

ASSESSMENT MODEL OF SUSTAINABILITY IN WOOD STRUCTURES

Cuadrado Rojo, J.; Larrauri Gil, M.; Marcos Rodriguez, I.; García Larrañaga, H.

Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

The construction sector is one of the largest generators of environmental impact due to the large consumption of materials, energy, as well as the condition which is generated in the natural environment, therefore in this sector there are a lot of sustainability quantification tools. In this sense, the Spanish Code is a worldwide pioneer for having two annexes for assessing the sustainability of materials such as concrete (EHE-08) and steel (SEA-11).

There are a lot of materials on the market because of its natural origin are called "sustainable", either for its durability, low maintenance, or may need, and other cases is due to its ability to be reused, recycled or fully recover. Use of these materials must be right.

Wood is a sustainable material, being natural, renewable, recyclable, biodegradable, good insulation, non-toxic and requires little energy for processing. But to ensure these properties requires some control in the stages of design and construction. This paper shows a methodology for assessing sustainability in wood structures

Keywords: *sustainability; wooden structures; evaluation model*

MODELO DE EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN ESTRUCTURAS DE MADERA

El sector de la construcción es uno de los mayores generadores de impacto ambiental en el entorno, debido al gran consumo de materiales, energía, así como la afección que se genera en el medio natural, hace que para este sector existan una gran cantidad de herramientas de cuantificación de la sostenibilidad. En este sentido la normativa española es pionera a nivel mundial al disponer de una serie de anejos que permiten evaluar la sostenibilidad en materiales como el Hormigón (EHE-08) y en acero (EAE-11).

Existe una gran cantidad de materiales en el mercado que debido a su procedencia natural se denominan "sostenibles", bien sea por su mayor durabilidad, o el escaso mantenimiento que puedan necesitar, e otros casos es debido a su posibilidad de reutilizarse, reciclarse o incluso recuperarse por completo. El uso de estos materiales debe ser el adecuado.

La madera es un material sostenible, por ser natural, renovable, reciclable, biodegradable, buen aislante, no tóxico y que requiere poca energía para su transformación. Pero garantizar estas propiedades requiere de cierto control en las fases de proyecto y de ejecución. En el presente artículo se muestra una metodología para la evaluación de la sostenibilidad en las estructuras de madera

Palabras clave: *sostenibilidad; estructuras de madera; modelo de evaluación*

Correspondencia: Jesús Cuadrado: jesus.cuadrado@ehu.es

1. Introducción

El uso de la madera ha estado siempre relacionado a la actividad humana, en sus orígenes le sirvió para realizar armas con las que cazar, fuego para calentarse, o pequeños refugios donde cobijarse. Con el paso del tiempo, fue mejorando las técnicas constructivas realizando edificios de varias alturas y donde se podía apreciar la presencia de la madera como material estructural principal. Con la aparición de otros materiales como el hierro y posteriormente el hormigón y el acero, la madera se fue viendo desplazada ante las virtudes que presentaban éstos como una mayor resistencia, que no eran materiales combustibles y no eran atacados por agentes abióticos.

Con la actual problemática ambiental existente en el planeta, donde los recursos son más escasos, el entorno está sufriendo problemas asociados al calentamiento global, la lluvia acida o el agujero en la capa de ozono... Muchos de estos efectos, se pueden imputar al desarrollo de la actividad humana en nuestro planeta, y hoy en día hay una mayor concienciación en la sociedad con estos temas y esto se está plasmando en una gran cantidad de acciones encaminadas a reducir los impactos generados en el entorno.

En este sentido el sector de la construcción tiene mucho que decir, al ser uno de los principales degradadores de recursos naturales y energía. De hecho, hay muchas acciones que van encaminadas al uso de materiales más sostenibles, en un amplio sentido de la palabra, que sean reciclables, reutilizables o que sean renovables de forma natural como es el caso de la madera (Orbe et al, 2010). Como el paso de unos materiales a otros no puede hacerse de un día para otro, por los problemas que generaría en las industrias actuales, esto se va desarrollando de forma gradual y las empresas se van adaptando a la demanda de la sociedad, mejorando los productos teniendo en cuenta estos nuevos requisitos ambientales. Para poder analizar la sostenibilidad de los edificios se han desarrollado en las últimas décadas diferentes programas informáticos que permiten cuantificar el impacto ambiental de los edificios, algunas de estas herramientas también implementan la componente económica y social de estos procesos al ser los 3 pilares básicos de la sostenibilidad (Cuadrado et al, 2012). También en este sentido las administraciones de los diferentes países han tomado parte en este proceso y han ido estableciendo directivas y normativas que permitan generalizar este proceso de mejora como el Código Técnico de la Edificación (CTE, 2006).

Con relación al uso de la madera como material estructural, las características de este material, tanto desde el punto de vista resistente como ambiental, le convierten en un material idóneo para la realización de estructuras de edificación. Aunque es importante tener en cuenta, que como el resto de materiales ha de cumplir una serie de requisitos para que su utilización sea la más eficiente desde el punto de vista ambiental.

En el desarrollo de la metodología planteada, para la evaluación de la sostenibilidad, implementada para el caso de las estructuras de madera, permite obtener un valor numérico acotado entre 0 y 1 (0 mínimo y 1 máximo), para las diferentes soluciones estructurales (de madera) planteadas en un edificio, atendiendo a criterios de sostenibilidad y de todas ellas seleccionar aquella que tenga el mejor valor sostenible. En este sentido esta metodología no persigue comparar la madera como material estructural frente a otros materiales como son el hormigón o el acero. Sirve para plantear la valoración ambiental de la solución planteada en madera frente a otra solución resuelta en este mismo material pero donde se valore la mayor sensibilidad ambiental con la que se realice la misma

2.- Metodología de evaluación de la sensibilidad ambiental.

El análisis de la sostenibilidad dispone de una amplia gama de metodologías, de las cuales hay una parte importante que se centra principalmente en la componente ambiental, aunque cada vez más herramientas están implementando las componentes económica y social de la sostenibilidad.

También hay varios tipos de metodologías, aquellas que se encargan de realizar una valoración muy precisa de los impactos generados, utilizando habitualmente un análisis de ciclo de vida (ACV o LCA en inglés). Este tipo de herramientas exige un elevado conocimiento sobre todos los materiales utilizados en el edificio, con lo cual detrás de su utilización hay un inmenso trabajo de recopilación de datos. Y su aplicación se encuentra condicionada a los datos obtenidos (Todd et al, 2001). Como en todos los países las técnicas de fabricación, extracción de materias primas, o la propia generación de energía no son iguales, esto implica realizar para cada edificio un importantísimo trabajo de recopilación de todos los datos necesarios para la realización del análisis.

Otras metodologías de evaluación de la sostenibilidad son más sencillas de aplicar ya que se basan en comprobar que la construcción cumple una serie de requisitos que mejoran las características de la edificación, desde el punto de vista ambiental. En estos casos y mediante una lista de chequeo (Todd et al, 2001) se va generando una valoración del edificio, que sirve para conocer su adecuación hacia las buenas prácticas constructivas que mejoran la sostenibilidad.

Sea cual sea la metodología de evaluación a utilizar, en todos los modelos existentes se valoran diferentes criterios o acciones, que se encuentran relacionadas con diferentes partes del edificio, donde se pueden manejar diferentes unidades de medida de aquellas acciones denominadas cuantitativas. Es por ello, que la evaluación de la sostenibilidad, es susceptible de ser evaluada mediante técnicas multicriterio, donde la obtención de un valor final se encuentra ligada a la evaluación de diferentes criterios, cada uno con unidades de medida heterogéneas.

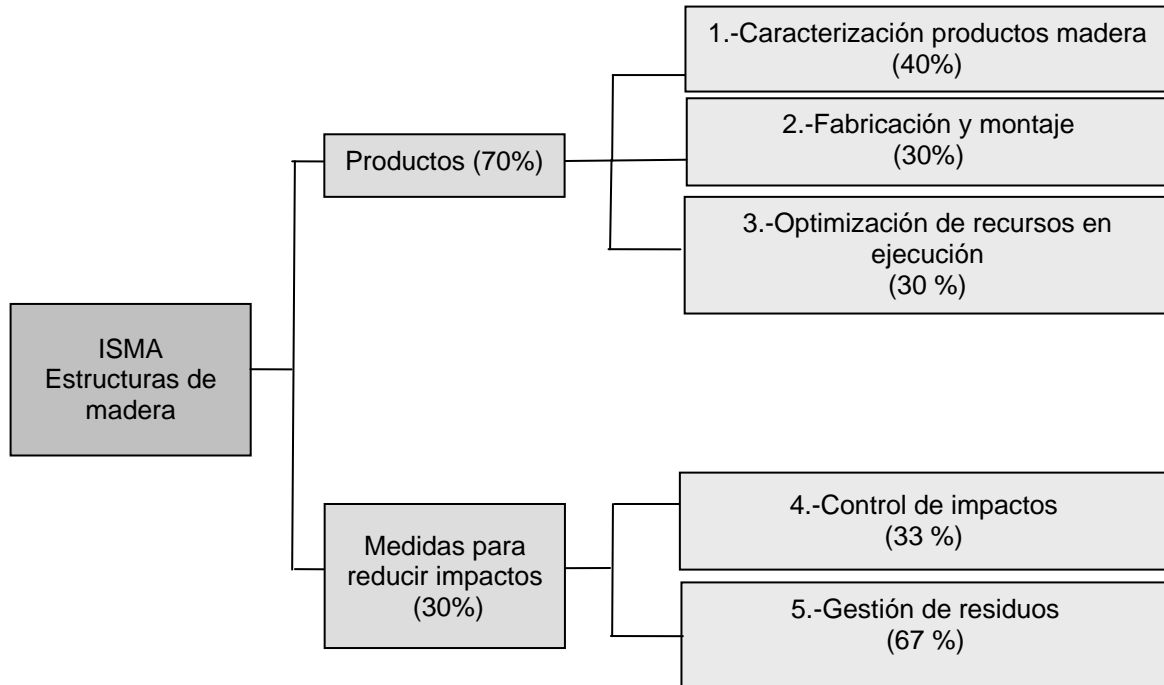
Este tipo de metodologías de toma de decisión ya se utilizan desde hace tiempo como herramientas de ayuda a la toma de decisión, en el ámbito empresarial, donde las condiciones del entorno están en continuo cambio y dependen de una gran cantidad de criterios, que pueden ser cuantitativos, cualitativos o una mezcla de ambos. El método AHP (Analytic Hierarchy Process) es un método de trabajo lógico y estructurado, que permite optimizar la toma de decisiones complejas, mediante la descomposición de un problema en una estructura jerárquica (Saaty, 1980). De esta forma se puede subdividir un determinado problema, en nuestro caso, la evaluación de la sostenibilidad, en un conjunto de criterios más sencillos de evaluar por separado (en nuestro caso, ambientales, económicos y sociales) y determinar cómo influyen cada uno de ellos en el objetivo final de la toma de la decisión.

Esa influencia se encuentra representada por la asignación de una serie de valores (en nuestro caso, serían los factores de ponderación: “pesos”) que se asigna a cada criterio e indicador. El método AHP permite realizar el establecimiento de dichos valores a través de comparaciones por pares, de cada uno de los criterios con el resto. Esto facilita la objetividad del proceso y permite reducir sustancialmente el uso de la intuición en la toma de decisiones (Johnny & Wong 2008).

El objeto final de la metodología planteada es establecer una forma de evaluar el índice de sensibilidad ambiental de un proyecto de estructuras de madera. Para ello se desarrolla inicialmente un árbol de valoración, con el que se realiza el cálculo del índice de sensibilidad ambiental, tal como se muestra en la figura 1, basándose en los coeficientes de ponderación presentes en el mismo, de cada uno de los indicadores propuestos en dicho árbol. Respecto a la ponderación que se presenta en dicha figura

responde al planteamiento de análisis de valor implícito en el proceso y desarrollado mediante procesos de Análisis Jerárquico de Procesos (AHP), (Cuadrado et al, 2012).

Figura 1: Árbol de valoración del índice de sensibilidad ambiental



En relación al árbol planteado, el primer paso a realizar consiste en establecer un sistema que permita valorar diferencialmente una obra respecto a otra, o para comparar entre sí, dos soluciones para ejecutar una determinada obra, de forma que en ambas situaciones, se esté pensando en utilizar en todos los casos una solución estructural resuelta en madera y considerando siempre la influencia de este material en la sostenibilidad. Para ello, se establecen un conjunto de diferentes criterios o parámetros, que se encuentran relacionados a efectos de sostenibilidad con:

- El uso de menores cantidades de madera, siendo compatible con las condiciones de cálculo establecidas por la normativa.
- Utilización de madera local.
- Que se disponga de una trazabilidad del material utilizado asociada a una correcta gestión forestal
- Uso de procesos productivos con menores emisiones de CO₂ y menores consumos de energía, o la utilización de fuentes de energía renovables
- Procesos con sistemas de gestión de los residuos, que permitan su valorización posterior.
- Las empresas de producción de este tipo de estructuras cumplan con la reglamentación ambiental vigente y se sometan voluntariamente a la certificación de dichos aspectos.
- La calidad de la madera es superior a la especificada en términos de durabilidad, se mejora la misma incrementando la vida útil de la edificación realizada.

- Los procedimientos constructivos se desarrollan según la reglamentación ambiental vigente y se someten voluntariamente a certificación.
- El cumplimiento de la reglamentación de seguridad y salud en el trabajo permite erradicar la presencia de accidentes.
- Y la innovación en procedimientos y materiales, aumenta la productividad y eficiencia de las construcciones.

En general, existen ciertas limitaciones a la hora de medir algunos aspectos que inciden en el índice de sostenibilidad de una estructura de madera. Por ejemplo, medir la idoneidad de la tipología estructural. Es obvio que existen diferentes tipologías estructurales que son más eficientes que otras, de forma que una estructura tiene una eficiencia mayor que otra, cuando resiste más cargas, cumpliendo con todos los restantes requisitos de proyecto. También se puede tener el caso de una estructura que resiste las mismas cargas pero con un menor uso de materiales (por ejemplo, uso de madera laminada encolada frente a madera maciza), cumpliendo el resto de requisitos establecidos en el proyecto. Y el ahorro de materiales es uno de los aspectos que influye en la sostenibilidad estructural. A día de hoy no existe una base de datos adecuada en este sentido para evaluar la sostenibilidad de una estructura en lo relativo a este aspecto.

Con el objeto de establecer una metodología que permita ser ampliamente utilizada y que contemple una serie de parámetros básicos en la ejecución de una estructura de madera se presenta el modelo simplificado que se ha planteado en la figura 1, y que representa, no una valoración estricta de la sostenibilidad, sino una valoración de la sensibilidad (desde el enfoque de la sostenibilidad) con la que se han proyectado dichas estructuras.

2.1.- Criterios e indicadores

El proceso de evaluación se ha dividido en dos escalas, una se corresponde con los criterios, donde se han definido dos criterios para evaluar la sensibilidad frente a la sostenibilidad y que se encuentra dividida entre:

- El producto que se va a utilizar
- Las medidas que se contemplan en la reducción de impactos

Dentro de estos dos criterios se han definido una serie de indicadores, que son los elementos que nos permiten realizar la cuantificación de la sensibilidad ambiental de las estructuras de madera y que son los siguientes:

Los indicadores 1,2 y 3 se corresponden con medidas que se encuentran relacionadas con el material y su procedencia como son:

El indicador 1, realiza la caracterización del producto y se valora en el mismo la contribución ambiental asociada a una correcta gestión del material que se utiliza de modo que sea económicamente viable, y socialmente beneficiosa para la sociedad, y cumpliendo con una gestión ambiental responsable. De esta forma, se puede controlar la procedencia del material que se utiliza, aportando una serie de garantías a favor de la sostenibilidad.

El indicador 2, se corresponde con la fabricación y montaje, el objetivo perseguido es valorar la sensibilidad ambiental con la que se desarrollan los procesos de fabricación, tanto en el taller, como en el montaje en obra, para lo cual, identifica las acreditaciones ambientales que tengan las diferentes empresas participantes. También se valora en este indicador la distancia desde el taller a la obra, ya que un objetivo de la sostenibilidad es la reducción de transporte.

El indicador 3 valora la contribución ambiental asociada a la reducción de recursos consumidos para la elaboración de la estructura, en este caso asociados al menos uso de materiales, de este modo aquellos materiales que presenten mejores prestaciones son los que se van a ver potenciados. En este indicador, también se valora la procedencia local de la madera frente a maderas que provienen de bosques lejanos que generan un mayor impacto ambiental mediante su transporte.

Los indicadores 4 y 5 se corresponden con medidas que son complementarias a los materiales y que permiten reducir impactos, durante el proceso de construcción.

En el indicador 4, se valora la contribución ambiental que se encuentra asociada a una ejecución de la estructura, de forma que se minimicen los impactos sobre el medioambiente y en particular la emisión de partículas y gases al aire, en este caso ligadas al tipo de protección a emplear para garantizar la durabilidad del material.

En el indicador 5, se valora la cual es la contribución ambiental debida a una ejecución de la estructura que minimice los residuos generados en dicho proceso, teniendo en cuenta la existencia de un plan de gestión de residuos de construcción y demolición.

2.2.- Procedimiento de evaluación de un indicador

La evaluación de los indicadores presenta una serie de pasos que se van a explicar a continuación mediante su aplicación a uno de los indicadores del modelo planteado. En este caso se va a proceder a evaluar el primero de los indicadores correspondiente a “La caracterización de los productos”, en este indicador se valora la contribución ambiental asociada a una correcta gestión forestal de la madera que se va a colocar como elemento estructural, para de esta forma tener garantía de que el producto a colocar es más sostenible.

Dado que la madera existente en una estructura puede tener distinto origen, es necesario conocer el porcentaje de cada uno de ellos, puesto que representan repercusiones diferentes con relación a aspectos ambientales. En este sentido la forma más sencilla de poder realizar una comprobación sobre el origen de la madera, es solicitar la certificación de producto FSC (Forest Stewardship Council) o PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification), de forma que mediante estos distintivos se permite realizar una gestión responsable, desde el punto de vista ambiental protegiendo y conservando los ecosistemas, respetando desde el punto de vista social los derechos de trabajadores y comunidades, y económicamente generando valor y mercados en las regiones que tienen estos recursos forestales.

La estrategia planteada para realizar la valoración de este indicador consiste por tanto en establecer si el material utilizado presenta una certificación de este tipo y en ese caso en que rangos de porcentajes se usa el mismo.

La forma de medición planteada se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1: Puntuación del indicador “caracterización de producto”.

Caracterización de producto		
Hipótesis de valoración	valor	Puntos
mas de un 80% de la madera utilizada dispone de FSC o PEFC	X	100
entre un 50 y 80% de la madera utilizada dispone de FSC o PEFC		65
entre un 25 y 50% de la madera utilizada dispone de FSC o PEFC		25
menos de un 25% de la madera utilizada dispone de FSC o PEFC		0

Con este sistema permite de forma sencilla y rápida evaluar mediante una puntuación entre 1 y 100 el valor que represente la relación con el indicador que se está valorando.

La puntuación (P) del proyecto será el valor que resulte de la puntuación obtenida dependiendo del porcentaje de material utilizado que dispone de certificación de producto (Puntos), dividido entre 100, para de esta forma obtener un valor del indicador entre 0 y 1. La expresión para el cálculo de la puntuación del proyecto en este indicador es la mostrada en la expresión [1].

$$P = \frac{1}{100} * [Puntos_i] \quad [1]$$

donde:

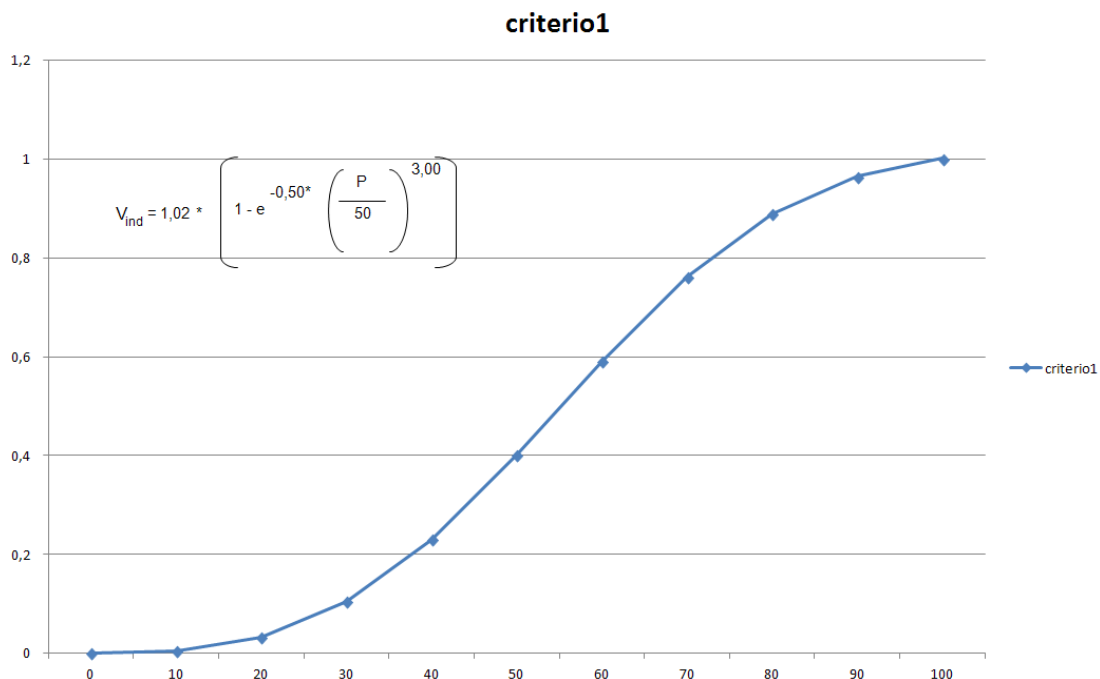
P = Puntuación del proyecto en el indicador caracterización de producto

Puntos i= Puntuación obtenida en base al porcentaje de material certificado.

Mediante esta puntuación el valor obtenido se introduce en una función de valor, que se representa a continuación, en la misma se plantea la estrategia que se plantea en la valoración del indicador (Alarcón et al, 2011), donde se alcanza la máxima satisfacción (valor) para la puntuación más alta, en el caso que se utilice un porcentaje de madera certificada superior al 80%. Mientras que la valoración se ve muy penalizada si el porcentaje de madera certificada es bajo, inferior al 25%. De este modo lo que se quiere potenciar es el uso de madera certificada en la realización de estructuras de madera.

Como el esfuerzo económico a realizar al utilizar este tipo de madera es mayor, la curva aporta una puntuación mayor a medida que se hace más esfuerzo en introducir este material, esto es, cuando mayor sensibilidad ambiental tiene el proyecto, en este caso se ha planteado una función en "S", y no lineal, para poder incentivar el mayor esfuerzo que supone utilizar un mayor porcentaje de madera con certificación ambiental.

Figura 2: función de valor asociada al indicador "caracterización de producto".



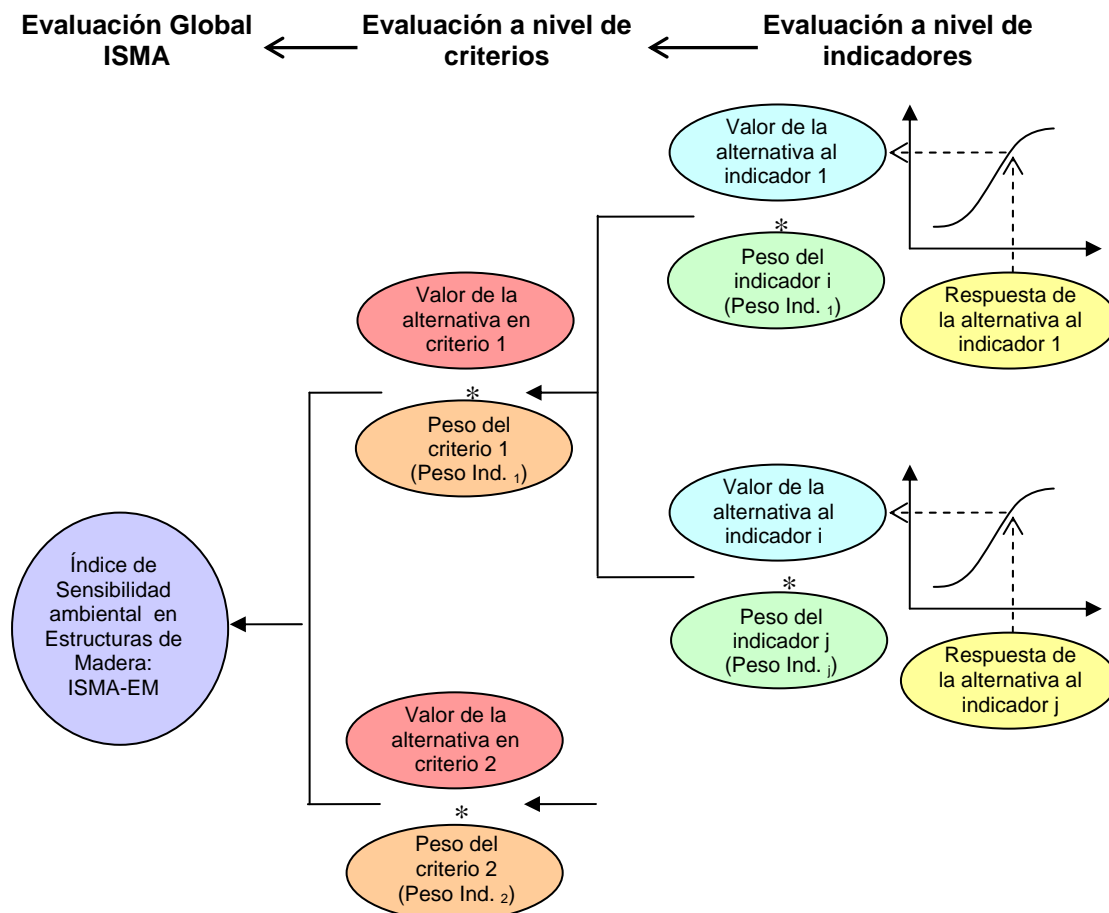
Este mismo esquema de trabajo se ha realizado para el conjunto de los 5 indicadores, estableciendo en todos los casos, los objetivos planteados, la forma de realizar la valoración, así como la estrategia que se plantea mediante diferentes funciones de valor.

2.3.- Obtención del valor del índice de sensibilidad ambiental

El valor final que se denomina "índice de sensibilidad ambiental" se obtiene a partir de la evaluación del árbol planteado que se ha dividido en tres niveles: indicadores, criterios e índice de sensibilidad, como se ha mostrado en el árbol señalado en la figura 1, donde se han representado los elementos de evaluación, indicadores y criterios, con los pesos que se han asignado a los mismos de cara a establecer el índice de sensibilidad de la estructura de madera frente a la sostenibilidad.

La metodología utilizada en este planteamiento, sigue el esquema que se presenta en la figura 3 y que ha seguido un desarrollo similar al utilizado en la realización de los correspondientes anejos de las normativas de hormigón EHE-08 y del acero EAE-11.

. Figura 3.- Esquema general de la evaluación.



De acuerdo con la figura 3, cada indicador se obtiene a partir de un resultado ligado a la característica que se está valorando, y que se introduce en una función que realiza la valoración del mismo, el resultado obtenido es el valor para ese indicador. Este valor debe estar entre 0 y 1, tal como se plantea en todas las funciones de valor. Para la determinación de los pesos, se hace una comparación entre pares de indicadores mediante AHP de forma que se obtiene el grado de importancia que presentan unos con relación al resto dentro del mismo grupo, esto también puede realizarse mediante

una puntuación directa. De esta forma, sumando los productos de los indicadores por sus pesos en cada criterio, se obtiene el valor del criterio (que también debe de estar comprendido entre 0 y 1, al igual que los indicadores).

Procediendo de forma análoga, comparando los criterios de un mismo grupo, para definir sus pesos y, posteriormente, multiplicando cada criterio por su peso dentro de un mismo índice, se obtiene el valor de este último. Este valor, al igual que el resto, debe situarse entre 0 y 1.

Mediante esta metodología se pueden sumar partidas no homogéneas de forma directa o indirecta, a través de variables y atributos, respectivamente. Es decir, se trata de una evaluación multicriterio en la que se incluyen criterios cualitativos y cuantitativos, y dentro de los cuantitativos, de diferente naturaleza.

En el presente caso, la estimación de los pesos se hizo mediante la metodología AHP realizando una serie de valoraciones por diferentes técnicos relacionados con el sector de las estructuras de madera y la sostenibilidad.

3.- Aplicación práctica

Se plantea la aplicación del modelo planteado, en una estructura de madera que se ha realizado para cubrir una parte de una plaza pública, dicha estructura está formada por unos pilares metálicos, sobre los que se apoya una viga de madera laminada encolada con una geometría en forma de "s". La madera utilizada en la realización de esta estructura es una madera certificada mediante PEFC de pino radiata, que es la especie predominante en la ubicación de la carpintería y la obra. La estructura se ha realizado íntegramente en taller trasladando todos los elementos mecanizados, para su montaje en obra. El recorrido del material entre el aserradero y el taller así como la distancia entre el taller y la obra son inferiores a 100 km.

El taller de carpintería dispone de acreditaciones ISO 9001 e ISO 14001, no así la empresa constructora encargada de llevar a cabo las labores de obra civil, que no dispone de ningún tipo de acreditación medioambiental.

Con relación a la protección requerida por la madera de cara a mejorar su durabilidad natural, se ha establecido una clase de uso 3.1, lo que exige un tratamiento superficial de la madera para garantizar su durabilidad.

Durante el desarrollo de la ejecución de la obra, en la parte correspondiente a la estructura no se ha generado ningún tipo de residuo, de modo que no se contemplaba ninguna acción al respecto.

Con estas características, en la tabla 2, se recogen los resultados del conjunto información aportada valorando los indicadores, criterios e índice de sensibilidad resultante.

Tabla 2: Valoración aplicación práctica

	Puntuación	Valor Ind.	% ind	Valor Crit	% crit	Valor ISMA
1.- P_{product}	100	1,00	40	0,99	70	0,81
2.- P_{taller}/P_{obra}	80	0,97	30			
3.- P_{uso}	70	1,00	30			
4.- P_{proc}	55					
5.- P_{protec}	65	0,66	33	0,39	30	
6.- P_{gestion}	30	0,27	67			

El valor obtenido en este caso, es un valor elevado (0,81 sobre un máximo de 1,00) al tratarse de un material certificado y que es un material del entorno, el hecho de traer el material de otros países, con mayores distancias penalizaría el resultado debido al mayor impacto generado por el material asociado el transporte del mismo, si la distancia de procedencia del material es de 1500 km, el valor final que se obtiene es de 0,76.

4.- Conclusiones

Mediante esta metodología se pretende comprobar el grado de sensibilidad ambiental que se puede obtener por parte de los agentes intervinientes en el proyecto de una estructura de madera, sin querer obtener un valor de la sostenibilidad de esta estructura.

Se trata de una metodología sencilla de aplicar y que permite a la propiedad certificar que la construcción realizada presenta mejores características ambientales que otras soluciones resueltas en el mismo material.

Con una herramienta como esta, la madera dispone de un modelo de evaluación de la sostenibilidad similar al que ya tienen otros materiales estructurales como el hormigón (2008) y el acero (2012).

El método AHP utilizada se caracteriza por su flexibilidad. Además de la claridad en la exposición del modelo y la metodología de valoración, de forma que se consigue dar valor a factores que se pueden cuantificar con diferentes unidades uniformizando la respuesta.

5.- Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida para la realización del presente trabajo a la Administración Española, a través del Plan Nacional de Investigación dentro del proyecto de referencia BIA2010-20789-C04-04 y a la Universidad del País Vasco por su programa de investigación Universidad – Sociedad a través del proyecto EHU11/22.

6.- Bibliografía

- Cuadrado, J., Rojí, E., San José, T., Reyes, J. (2012). Sustainability index for industrial buildings. *Proceedings of the I. C. E.: Structures and buildings*, 165, 245-253
- España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Boletín Oficial del Estado, de marzo de 2006, núm. 74, pp. 11816-11831
- España. Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo, por el que se aprueba la Instrucción de Acero Estructural (EAE). Anejo 11: "Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad" Boletín Oficial del Estado, de junio de 2011, núm. 149, pp. 670-682
- España Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08). Anejo 13: "Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad" Boletín Oficial del Estado, de agosto de 2008, Suplemento del BOE núm. 203, pp. 239-246
- Orbe, A., Cuadrado, J., Rojí, E., Maturana, A. (2010) *Arquitectura y Madera. Guía de diseño de elementos estructurales adaptada al CTE*. Bilbao: Servicio Editorial del Gobierno Vasco
- Saaty TL (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. New York, McGraw-Hill.

- Todd JA, Crawley D, Geissler S and Lindsey G (2001) Comparative assessment of environmental performance tools and the role of the Green Building Challenge. *Building Research and Information*, 29, 324-335
- Johnny KW and Wong Heng Li (2008) Application of the analytic hierarchy process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of intelligent building systems. *Building and Environment*, 43,108-125.
- Alarcón B, Aguado A, Manga R and Josa A (2011) A value function for assessing sustainability: Application to Industrial Buildings. *Sustainability*, 3, 35-50.