicadores y la necesidad de la existencia de entidades de certificación que acreditasen su cumplimiento por parte de los gestores forestales son los dos factores que dan origen a los diversos sistemas de certificación de la Gestión Forestal Sostenible (GFS) actualmente existentes.

Fácilmente se puede constatar de todo lo anterior que es en los años 90 del siglo pasado cuando se desarrollaron los diversos sistemas de Certificación Forestal actualmente existentes. Algunos de ellos con una vocación eminentemente regional y nacional, como puede ser el promovido por el "Canadian Council of Forest Ministers" (CCFM), el "Finnish Forest Certification Scheme (FFCS), Sustainable Forestry Initiative (SFI) en Norteamérica (1995), Indonesian Ecolabelling Institute (LEI) en Indonesia (1998), Malaysian Timber Certification Council (MTCC) en Malasia (1998) o el American Tree Farm System (ATS) en USA.

Sin embargo, también aparecieron otras organizaciones que propugnaban sistemas que tenían una perspectiva de uso transterritorial. Un ejemplo de estos, lo puede constituir el Forest Stewardship Council, más conocido por sus siglas FSC, y el Pan-European Forest Certification, conocido por sus siglas PEFC, ambos con vocación de aplicación a nivel mundial.

Sea cual fuere el sistema de certificación seguido, la certificación de la GFS contribuye a la pervivencia y desarrollo del bosque al asegurar a la sociedad que su gestión es: económicamente viable, ambientalmente apropiada y socialmente beneficiosa.

Vemos, pues, que con la introducción del concepto de la GFS, los planes de gestión de los bosques ya no sólo incorporan aspectos productivos sino también sociales y medioambientales, lo que lleva a concluir y asegurar que el uso de la madera permite y fomenta la permanencia y desarrollo de los bosques generando efectos colaterales positivos de tipo medioambiental y social.

En lo que hace referencia al caso específico de Europa, es de señalar que fue en los años 90 cuando se generaron los grandes debates políticos conducentes a asegurar que las políticas forestales de los países miembros incluyeran de forma taxativa un compromiso de adhesión al concepto de gestión forestal sostenible. A nivel europeo este concepto de Gestión Forestal Sostenible (GFS) fue definido en la Conferencia ministerial de Helsinki (1993), habiendo quedado incluida en la norma española UNE 162001:2007como sigue:

> "*Administración y uso de los bosques y los montes de manera y en tal medida que mantengan su biodiversidad, productividad, capacidad de regeneración, vitalidad y su potencial de cumplir, ahora y en el futuro, funciones ecológicas, económicas y sociales relevantes, a escala local, nacional y global sin causar daños a otros ecosistemas*".

Pero el trabajo en el seno de la Unión Europea no acabó con la definición de la GFS surgida en la Conferencia de Helsinki sino que, posteriormente, continuó y así en la de Lisboa, celebrada en 1998, se introdujo y aprobó una primera versión de los criterios paneuropeos que sería necesario considerar para certificar una gestión forestal como sostenible. Estos criterios son los que serán empleados posteriormente para establecer el 30 de junio de 1998 la Pan-European Forest Certification (PEFC), base del sistema europeo de ecocertificación forestal.

No obstante, el debate sobre la GFS no se agotó con la introducción de la definición y de los primeros indicadores para la evaluación, sino que éstos últimos han sido, y continúan siendo sometidos a un proceso de mejora continua, ya que han sido revisados y optimizados tanto en la cuarta Conferencia ministerial, celebrada en Viena en 2003, como en la quinta Conferencia, celebrada en Varsovia en noviembre de 2007. De todo lo anterior se deduce que el concepto de la Gestión Forestal Sostenible es algo muy tenido en cuenta en las políticas forestales de los países miembros de la Unión Europea, así como en todos los adheridos a los sistemas PEFC y FSC de certificación forestal.

En España, la Ley de Montes (Ley 43/2003) recoge que los montes españoles se ordenarán de acuerdo a unas instrucciones básicas de ordenación y de aprovechamiento que necesariamente recogerán

> "*la adaptación a los montes españoles de los criterios e indicadores de sostenibilidad, su evaluación y seguimiento, de conformidad con los criterios establecidos en resoluciones internacionales y convenios en los que España sea parte*".

Por otra parte, esta misma Ley, en su artículo 3a establece como primer criterio inspirador la "*La gestión sostenible de los montes*", a cuya defensa dedica gran parte de su articulado.

Para dar cumplimiento práctico a los criterios paneuropeos, en España, existen las normas UNE de la serie 162000, que comprenden tanto aspectos terminológicos y de vocabulario (UNE 162001) como los criterios e indicadores para la evaluación de la unidad de gestión (UNE 162002), para la cualificación de los auditores (UNE 162003) o de las entidades de certificación (UNE 162004). Aspectos todos ellos necesarios para el establecimiento y evaluación del actual sistema de certificación a nivel nacional.

Pero además de lo anteriormente visto, todo ello referido a la Gestión Forestal Sostenible, es muy importante tomar en consideración que la ecocertificación aplicada a los productos forestales es un concepto más amplio que el de la GFS ya que engloba en su seno los siguientes procesos:

- La certificación de la GFS.
- La certificación de la cadena de custodia de las producciones forestales.

- La certificación medioambiental de los procesos, de acuerdo con los principios de la norma ISO 14000.

Por tanto, cuando en el mercado un producto de la madera incorpora una certificación medioambiental de procedencia esto implica que no sólo procede de bosques gestionados de forma sostenible (certificación de la GFS) sino que además todos los procesos posteriores de fabricación y almacenamiento son perfectamente trazables (evitando con ello la aparición en el mercado de productos ilegales o procedentes de abastecimientos no sostenibles).

Habitualmente en el mercado nos encontramos con dos tipos de certificaciones de procedencia distintas, que cubren tanto la GFS como la cadena de custodia: la del FSC y la del PEFC. Ambas certificaciones aseguran que el uso creciente de la madera no contribuye a la depredación del bosque sino, al contrario, a su mantenimiento y al de la población rural asociada al mismo.

La tercera pata de la certificación medioambiental de los productos de la madera, a la que cada vez más empresas madereras se suman, es la de la correcta gestión de los procesos productivos con total sujeción a los criterios medioambientales contemplados en la serie de normas de la ISO 14.000.

Además de todo lo anteriormente visto, que hace referencia a la sostenibilidad del abastecimiento, la madera aserrada o en rollo y, en menor medida, los productos derivados de ella, retienen en su seno cantidades no despreciables de CO_2 (ver tabla 11.2) que junto con los reducidos consumos de energía necesaria para su transformación, transporte y puesta en obra hacen que su impacto sobre la huella de carbono del proceso edificatorio sea reducida, convirtiéndose de este modo en materiales dignos de ser tenidos en cuenta en una política global de mejora de la sostenibilidad del proceso constructivo. Pero los créditos medioambientales de la madera no se agotan en su sostenibilidad y capacidad fijadora de CO_2, sino que además se puede afirmar que los productos de la madera son reciclables (un ejemplo de ello se tiene en el hecho de que hoy en día el 70% de la madera necesaria para fabricar en España los tableros de partículas proviene del reciclado) y, en último caso, valorizables energéticamente.

Para finalizar con la exposición de los créditos medioambientales de la madera, es necesario indicar que los componentes de los productos químicos de tratamiento, que en ocasiones puede incorporar la madera en todas sus presentaciones para hacerla más durable (normalmente en clases de uso 3.2, 4 y 5 de la norma UNE EN 335-1 y 2), están explícitamente aprobados, previo testado de su toxicidad medioambiental y su eficacia, de acuerdo con los requisitos de la Directiva de Biocidas, a la vez que los productos comerciales que hoy en día vemos en el mercado deben haber sido registrados en el Registro Europeo de Biocidas. Otro tanto puede decirse de los adhesivos usados en tableros y perfiles laminados, ya que la normativa es especialmente rigurosa respecto del control de la posible emisión y contenido de productos volátiles.

12.3.- PRODUCTOS DE MADERA UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

Durante todo el siglo XX y comienzos del XXI, la industria de la madera mundial ha venido desarrollando productos "técnicos" de la madera con propiedades y características adecuadas a usos concretos. Surgen de esta manera los "Productos técnicos de la madera para la construcción", productos que en algunos casos usan a la madera como uno de sus componentes, aunque no sea ésta el componente primordial (por ejemplo, los composites madera-plástico o los tableros de madera-cemento en todas sus variedades).

Con esta nueva concepción de los materiales, se supera el concepto arcaico de la madera como un material obsoleto, poco innovador y de propiedades impredecibles. Hoy en día todos los productos "técnicos" de la madera están amparados por normativa europea (EN) e internacional (ISO) a la vez que incorporan, cuando es posible, el marcado CE y ecocertificaciones diversas.

El desarrollo de los nuevos productos de la madera se ha beneficiado de los espectaculares avances habidos en los campos de los adhesivos y la nanotecnología. La aplicación de las técnicas de laminación, desenrollo y fragmentación junto a modernos sistemas de encolado ha permitido el desarrollo de perfiles estructurales y de productos con propiedades mecánicas y de estabilidad dimensional muy adecuadas para la construcción moderna. Muchos de los productos estructurales de madera se fabrican hoy en día para usos y aplicaciones concretas, integrando en su estructura y composición materiales y tratamientos que les permiten superar los viejos mitos de que la madera arde, se pudre o no tiene calidad.

Dado el alto grado de innovación existente en la actual industria de la madera, tanto europea como norteamericana, es imposible efectuar una clasificación exhaustiva de todos los productos existentes en el mercado. Constantemente aparecen nuevos productos y los productos ya existentes incorporan nuevos acabados, tratamientos y propiedades que los hacen distintos. Por ello el objetivo de este apartado es tan sólo introducir un listado, estructurado y no exhaustivo, de los productos de la madera que habitualmente son utilizados por el sector de la construcción.

Dado que la madera puede realizar, indistintamente, funciones estructurales y/o decorativas, vamos a considerar la siguiente subdivisión, en la que todos los productos en los que figura un asterisco (*) incorporan, en mayor o menor medida, adhesivos, productos con función predominantemente estructural o con función de cierre, aislamiento y/o decorativa

12.3.1.- Productos de la madera con función predominantemente estructural

Una clasificación no exhaustiva de productos "técnicos" de la madera para la construcción, con función estructural podría ser la siguiente:

- Madera aserrada de sección rectangular (tratada y sin tratar)
- Madera de sección circular (rollizos, torneados o no, tratados y sin tratar)
- Productos derivados directamente de la madera maciza (*)
    - Madera maciza empalmada longitudinalmente (KVH)
    - Dúos y tríos (perfiles de laminación vertical)
    - Madera laminada encolada (perfiles de laminación horizontal)
    - Tableros de madera maciza multicapa (SWP)
    - Tableros contralaminados de madera maciza (CLT)
- Productos derivados del uso de chapas de madera (*)
    - Perfiles de madera microlaminada
    - Perfiles PSL (Parallell Strand Lumber)
    - Tableros de madera microlaminada (LVL)
    - Tableros contrachapados
- Productos derivados del uso de partículas y fibras (*)
    - Tableros OSB (tipos 2, 3 y 4)
    - Tableros de partículas (tipos P4 a P7)
- Productos complejos (combinaciones de materiales)
    - Tableros sandwich (con aislante térmico y/o acústico) ETAG 019 (*)
    - Estructuras mixtas de cubierta (Casetones)
    - Viguetas prefabricadas
        - Madera-madera (*)
        - Madera-tablero (*)
        - Madera-metal
    - Cerchas prefabricadas

12.3.2.- Productos de la madera con función de cierre, aislamiento y/o decorativa

- Tableros de partículas (tipos P1 a P3) (*)
- Tableros de fibras (Duros HB y MDF) (*)
- Tableros de madera-cemento (Cemento Portland y Magnesita)
- Tableros de fibra aislantes
- Productos complejos (combinaciones de materiales)
    - Tableros sandwich (con aislante térmico y/o acústico) (ETAG 016) (*)
    - Tableros aligerados (atamborados) (*)
    - Composites madera-plástico (normalmente para suelos)
- Madera termotratada (de uso en fachadas y suelos)

- Carpinterías técnicas
    - Ventanas y balconadas
    - Puertas
    - Suelos de madera
        - Laminados
        - De madera maciza (tratada y sin tratar)
    - Frisos (fachadas e interiores) de madera aserrada (tratada y sin tratar)

Una descripción de los productos arriba enunciados puede verse recogida en los documentos incluidos en la página web http://www.aulamadera.es.

12.4.- METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD

La evaluación del comportamiento ambiental del sector de la construcción resulta especialmente compleja. Los edificios, en comparación con otros "productos", presentan una serie de dificultades añadidas a la hora de abordar su análisis. La diversidad de materiales, funciones, el comportamiento dinámico de sus componentes a lo largo de la vida útil,… constituyen algunos de los elementos que justifican esta complejidad (Scheuer *et al.*, 2003). Los procesos de producción asociados a un edificio están mucho menos estandarizados que la mayoría de los bienes manufacturados de mercado, y de algún modo se podría hablar del carácter único de cada edificación. Por otra parte, la información disponible sobre el impacto ambiental de la producción y manufactura de los materiales de construcción es limitada (Canals, G. 2011), así como la información de los procesos actuales de construcción y demolición.

Desde el año 2000, el número de métodos para la evaluación medioambiental de edificios en el mundo se ha multiplicado considerablemente (Macías y García Navarro, 2010). Si bien existe un amplio espectro de metodologías aplicadas para la evaluación ambiental, en lo relativo al comportamiento ambiental global, la metodología que se presenta como más adecuada para su cuantificación es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (Rivela *et al.*, 2006a). El ACV es una metodología que permite sistematizar la adquisición y generación de información y objetiviza las decisiones a tomar hacia un deseable desarrollo sostenible, presentándose como una herramienta clave en la selección de procesos, optimización y diseño. La norma Norma UNE-EN ISO 14.040:2006 define el ACV como:

> "*una técnica para evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos asociados con un producto, mediante la recolección de un inventario de las entradas y salidas relevantes de un sistema; la evaluación de los potenciales impactos medioambientales asociados con esas entradas y salidas; y la interpretación de los resultados de las fases de análisis y evaluación de impacto de acuerdo con los objetivos del estudio*".

Su aplicación se ha generalizado al marco de definición de políticas ambientales, constituyendo la piedra angular de la Política Integrada de Productos, la Estrategia Temática sobre Prevención y Reciclado de Residuos y la Estrategia Temática sobre el Uso Sostenible de los Recursos Naturales. La Unión Europea ha señalado el ACV como la mejor herramienta para evaluar el potencial impacto ambiental de los productos, creando la "European Platform of Life Cycle Assessment" para promover el empleo de la herramienta.

En el ámbito específico de la construcción, el Comité CEN/TC 350 "Sustainability of construction works", responsable del desarrollo de la futura norma europea de construcción sostenible, ha asumido, asimismo, el ACV como la metodología de referencia para la evaluación del comportamiento ambiental (para una descripción detallada se recomienda la revisión de los documentos prEN 15643-1 y prEN 15643-2).

La complejidad de la aplicación de la metodología de ACV, especialmente en relación a la disponibilidad de datos fiables y representativos de los numerosos materiales involucrados en el sector de la construcción, se ha reflejado en un cierto retraso en su introducción con respecto a la mayoría de sectores industriales, si bien desde finales de los 90 ha experimentando un fecundo desarrollo (Eaton y Amato, 1998). Un ejemplo de ello lo constituyen los trabajos de Cole de evaluación ambiental de diferentes materiales estructurales (Cole y Kernan, 1996; Cole, 1999). Buchanan y Honey realizaron una investigación similar en Nueva Zelanda (Buchanan y Honey, 1994). Más recientemente, destacan los primeros trabajos que incorporan la aproximación al ciclo de vida de la edificación (Blanchard y Reppe, 1998; Adalberth, 2000; Keoleian *et al*., 2001).

La gran mayoría de los trabajos previos realizados están orientados a la determinación del consumo de energía primaria para la energía incorporada en los materiales, independientemente de su aplicación. Otros trabajos han examinado la relación entre energía incorporada en el material de construcción (inicial y de reposición) y energía de funcionamiento (Adalberth, 1997; Pierquet *et al*., 1998; Suzuki y Oka, 1998), o el papel que desempeñan los materiales de construcción en el calentamiento global (Buchanan y Levine, 1999).

Actualmente, si bien continúan existiendo importantes lagunas acerca del impacto ambiental de las actividades previas (extracción, manufactura y transporte) y posteriores (deconstrucción, disposición final) de un gran número de materiales y procesos, el conocimiento en estas áreas está notablemente desarrollado y se manifiesta una clara necesidad de uniformizar criterios para establecer una referencia metodológica común, a nivel internacional, que establezca las directrices para la evaluación ambiental de la edificación.

En la Tabla 12.1 se muestran las categorías de impacto para las que existe un mayor consenso en los referentes de ACV a nivel internacional, tanto en el ámbito científico como de desarrollo normativo.

Categoría	prEN 15804	ISO 21930	ILCD
Calentamiento Global	X	X	x
Agotamiento ozono estratosférico	X	X	x
Acidificación	X	X	x
Eutrofización	X	X	x
Formación ozono fotoquímico	X	X	x
Agotamiento recursos no renovables	X		(*)
Toxicidad humana			x
Radiación ionizante			x
Uso del suelo			x

(*) Consumo de recursos

Tabla 12.1.- Categorías de impacto consensuadas.

Estas categorías son las contempladas por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) en la norma ISO 21930, el Comité CEN/TC 350 "Sustainability of construction works" (prEN 15804) y el Sistema de referencia internacional de datos de ciclo de vida de la plataforma europea de ACV (International Reference Life Cycle Data System) desarrollado por el Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability (http://ies.jrc.ec.europa.eu/). En esta dirección, cabe prestar especial atención al documento de "método de cálculo" (prEN 15978:2011 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation methods), desarrollado en el seno del Comité CEN/TC 350 (AEN/CTN 198), puesto que constituirá la referencia metodológica para la futura norma europea de construcción sostenible.

12.5.- VALORACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL DE LOS PRODUCTOS DE LA MADERA

En el contexto específico de los productos de madera, es indiscutible el papel que su empleo en la construcción puede desempeñar como contribución para alcanzar los objetivos de reducción de gases de efecto invernadero fijados en el protocolo de Kioto, no sólo aumentando el sumidero de carbono de los productos derivados de la madera, sino también disminuyendo las fuentes de carbono mediante la sustitución de los productos cuya fabricación requiere un gran consumo de energía y de los combustibles fósiles por productos derivados de la madera (Bermúdez *et al.*, 2007). El balance de CO_2 de los materiales de construcción está condicionado principalmente por los siguientes factores:

- La energía usada en la producción del material o producto.
- La capacidad del producto para ahorrar energía durante la utilización del edificio.
- El reciclaje y desecho final de los materiales o productos.

Gustavsson y Sathre (2006) analizaron los factores que afectan a los balances de energía y CO_2 de los materiales de construcción en todo su ciclo de vida, mostrando un reducido consumo energético y unas bajas emisiones de CO_2 para el uso de madera en la construcción. En este trabajo se concluye que el empleo de madera se presenta como una vía efectiva para la reducción del consumo de combustibles fósiles y las emisiones netas de CO_2 a la atmósfera.

En la misma línea se pronuncian los resultados del análisis comparativo de diversas tipologías de construcción en Japón realizado por Gerilla *et al*. (2007). En dicho trabajo se analiza, entre otras, una típica construcción con madera, concluyendo que, en términos de empleo de energía y emisiones atmosféricas, esta tipología constructiva y los materiales en base a madera empleados generan un reducido impacto medioambiental.

El Instituto ATHENA de materiales sostenibles en USA (ATHENA Sustainable Materials Institute) ha analizado el impacto medioambiental que produce la construcción de una casa utilizando una estructura de madera. El análisis se realizó conforme a 6 parámetros clave: la energía consumida (toda la energía necesaria para extraer, fabricar y suministrar el producto); la toxicidad provocada en el aire; la toxicidad provocada en el agua; el peso neto del recurso utilizado; los desperdicios sólidos producidos. La investigación concluyó que una casa construida con estructura de madera presenta un comportamiento ambientalmente favorable en relación a los cinco primeros parámetros.

Ampliando la perspectiva de análisis e incorporando aspectos económicos y metodológicos de mayor complejidad, cabe destacar la labor investigadora realizada por Petersen y Solberg (2005). Su trabajo refleja la revisión del estado de arte de los Análisis de Ciclo de Vida (ACV) realizados en Noruega y Suecia, comparando los impactos ambientales de productos de madera y materiales alternativos, con énfasis en las emisiones de gases de efecto invernadero, aspectos económicos y metodológicos. En todos los estudios recogidos en esta revisión, la madera se presenta como una excelente opción en relación a las emisiones de gases de efecto invernadero (categoría de cambio climático). Adicionalmente, el empleo de madera ocasiona reducidas emisiones de SO_2 y genera una cantidad inferior de residuos.

Más recientemente, Werner y Ritcher (2007) abordaron la revisión de los resultados de aproximadamente 20 años de investigación a nivel internacional en relación al impacto ambiental del ciclo de vida de los productos de madera empleados en el sector de la construcción, comparando estos resultados con productos alternativos equivalentes desde el punto de vista funcional. Los resultados de este estudio ponen de manifiesto que en muchas aplicaciones los productos de la madera aportan un comportamiento muy favorable y son, por tanto, materiales a ser tenidos muy en cuenta en una estrategia de minimización del impacto ambiental del proceso constructivo. Respecto del ACV del edificio en su conjunto, los materiales empleados en áreas de aplicación impropias de la madera dominan el perfil ambiental del edificio. Los productos de madera que han sido instalados y empleados de manera adecuada, tienden a presentar un comportamiento

ambiental favorable en comparación a otros productos. Como conclusión general, dadas las diferencias encontradas en cuanto a límites del sistema, simplificaciones y otras hipótesis, los autores señalan la importancia de establecer un criterio común para la toma de decisiones de los diferentes actores involucrados en el sector de la construcción.

A la luz de las exigencias metodológicas de la futura norma europea de construcción sostenible, la comparación de productos alternativos ha de ser abordada a partir de una correcta definición de la unidad funcional (concepto referido en la norma como "equivalente funcional"), para garantizar que las cargas ambientales se minimizan y reducen eficazmente desde el punto de vista del impacto ambiental global. La Norma ISO 14040 define *unidad funcional* como la

> "*cuantificación de la función de un sistema del producto, servicio o actividad, que se utiliza como unidad de referencia en el estudio de ACV*".

En un sentido matemático, la unidad funcional sirve como referencia para las entradas y salidas del sistema, de modo que asegura que éstas puedan ser comparadas con las entradas y salidas de otro sistema cuando se trata de estudios comparativos. Una vez se ha definido correctamente la unidad funcional, para hacer efectiva la comparación entre materiales y sus potenciales sustitutos, es necesario considerar los balances de materia y energía, desde la cuna (extracción de materias primas) a la tumba (disposición final).

Resulta evidente que la calidad de los resultados obtenidos en un estudio comparativo está supeditada al poder disponer de datos fiables y representativos de los procesos asociados. Actualmente existen trabajos de investigación publicados y bases de datos de uso generalizado por la comunidad científica que proporcionan los datos de inventario (entradas y salidas de de flujos al medio ambiente) de los productos de madera de uso más común en la construcción (Rivela *et al*., 2006b; Rivela *et al*. 2007; Werner *et al*. 2007). Los datos del inventario (entradas y salidas) se clasifican en función de la/s categoría/s de impacto ambiental a las que contribuyen.

Posteriormente, la caracterización consiste en la aplicación de modelos para obtener un indicador ambiental en cada categoría de impacto, unificando a una única unidad de referencia todas las sustancias clasificadas dentro de cada categoría mediante el empleo de factores de equivalencia. En la Tabla 12.2 se muestran, a modo de ejemplo, los perfiles ambientales de algunos de los principales productos de madera empleados en la construcción, considerando las categorías de impacto señaladas por la futura norma europea de construcción sostenible.

El análisis de los datos de la Tabla 12.2 nos permite tomar conciencia del efecto de la densidad de la madera en el perfil ambiental de la misma y muy especialmente en la categoría de "Calentamiento global", ya que la mayor densidad de la madera de pino (450 kg/m^3) frente a la de abeto (390 kg/m^3) hace que la cantidad de CO_2 almacenado en su interior sea mayor, demostrando la existencia (como es lógico) de una relación directa con

la densidad. Por otra parte, la comparación del perfil de la madera laminada de abeto con el de la madera aserrada de abeto con la que está fabricada permite observar el efecto que tiene la energía empleada para la transformación y el de los tratamientos efectuados para el encolado y mejora de la durabilidad (los datos se han aportado para madera laminada destinada a aplicaciones en clase de servicio 3 de la norma UNE EN 386).

	Madera aserrada (abeto)	Madera aserrada (pino)	M. laminada encolada CU 3 (abeto)	Tableros contra chapados	Tableros OSB	Tableros de partículas	Tableros de Fibras MDF	Tableros de madera cemento
Agotamiento de recursos abióticos kg Sb eq	0,23	0,27	1,75	5,63	3,47	3,86	4,77	2,82
Acidificación kg SO_2 eq	0,27	0,31	1,28	3,48	1,33	1,29	1,99	1,35
Eutrofización kg PO_4^{-2} eq	0,02	0,03	0,21	0,62	0,20	0,17	0,23	0,20
Calentamiento global kg CO_2 eq	-743,54	-857,93	-591,18	-500,75	-569,12	-852,81	-953,00	437,49
Agotamiento capa de ozono kgCFC-11 eq $*10^{-5}$	2,24	2,59	2,04	6,75	1,45	1,72	4,59	3,04
Oxidación fotoquímica kg C_2H_4	0,02	0,02	0,09	0,27	0,20	0,21	0,12	0,07

Tabla 12.2.- Perfil ambiental de productos de madera (unidad funcional 1 m^3)

Con respecto a los restantes datos de la Tabla 11.2, las diferentes familias de productos, salvo la correspondiente a los tableros de madera cemento, están dispuestas por orden creciente de fragmentación estructural, es decir, que sus respectivos perfiles reflejan el efecto de la energía invertida en el procesamiento (creciente), pero compensada, en parte, por la densidad creciente que estos productos reconstituidos tienen (un tablero de partículas estructural puede tener una densidad media de 650 kg/m^3 o uno de fibras MDF alcanza valores superiores, lo que incrementa notablemente la cantidad de madera contenida en su seno para la misma unidad funcional).

Efectuando lecturas horizontales de los datos se podrán extraer conclusiones acerca del efecto de la cantidad de madera contenida por unidad funcional (m^3), del creciente consumo de energía de proceso o del uso de crecientes cantidades de adhesivos. También se podrá apreciar cómo el perfil ambiental de los tableros de madera-cemento (en este caso de tipo aislante –no estructural- fabricado con lana de madera y magnesita) es totalmente distinto al del resto de productos, aunque todavía muy favorable.

Los datos de la Tabla 12.2 deben ser tomados con la reserva lógica de su procedencia de una base de datos de tipo general (Ecoinvent), ya que para fabricaciones específicas el perfil puede verse alterado por el tipo de madera empleado, el adhesivo

usado, los tratamientos incorporados o el consumo energético aplicable a cada unidad funcional.

12.6.- RECOMENDACIONES PARA UN USO SOSTENIBLE Y EFICIENTE DE LOS PRODUCTOS TÉCNICOS DE LA MADERA PARA LA CONSTRUCCIÓN

Lo primero que es necesario tomar en consideración es el conocimiento y uso de la normativa europea y nacional que gravita sobre la aplicación de estos productos y que se encuentra referenciada, en su gran mayoría, en el Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Seguridad Estructural "Estructuras de madera" DB-SEM.

Un aspecto que suele confundir inicialmente a los "no iniciados" en los productos de la madera es la distinción entre "Clases de servicio" y "Clases de uso" y, sin embargo, esta distinción es importante porque no hay nada que afecte más a la sostenibilidad de un producto que su uso correcto.

Las **clases de servicio** están relacionadas con la permanencia (la integridad estructural) y el comportamiento elastomecánico del elemento de madera en las condiciones de temperatura y humedad ambientales en las que un elemento estructural presta su servicio y, por tanto, con el contenido de humedad de equilibrio con el que dicho elemento trabaja. En el caso de los productos encolados (madera laminada encolada, LVL, tableros, etc.) esto es importante no sólo para el cálculo (recordemos que la madera húmeda tiene un módulo de elasticidad inferior y, por tanto, mayor flecha y fluencia a igualdad de carga), sino también para su integridad y seguridad estructural (no todos los tipos de adhesivos están capacitados para trabajar en condiciones de humedad elevada). Las clases de servicio quedan definidas en el apartado 2.2.2.2 del DB-SE M del Código Técnico de la Edificación y en la norma Norma UNE-ENV 1995-1 como sigue:

a) **Clase de Servicio 1**. Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de 20±2°C y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 65% unas pocas semanas al año. En la clase de servicio 1 la humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas no excede el 12%. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera expuestas a un ambiente interior (bajo cubierta y con cerramientos perimetrales).

b) **Clase de Servicio 2**. Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de 20±2°C y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 85% unas pocas semanas al año. En la clase de servicio 2 la humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas no excede el 20%. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera a cubierto, pero abiertas y expuestas al ambiente exterior, como es el caso de cobertizos y viseras. Las piscinas cubiertas, debido a su ambiente húmedo, encajan también en esta clase de servicio.

c) **Clase de Servicio 3**. Condiciones ambientales que conduzcan a contenido de humedad superior al de la clase de servicio 2. En la clase de servicio 3 la humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas excede el 20%. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera expuestas a un ambiente exterior sin cubrir. Las pérgolas sin cubrición, las pasarelas (no en contacto con el suelo), las vigas que vuelan al exterior son aplicaciones típicas de esta clase de servicio, siempre y cuando se pueda asegurar por diseño que el agua no se acumula en ningún punto del elemento o de las uniones.

El conocimiento de la clase de servicio en la que va a trabajar el elemento estructural, junto con la duración de las cargas, permite asignar los valores del k_{def} y k_{mod} propios de cada material, necesarios en el cálculo para determinar la deformación diferida y el valor característico de cálculo de la resistencia del elemento. Además de lo anteriormente citado, que hace referencia al cálculo, en las normas de producto el conocimiento de la clase de servicio permite determinar la calidad de encolado más adecuada.

En lo que hace referencia al concepto de **clases de uso** (anteriormente conocidas como clases de riesgo), éste viene definido en las distintas partes de la norma europea Norma UNE-EN 335, haciendo referencia al riesgo de ataque por organismos xilófagos (especialmente hongos) que tiene un producto de la madera cuando trabaja en unas determinadas condiciones de entorno. Aunque su definición definitiva está todavía (mayo 2011) en debate en el seno del Comité Europeo de Normalización, en la actualidad se contemplan 5 clases principales, algunas de las cuales se subdividen en dos más. Seguidamente se exponen los criterios más adecuados que deben llevar a una correcta asignación de la clase de uso:

a) **Clase de Uso 1**: Situación en la cual la madera está al interior, íntegramente protegida de la intemperie y no expuesta a humidificación. En general en esta situación, las maderas presentan una humedad media de equilibrio entre 6 y 12%. Ejemplos: vigas o pilares en el interior de edificios. En estas condiciones el riesgo de ataque por mohos superficiales, por hongos cromógenos o por hongos xilófagos es insignificante y siempre accidental. Los ataques por insectos xilófagos, incluyendo las termitas(no termitas de madera húmeda), son posibles, dependiendo su frecuencia e importancia de la situación geográfica.

Clase de Uso 2: el elemento estructural está a cubierto y protegido de la intemperie pero, debido a las condiciones ambientales, se puede dar ocasionalmente un contenido de humedad de la madera mayor que el 20 % en parte o en la totalidad del elemento estructural que puede conducir a una humidificación no persistente (por ej. Condensación). El secado de la madera debe ser posible y rápido. En general en esta situación, las maderas presentan una humedad media de equilibrio entre 12 y 18%. Ejemplos: estructura de una piscina cubierta en la que se mantiene una humedad ambiental elevada con condensaciones ocasionales y elementos estructurales próximos a conductos de

agua. En estas circunstancias es posible el ataque de hongos cromógenos y xilófagos. El riesgo de ataque por insectos es el mismo que en la Clase de uso 1.

b) **Clase de Uso 3**: el elemento estructural se encuentra al descubierto, pero alejado del contacto con el suelo. El contenido de humedad de la madera en estas condiciones puede superar el 20%. En estas circunstancias es posible el ataque de hongos cromógenos y xilófagos. El riesgo de ataque por insectos es el mismo que en la Clase de uso 1. Esta clase se puede subdividir en dos:

C.U.3.1 Situación en la cual el elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo (mínimo 20-30 cm) y protegido, es decir sujeto a medidas de diseño y constructivas destinadas a impedir una exposición excesiva a los efectos directos de la intemperie, inclemencias atmosféricas o fuentes de humedad. Es decir, que el elemento no está en contacto con el suelo al exterior pero sí sometido a una humectación frecuente en períodos de corta duración (días) permitiendo el diseño una rápida y completa evacuación del agua. El secado de la madera tras su humectación debe ser completo entre periodos. En estas condiciones la humedad de la madera puede superar ocasionalmente el contenido de humedad del 20%. En estas condiciones el riesgo de que los elementos de madera permanezcan húmedos durante largo tiempo es reducido. Ejemplos: viga que vuela al exterior pero que en su zona superior y testas están protegidas por una albardilla o piezas de sacrificio. En esta clase de uso los ataques por insectos xilófagos, incluyendo las termitas, son posibles, dependiendo su frecuencia e importancia de la situación geográfica.

Nota : Para ciertos diseños de evacuación de agua, parcialmente protegidos de la intemperie con una humectación ocasional por lluvia (por ejemplo, en los paramentos verticales en una longitud de hasta 2,5 veces el vuelo del alero), es admisible una asignación a Clase de uso 2

i. **C.U.3.2** Situación en la cual el elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo y no protegido, sometido a una humidificación muy frecuente durante periodos de tiempo significativos (semanas). No obstante lo anterior, el secado de la madera debe ser completo entre periodos de humidificación.. En estas condiciones, la humedad de la madera supera frecuentemente el contenido de humedad del 20%. En esta clase de uso el riesgo de que los elementos de madera permanezcan húmedos durante largo tiempo (semanas) es elevado pero las condiciones de humedad permanente no están permitidas. Ejemplos: cualquier elemento cuya cara superior o testa (ojo con as fendas de gran tamaño en los elementos horizontales, que pueden provocar embalsamientos cuasi-permanentes) se encuentre sometida a la acción directa del agua de la lluvia, pilar que sin estar empotrado en el suelo guarda con éste una distancia reducida y está sometido a salpicaduras de lluvia o acumulaciones temporales de nieve, etc. En esta clase de uso el riesgo

de ataque de **termitas** es elevado, , dependiendo su frecuencia e importancia de la situación geográfica., motivo por lo cual deberán adoptarse o medidas de protección por diseño (barreras) o la madera deberá incorporar un tratamiento efectivo.

Nota: En esta clase de uso y considerando la necesidad de aplicar tratamientos preventivos en toda la albura de la pieza, sólo se emplearán maderas permeables (por ejemplo pinos), evitándose el empleo de maderas refractarias (por ejemplo picea o abeto).

c) Clase de Uso 4: Situación en la cual el elemento estructural está:

1. En contacto DIRECTO (o empotrado) con el suelo o con un soporte sujeto a humidificación recurrente (ascensos capilares, soportes sujetos a estancamientos de agua,…).
2. En contacto con el agua dulce en inmersión parcial (lagos, ríos, embalses,…).
3. Exposición a la intemperie con un diseño tal que conduzca a importantes estancamientos de agua en contacto con el elemento (Ejemplo, cara superior horizontal de piezas de grandes dimensiones, provistas de grandes fendas y ubicadas en zonas de clima muy húmedo) o a un almacenamiento de la misma (uniones no drenantes).

Ejemplos: construcciones en agua dulce y pilares en contacto directo con el suelo; En estas condiciones el riesgo por ataque de hongos xilófagos y termitas es elevado, motivo por lo cual deberán adoptarse o medidas de protección por diseño o la madera deberá incorporar un tratamiento efectivo.

Nota: Los productos de la madera que se encuentran permanentemente por debajo del nivel del agua y que, por tanto, se encuentran permanentemente saturados de agua no son susceptibles de ser atacados por hongos aunque sí por bacterias.

e) Clase de Uso 5: situación en la cual el elemento estructural está permanentemente en contacto con agua salada. En estas circunstancias el contenido de humedad de la madera es mayor que el 20%, permanentemente. Ejemplo: construcciones en agua salada (pantalanes, muros de contención, etc.).

Nota: En estas circunstancias el riesgo de ataque por invertebrados marinos es el principal problema, especialmente en aguas templadas donde organismos, tales como Limnoria spp. y Teredo spp. Pueden causar grandes daños. Ataques por hongos xilófagos, mohos y hongos cromógenos es también posible. Las partes aéreas (por encima del nivel del agua) de ciertos componentes, por ejemplo los pilotes, pueden estar también expuestos al ataque de insectos perforadores.

Definida correctamente la clase de servicio más adecuada a las condiciones de uso es necesario tener en cuenta que, en edificación, el DB-SEM del CTE establece para los elementos estructurales en madera, cuáles deben ser las penetraciones y retenciones de

producto protector más adecuadas. Para construcción civil y elementos de jardinería y paisajismo, así como para las carpinterías exteriores en madera, al no existir normativa de obligado cumplimiento, se estará a lo establecido en el CTE (especialmente respecto de los elementos con función estructural, por ejemplo en puentes y pasarelas) si bien ponderando la decisión de acuerdo con las expectativas de vida media en servicio y con la dificultad de la reposición del elemento.

La figura 12.1 siguiente recoge un posible árbol de toma de decisiones respecto de la durabilidad de la solución adoptada:

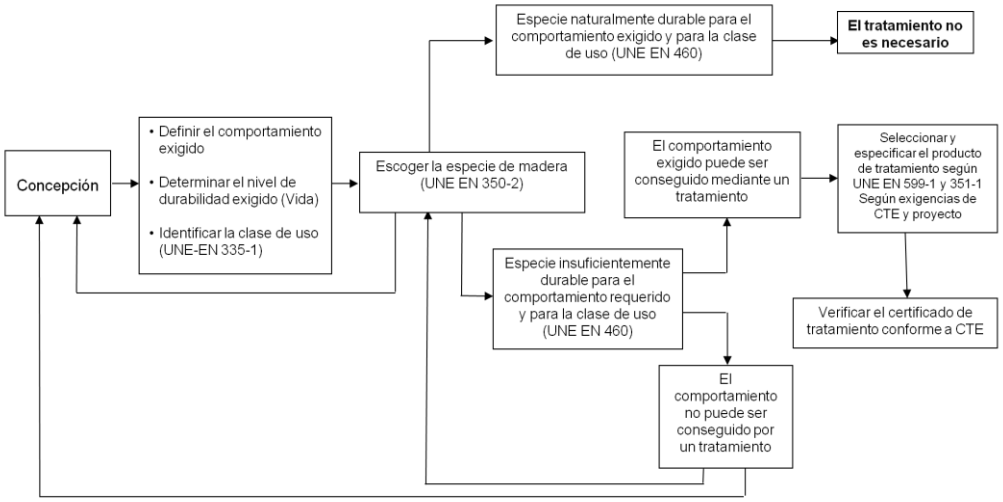

Figura 12.1.- Árbol de toma de decisiones (FCBA adaptado por los autores).

Seguidamente, en la Tabla 12.3 se muestra una relación no exhaustiva de las clases de uso y servicio de las diversas familias de productos técnicos de la madera para la construcción.

De acuerdo con todo lo anterior no bastará con que en el proyecto se defina la clase de servicio, ya que esto afectará nada más que al cálculo y la calidad del encolado (si lo hay), además de ello habrá que definir la clase de uso en la que vaya a trabajar el elemento de madera ya que esto último, y sólo esto último, permitirá definir la mejor estrategia posible para la protección del elemento (bien por durabilidad natural, por diseño o por tratamiento).

Todo lo anteriormente citado hay que usarlo con criterio técnico ya que el clima en el norte de España es distinto al del sur y, por ello, puede ocurrir que una misma solución constructiva pueda ser asignable a clases de uso distintas. Cuando en edificación se llega a definir una clase de servicio 4 para el elemento estructural significa que, en la mayoría de los casos, no se han considerado todos los aspectos necesarios en el diseño. En estos casos es necesario incorporar tratamientos químicos a la madera que, obviamente, empeorarán algunos de sus indicadores medioambientales.

Productos	Familias de producto Norma de calidad	Tipo	Clases de	
			Servicio	**Uso**
Tableros	**Madera maciza** UNE-EN 12775	SWP1 SWP2 SWP3	1 2 3	1 2 4
	Contrachapado UNE-EN 636	1 (seco) 2 (húmedo) 3 (exterior)	1 2 3	1 2 4/5
	Virutas orientadas UNE-EN 300	OSB 2 OSB 3 OSB 4	1 2 2	1 2 2
	Partículas UNE-EN 312	P4 P5 P6 P7	1 2 1 2	1 2 1 2
	Fibras duros UNE-EN 622-2	HB. LA HB.HLA1 y 2	1 2	1 2
	Fibras media densidad UNE-EN 622-5	MDF.LA MDF.HLS	1 2	1 2
	Fibras semiduros UNE-EN 622-3	MBH.LA1 y 2 MBH.HLS1 y 2	1 2	1 2
	Madera cemento UNE-EN 634-1&2/633	CPO	2	3
	Contralaminados Chupas	Para CU2 incorporar tratamientos superficiales	1&2	1 2
Tableros&Perfiles	**Microlaminados** (LVL) UNE-EN 14374 (perfiles)	Para CU2 incorporar tratamientos superficiales	1&2	1&2
Madera aserrada	**Madera aserrada** UNE-EN 14081-1	Tratada en función de clases de uso	1 2 3 3 3	1 2 3 4 5
Madera Laminada Encolada	**Madera laminada encolada** UNE-EN 14080	Tratada en función de clases de uso	1&2 1&2 3	1 2 3

Tabla 12.3.- Clases de uso y de servicio de productos técnicos de la madera para la construcción (Arriaga et al, 2010. Tabla adaptada por los autores)

12.7.- CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Todos los datos y argumentos presentados, así como los procedentes de la bibliografía citada, ponen de manifiesto que los perfiles medioambientales de los productos de la madera en aplicaciones en las que los materiales se encuentran dentro de sus rangos lógicos de aplicación, presentan un comportamiento muy favorable desde la óptica de la sostenibilidad, de lo que se deduce que los productos de la madera son

materiales a ser tenidos muy en cuenta en una estrategia de minimización del impacto ambiental del proceso constructivo.

AGRADECIMIENTOS

Con estas líneas se quiere agradecer al Dr.Klaus Richter, del EMPA (Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, Wood Laboratory), por los datos remitidos y parcialmente utilizados en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFIA

Adalberth, K. (1997): *Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: examples*. Building and Environment 32(4), 321–329.

Adalberth, K. (2000): *Energy Use and Environmental Impact of new Residential Buildings*. Department of Building Physics, Lund University, Lund (Sweden).

Arriaga, F.; Esteban, M.; Íñiguez, G. (2010). *Guía de Construir con madera*: *Productos de madera para la construcción* (78 pp.). Documentos de Aplicación del CTE ISBN: 978-84-693-1289-6. https://www.aulamadera.es.

Bermúdez J.D., Canals G, Fernández P, Fernández A (2007): *El sector de la madera y el cambio climático*. Ed. ANFTA - Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros.

Blanchard, S., Reppe, P. (1998): *Life Cycle Analysis of a Residential Home in Michigan*. School of Natural Resources and Environment, University of Michigan, Ann Arbor, MI.

Bowyer J. (1995): *Wood and other raw materials for the 21st century*. Forest Prod J 45 (2) 17–24.

Buchanan, A., Levine, S.B. (1999): *Wood-based building material and atmospheric carbon emissions*. Environmental Science and Policy 2, 427–437.

Buchanan, A., Honey, B. (1994): *Energy and carbon dioxide implications of building construction*. Energy and Buildings 20, 205–217.

Canals, G. (2011) Análisis comparado y evaluación de la cantidad de carbono secuestrado por el sector de los tableros en España bajo el marco contextual del protocolo de Kioto. Tesis Doctoral en la Universidade de Vigo.

Cole, R. (1999): *Energy and greenhouse gas emissions associated with the construction of alternative structural systems*. Building and Environment 34, 335–348.

Cole, R.J., Kernan, P.C. (1996): *Life-cycle energy use in office buildings*. Building and Environment 31(4), 307–317.

Eaton, K.J., Amato, A. (1998): *A comparative life cycle assessment of steel and concrete framed office buildings*. Journal of Constructional Steel Research 46(1–3), 286–287.

Gerilla, G.P., Teknomo, K. , Hokao, K. (2007): *An environmental assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction*. Building and Environment 42, 2778-2784.

Gustavsson, L., Sathre, R. (2006): *Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials*. Building and Environment 41, 940-951.

ILCD Handbook. International Reference Life Cycle Data System. General guide for Life Cycle Assessment. Detailed guidance. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, 2010.

Keoleian, G., Blanchard, S., Reppe, P. (2001): *Life-cycle energy, costs, and strategies for improving a single-family house*. Journal of Industrial Ecology 4(2), 135–156.

Kofoworola, O.F.. Gheewala, S.H. (2008): *Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand*. International Journal of Life Cycle Assessment 13, 498-511.

Macías, M., García Navarro. J. (2010): *Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios*. Informes de la Construcción 62 (517), 87-100.

ONU (1987) *Our Common Future. World Commission on Environment and Development, Naciones Unidas* (conocido como Informe Brundtland).

Petersen A.K., Solberg, B. (2005): *Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden*. Forest Policy Econ 7 (3) 249–259.

Pierquet, P., Bowyer, J., Huelman, P. (1998): *Thermal performance and embodied energy of cold climate wall systems*. Forest Products Journal 48(6), 53–60.

prEN 15643-1 Sustainability of construction works - Integrated assessment of building performance. Part 1: General framework.

prEN 15643-2 Sustainability of construction works - Assessment of buildings - Part 2: Framework for the assessment of the environmental performance.

prEN 15804. Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Product category rules.

prEN 15978:2011. Sustainability of construction works — Assessment of environmental performance of buildings — Calculation method

Rivela, B., Moreira, M.T., Feijoo, G. (2007): *Life Cycle Inventory of Medium Density Fiberboard: A Case Study in the Wood Sector*. International Journal of Life Cycle Assessment 12 (3), 143-150.

Rivela, B., Moreira, M.T., Muñoz, I., Rieradevall, J., Feijoo, G. (2006a): *Wood Waste from Ephemeral Architecture: Using Life Cycle Assessment to Identify the Best Choice*. Science of Total Environment 357, 1-11.

Rivela, B., Hospido, A., Moreira, M.T., Feijoo, G. (2006b): *Life Cycle Inventory of Particleboard: a case study in the wood sector.* International Journal of Life Cycle Assessment 11(2), 106-113.

Scheuer, C., Keoleian, G.A., Reppe, P. (2003): *Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications.* Energy and Buildings 35, 1049–1064.

Skodras G., Grammelies P., Kakaras E., Sakellaropoulos G.P. (2004): *Evaluation of the environmental impact of waste wood co-utilisation for energy production*. Energy 29, 2181–2193.

Stael G.C., Tavares M.I.B., d'Almeida J.R.M. (2001): *Impact behaviour of sugarcane bagasse waste-EVA composites*. Polymer Testing 20, 869–872.

Suzuki, M., Oka, T. (1998): *Estimation of life cycle energy consumption and CO_2 emission of office buildings in Japan*. Energy and Buildings 28 (1), 33–41.

UNE-EN 300:1997. Tableros de virutas orientadas (OSB). Definiciones, clasificación y especificaciones.

UNE-EN 312:2004. Tableros de partículas. Especificaciones

UNE-EN 335-1:2007. Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Definición de las clases de uso. Parte 1: Generalidades.

UNE-EN 335-2:2007. Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Definición de las clases de uso. Parte 2: Aplicación a la madera maciza.

UNE-EN 386:2002. Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación.

UNE-EN 622-1:2004 Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 1: Especificaciones para los tableros semiduros

UNE-EN 622-2:2004 Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 2: Especificaciones para los tableros de fibras duros

UNE-EN 622-3:2005 Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 3: Especificaciones para los tableros de fibras semiduros

UNE-EN 622-4:2010. Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 4: Especificaciones para los tableros de fibras blandos.

UNE-EN 622-5:2010. Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 5: Especificaciones para los tableros de fibras fabricados por el proceso seco.

UNE-EN 633:1995. Tableros de partículas aglomeradas con cemento. Definición y clasificación.

UNE-EN 634-1:1996. Tableros de partículas aglomeradas con cemento. Especificaciones. Parte 1: Especificaciones generales.

UNE-EN 634-2:2007. Tableros de partículas aglomeradas con cemento. Especificaciones. Parte 2: Especificaciones para los tableros de partículas aglomeradas con cemento Portland ordinario para utilización en ambiente seco, húmedo y exterior.

UNE-EN 636:2004. Tableros contrachapados. Especificaciones.

UNE-EN 12775:2001. Tableros de madera maciza. Clasificación y terminología.

UNE-EN-ISO 14040:2006. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia.

UNE-EN 14080:2006. Título español Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Requisitos.

UNE-EN 14081-1:2006. Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales.

UNE-EN 14374:2005. Estructuras de madera. Madera microlaminada (LVL). Requisitos.

UNE 162001:2007. Gestión forestal sostenible. Vocabulario, terminología y definiciones

UNE 162002-2:2007. Gestión forestal sostenible. Criterios e indicadores. Parte 2: Complementarios para la evaluación a escala regional.

UNE 162003:2001. Gestión forestal sostenible. Criterios de cualificación de auditores forestales.

UNE 162004:2001. Gestión forestal sostenible. Criterios de cualificación de las entidades de certificación.

UNE-ISO 21930:2010. Sostenibilidad en la construcción de edificios. Declaración ambiental de productos de construcción.

Werner F., Althaus H.-J., Künniger T., Richter K., Jungbluth N. (2007): *Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material. Final report ecoinvent data v2.0*. Volume: 9. Swiss Centre for LCI, Empa - TSL. Dübendorf, CH.

Werner F., Richter K. (2007): *Wooden Building Products in Comparative LCA. A Literature Review*. International Journal of Life Cycle Assessment 12 (7) 470–479.