

# ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD APLICADO A LA EDIFICACIÓN INDUSTRIAL

Cuadrado, J. <sup>(P)</sup>; Losada, R.; Rojí, E.; Larrauri, M.

## Abstract

Sustainability is a term widely used today and is wide spread in our society, so that we can find ecological cars, or houses more sustainable.

There are several techniques that allow evaluate the sustainability in different fields of application. One area in which there is a large gap is the building industry, where there are few applications.

The MIVES project has been defined a methodology that allows an assessment of an "Index of sensitivity to the sustainability" for the industrial construction.

The paper presents the methodology defined, as well as the development of a practical application in an industrial building that is already built, and discussion of the results obtained by the methodology presented.

*Keywords: Industrial building, sustainability, index of sensitivity.*

## Resumen

La sostenibilidad es un término muy utilizado en nuestros días y que se encuentra de modo generalizado en nuestra sociedad, de forma que nos encontramos con coches ecológicos, o viviendas más sostenibles.

Existen varias técnicas que permiten evaluar la sostenibilidad en diferentes campos de aplicación. Un área en el que existe un gran vacío es la edificación industrial, donde se encuentran escasas aplicaciones en este ámbito.

En el desarrollo del proyecto MIVES, se ha definido una metodología que permite la evaluación de un "Índice de sensibilidad frente a la sostenibilidad" para las construcciones industriales.

La ponencia presenta la metodología definida, así como el desarrollo de una aplicación práctica en un edificio industrial ya construido, y la discusión de los resultados obtenidos por la metodología presentada.

*Palabras clave: Edificio industrial, sostenibilidad, índice de sensibilidad.*

## 1. Introducción

La popularidad que ha adquirido el término "sostenibilidad", ha planteado su implementación en una gran cantidad de herramientas que han sido desarrolladas con la finalidad de establecer o medir algo tan complejo, como es la sostenibilidad de cualquier elemento. Los edificios también se han adaptado a esta tendencia y se ha desarrollado una gran cantidad de herramientas, principalmente en el ámbito de la edificación residencial, debido al gran volumen existente de este tipo de edificaciones. Una gran parte de estas herramientas, enfocan la sostenibilidad a criterios únicamente medioambientales, de forma que se están obviando los otros dos ejes principales de la sostenibilidad, que son el eje económico y el social.

Los métodos de evaluación ambiental han emergido desde comienzos de los años 90, de tal manera, que el desarrollo y aplicación de estos, han provisto una considerable experiencia teórica y práctica a través de las últimas dos décadas. Actualmente, las herramientas que existen en el mercado, han sido desarrolladas desde distintas perspectivas y de acuerdo a las necesidades del país de origen.

El proyecto MIVES ha servido para establecer una metodología de evaluación de la sostenibilidad basada en el análisis de un conjunto de criterios, que mediante un proceso de ponderación permite realizar la evaluación a través de una herramienta diseñada con el modelo matemático A.H.P. (Analytical Hierarchy Process) desarrollado por Saaty (1990).

Esta metodología ya se ha probado en la evaluación ambiental de edificaciones industriales [1], la evaluación de la seguridad en el ámbito de la construcción [2] y como experiencia pionera a nivel internacional, desde el punto de vista normativo, se encuentra recogido en el anejo nº 17 del borrador de la nueva Instrucción del hormigón estructural EHE, denominado Índice de contribución de las estructuras a la sostenibilidad (ICES).

## **2. Modelo de evaluación de la sostenibilidad**

Se ha planteado un modelo de evaluación, basado en la definición de un conjunto de requerimientos básicos que se deben de exigir a todo edificio de carácter industrial. Para este tipo de construcciones los requerimientos definidos son la economía, el medio-ambiente y el requerimiento social, aunque estos requerimientos se pueden ver ampliados con otros específicos como son la seguridad tanto en la construcción como en el uso del edificio, la funcionalidad del edificio para albergar el proceso, o la estética de la edificación para garantizar una determinada imagen de marca.

Dentro de cada uno de estos requerimientos se han definido un conjunto de criterios, que son los encargados de valorar las diferentes soluciones planteadas de cara a comprobar, cual de ellas es la que presenta mejores ventajas desde el punto de vista de la sostenibilidad.

En este proceso de valoración de los criterios se utilizan los indicadores, o elementos que permiten cuantificar aquellas características más importantes de los criterios. En algunos casos para un criterio se dispone de un único indicador, pero en otros, se necesitan cuantificar un conjunto de indicadores, los cuales tienen un grado de importancia relativa diferente en el proceso de valoración del criterio correspondiente.

El proceso de evaluación se realiza de forma escalonada, de modo que inicialmente se valoran el conjunto de indicadores, a partir de estos resultados se valoran los criterios y con estos datos se obtiene la evaluación de los requerimientos. El último paso consiste en la evaluación del “índice de contribución a la sostenibilidad” de la solución adoptada, mediante los resultados obtenidos en cada requerimiento:

- ? Evaluación a nivel de indicadores
- ? Evaluación a nivel de criterios
- ? Evaluación a nivel de requerimientos
- ? Evaluación del “índice de contribución a la sostenibilidad”

A continuación se muestra la forma de realizar el procedimiento de evaluación en cada nivel, tal y como aparece representado gráficamente en la figura 1.

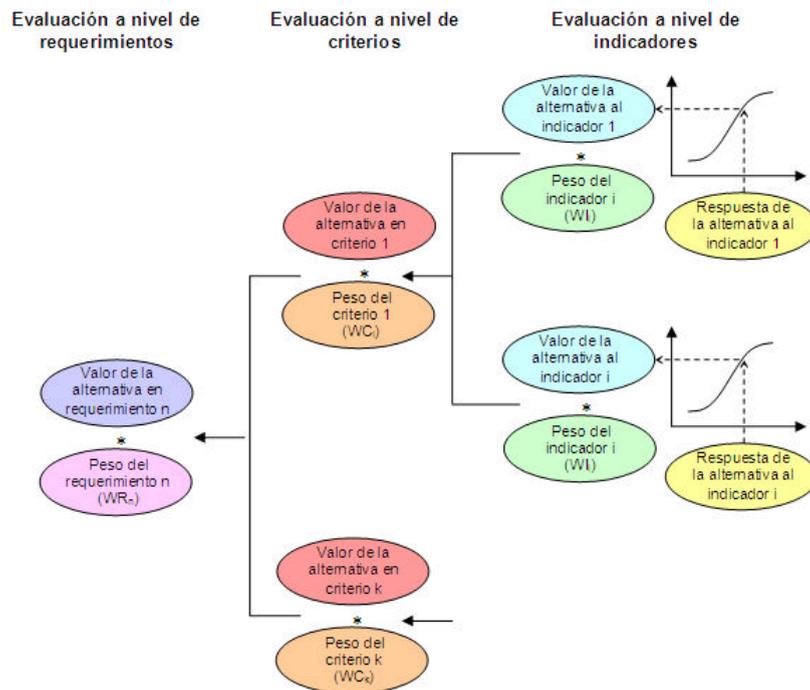


Figura 1. Evaluación de las alternativas a nivel de indicadores, criterios y requerimientos

Las escalas de valoración comienzan a nivel de indicadores, de forma que se cuantifican los que se han desarrollado para poder medir cada uno de los criterios de estudio. De acuerdo a lo mostrado en la figura 1, para definir el valor de una solución planteada, a nivel de indicadores, se introduce el rango de respuesta de la solución en la función de valor propuesta para cada indicador, con objeto de cuantificar la propiedad que se pretende evaluar. De esta forma, se obtiene para cada alternativa un valor posible en el indicador, el cual sirve para definir el valor correspondiente en los otros niveles del árbol de evaluación planteado.

La evaluación a nivel de criterios se realiza mediante la ecuación (1), y a partir de los resultados obtenidos de la valoración de los indicadores, los cuales se multiplican por una serie de pesos establecidos previamente mediante el método desarrollado por Saaty para reducir la subjetividad del proceso de evaluación, obteniéndose mediante la suma de estos, el valor de cada criterio.

$$VC_k R_n = \sum_{i=1}^j WI_i C_k R_n * VI_i C_k R_n \quad (1)$$

donde,

- $VC_k R_n$ : Valor del criterio k del requerimiento n.
- $WI_i C_k R_n$ : Peso del indicador i, del criterio k, en el requerimiento n.
- $VI_i C_k R_n$ : Valor del indicador i, del criterio k, en el requerimiento n.

Posteriormente se realiza una evaluación a nivel de requerimientos, donde se actúa de forma similar a la evaluación a nivel de criterios. Con el valor obtenido en cada criterio, se evalúan los planos de requerimientos mediante la fórmula (2).

$$VR_n = \sum_{k=1}^z WC_k R_n * VC_k R_n \quad (2)$$

donde,

- $VR_n$ : Valor del requerimiento.  
 $WC_k R_n$ : Peso del criterio k, en el requerimiento n.  
 $VC_k R_n$ : Valor del criterio k, en el requerimiento n.

Por último se procede a la valoración del "índice de contribución a la sostenibilidad" del edificio completo y en el conjunto de los requerimientos exigidos. Una vez obtenidos los valores correspondientes a los requerimientos, el proceso de evaluación finaliza con la valoración global de los mismos, a través de un sistema de ponderación similar al utilizado en los casos anteriores, de forma que una vez obtenido el valor de cada requerimiento, se evalúa globalmente la solución adoptada, mediante la fórmula (3).

$$VG = \sum_{n=1}^z WR_n * VR_n \quad (3)$$

donde,

- $VG$ : Valor global de la solución adoptada.  
 $WR_n$ : Peso del requerimiento n.  
 $VR_n$ : Valor del requerimiento.

## 2.1. Aplicación del Análisis Jerárquico de Procesos (AHP) al proceso de ponderación.

En todas y cada una de las etapas de este método, se realizan procedimientos de valoración de indicadores criterios o requerimientos, mediante un sistema de ponderación adaptado en cada caso. La subjetividad, presente en todo proceso de evaluación, se trata de paliar en este caso mediante un planteamiento de análisis de valor implícito en el proceso, para lo cual se ha utilizado el Análisis Jerárquico de Procesos (AHP), metodología definida por Saaty en 1990 [3], y que se basa en los siguientes pasos:

- ? Construcción de una matriz de decisión
- ? Cálculo del vector de pesos
- ? Evaluación de la consistencia de la matriz

La matriz de decisión, es una matriz cuadrada de (n x n), siendo n el número de indicadores, criterios o requerimientos según el caso correspondiente. Cada uno de los elementos de la matriz se calcula por comparación entre pares.

Para realizar el cálculo del vector de pesos, es necesario normalizar los elementos de la matriz de decisión, el vector obtenido, se corresponde con el peso del indicador, criterio o requerimiento evaluado, según el orden en que hayan sido ubicados en la matriz. Este vector es el que se utilizará en el proceso de ponderación, siempre que el valor de la consistencia de la matriz utilizada sea correcto.

La evaluación de la consistencia, permite conocer la proporcionalidad de las referencias que ha utilizado en la elaboración de la matriz de decisión. Su evaluación se realiza mediante la relación de consistencia (C.R., consistency ratio), definida en la ecuación (4).

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \leq 0.1 \quad (4)$$

donde,

*C.R.:* Relación de consistencia

*C.I.:* Índice de consistencia

*R.I.:* Índice de consistencia aleatoria

El índice de consistencia (C.I.), se define mediante la ecuación (5):

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n(n-1)} \quad (5)$$

donde, " $\lambda_{\max}$ " es el vector propio máximo de la matriz de evaluación y "n" el número de indicadores, criterios o requerimientos según el caso correspondiente.

### 3. Caso de estudio, aplicación de la metodología a una edificación industrial.

Con esta metodología no se pretende realizar una cuantificación exacta del término sostenibilidad, únicamente se pretende es dar un "índice de contribución a la sostenibilidad", de la construcción. Esto significa que un índice alto es una buena solución, desde el prisma de la sostenibilidad, con lo cual este índice, representa un valor añadido al edificio, ya que además de cumplir toda reglamentación vigente, dispone de una serie de criterios de sostenibilidad en su diseño o construcción.

Para hacer que esta metodología sea aplicable y los resultados que se puedan obtener de la misma sean representativos, la labor más importante consiste en una correcta definición de un conjunto de elementos de evaluación, para que sea suficientemente pequeño pero representativo.

En el caso correspondiente al edificio industrial, el planteamiento realizado, ha consistido en la definición de 6 requerimientos, 30 criterios y 36 indicadores [4], desglosados de la siguiente forma:

?	Seguridad:	6 criterios	6 indicadores
?	Funcionalidad:	8 criterios	12 indicadores
?	Estética:	3 criterios	3 indicadores
?	Social:	3 criterios	3 indicadores
?	Económico:	5 criterios	6 indicadores
?	Medioambiental:	5 criterios	5 indicadores

El edificio de estudio se encuentra destinado a la fabricación de aceite de oliva, en la zona media de Navarra

### **La situación**

La almazara de estudio, se encuentra ubicada estratégicamente en un entorno con una gran cantidad de plantaciones en los alrededores. Perteneciendo a un municipio de aproximadamente 4.000 habitantes, que tiene una gran actividad industrial, dedicada al sector conservero.

### **La parcela**

El solar se encuentra colindante a una carretera nacional en un entorno rural sin actividad industrial en las proximidades y se trata de una parcela prácticamente plana.

La única forma de acceder a la parcela, es mediante el vehículo particular de los trabajadores, ya que no existe en el municipio un transporte público que disponga de una parada en la cercanías de la empresa, por otro lado, todos los trabajadores de la planta pertenecen al municipio.

### **La actividad.**

El proceso de elaboración es continuo, con áreas relacionadas entre si, según el siguiente organigrama del proceso (figura 2).

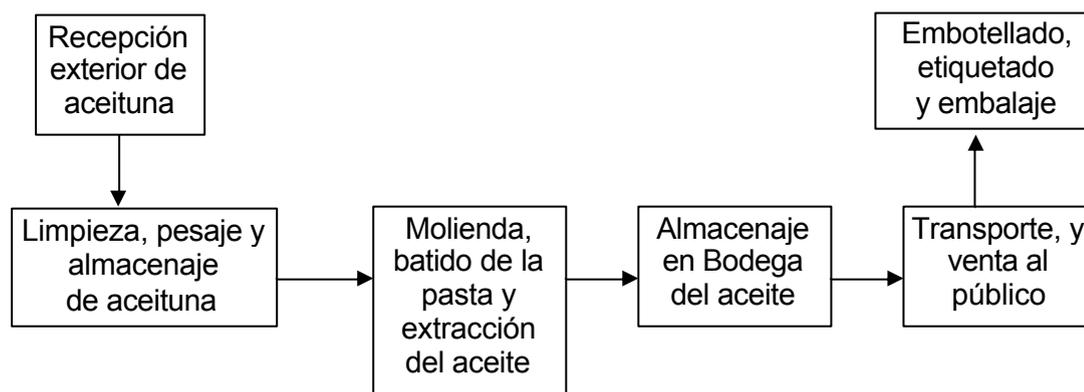


Figura 2: Organigrama del proceso de elaboración del aceite (Almazara).

La actividad desarrollada por la empresa, se encuentra recogida como una actividad molesta, insalubre o peligrosa, además de generadora de residuos peligrosos según la legislación española.

### **El edificio**

La cimentación se ha resuelto mediante de zapatas aisladas, conociendo la cantidad de hormigón necesaria para su ejecución.

El edificio dispone de una solera de hormigón armado, realizada sobre un enchachado de grava.

La estructura de la nave, se ha proyectado y construido en acero, mediante perfiles laminados, con secciones HEB en pilares, e IPN en vigas y correas. El edificio se encuentra formado por trece pórticos de dos vanos siendo el mayor de ellos de catorce metros de luz, y el menor de aproximadamente cuatro metros y se dispone de la cantidad de acero necesaria.

Existe un forjado como entreplanta, destinado a oficina, laboratorio y aseos que se ha resuelto mediante semiviguetas prefabricadas de hormigón y bovedilla cerámica.

El cerramiento exterior de la nave, dispone de un zócalo de bloques de hormigón, hasta una altura 1 metro. A partir de dicha cota el cerramiento se ha resuelto mediante paneles de chapa de 10 centímetros de espesor. Casi todo el edificio se encuentra cerrado sin permitir la entrada directa de la luz solar, que podría deteriorar el producto, excepto la zona administrativa que dispone de una superficie acristalada practicable, que permitan la iluminación y ventilación natural.

La cubierta está resuelta por paneles similares a los utilizados en el cerramiento de las fachadas, adaptada a las características de la cubierta.

### ***Las instalaciones***

El sistema de alumbrado del proceso en el edificio, se ha resuelto en las áreas de mayores alturas, mediante luminarias de halogenuro metálico. El resto de instalaciones, destinado a servicios auxiliares y administrativos dispone de alumbrado mediante luminarias fluorescentes.

El abastecimiento de agua se toma de la red existente, aunque la instalación de ACS y calefacción, dispone de una caldera mixta, capaz de utilizar como combustible el huesillo machacado de la aceituna.

En relación a los residuos generados, los “alperujos” obtenidos en el proceso de elaboración del aceite, se almacenan en la tolva, y periódicamente, se trasladan mediante camiones cisterna a la fábrica de extracción de aceite de orujo.

### ***La construcción***

El desarrollo del proyecto fue realizado por una ingeniería local, así como el proceso constructivo que se realiza por una empresa local. Ambas empresas no disponen de ningún tipo de acreditación de calidad (ISO, serie 9000), ni medioambiental (ISO, serie 14000). La empresa promotora de la obra, encargada de la explotación de la misma tampoco dispone de ningún tipo de acreditación de calidad, ni medioambiental.

### ***Otros factores a considerar***

Los sistemas de seguridad frente al intrusismo presentes en la planta, se componen de un sistema de video vigilancia, debido a que se encuentra ubicada, en una zona alejada del núcleo urbano, y donde el valor del producto no es muy elevado, pero si que es un producto manejable.

## **3.1. Resultados de la aplicación de la metodología MIVES al caso de estudio.**

Trasladando las características constructivas del edificio, sus condicionantes del ambiente interior y exterior, junto con el resto de factores relacionados con la situación, presencia de instalaciones, proceso o forma de construcción, a la herramienta planteada se obtiene el conjunto de resultados de los indicadores planteados, que junto con el sistema de ponderación planteado obtiene el valor asociado al “índice de sensibilidad frente a la sostenibilidad”.

Llevando a cabo una representación grafica mediante un diagrama de araña, del conjunto de resultados obtenidos en todos los requerimientos (figura 3), se puede observar como, únicamente supera el valor medio en uno de los requerimientos, la funcionalidad, donde el edificio presenta una buena adecuación al proceso que alberga en su interior.

Respecto al resto de requerimientos, esta edificación presenta unas puntuaciones relativamente bajas. Estos valores se encuentran probablemente asociados a que se trata de una pequeña empresa, con medios limitados, y debido a la ausencia de competencia en

su entorno, la empresa no ha invertido capital en potenciar su imagen de marca, mediante acreditaciones de ningún tipo o la ejecución de un edificio con características singulares.

Desde el punto de vista medioambiental, tampoco se ha encontrado una sensibilidad importante en este sentido por parte de la empresa, ni de los agentes que han actuado en el proceso constructivo. Tampoco se ha cuidado la reducción del impacto visual en el entorno de la misma, pero se ha primado la importancia del proceso y su integración en el edificio, dando un buen resultado en relación a la funcionalidad de la instalación.



Figura 3: Representación de los resultados por requerimientos.

Del valor global del conjunto de requerimientos, suponiendo que todos ellos se encuentra igualmente ponderados, el valor correspondiente al índice de sensibilidad frente a la sostenibilidad que se obtiene en el caso de la almazara es de “0,33”.

Se trata de un valor en su conjunto relativamente bajo que se encuentra asociado a los escasos resultados obtenidos en gran parte de los treinta criterios evaluados.

#### 4. Conclusiones.

La metodología planteada no pretende realizar una cuantificación exacta del término sostenibilidad, algo que a priori se plantea como irrealizable, sino que trata de obtener un “índice de contribución a la sostenibilidad”, de la construcción.

La herramienta planteada, es fácil de utilizar, no requiere una información muy detallada del edificio, algo que en otros programas implica un conocimiento muy exhaustivo del mismo, y que exige una importante dedicación a la recopilación de dicha información. Esto supone

aumentar la precisión en el cálculo, teniendo como contrapartida una reducción de su posible aplicación.

Esta metodología contempla, además de los requerimientos fundamentales de la sostenibilidad (medioambiente, social y economía), otros más específicos de la edificación industrial como son, la funcionalidad, la seguridad, o la propia imagen de marca de la empresa (estética).

## Referencias

[1] Garrucho I., *“Desarrollo de una metodología para el proceso de diseño sostenible de edificaciones industriales bajo requerimientos medioambientales”*, Tesis Doctoral E.T.S.I. Bilbao 2006

[2] Reyes J.P., *“Nueva metodología para la evaluación de la sostenibilidad respecto al requerimiento de seguridad y salud en proyectos de edificación”*, Tesis Doctoral E.T.S.I. Bilbao 2008

[3] Saaty, T.L. *“The analytical Hierarchy Process”*. Ed. Willey, Nueva York, 1990.

[4] Losada R., Rojí E. y otros *“La medida de la sostenibilidad en edificación industrial. Modelo integrado de valor de edificios sostenibles (MIVES)”* Bilbao 2006.

## Agradecimientos

Proyecto de Investigación otorgado por el Ministerio de Educación y Ciencia con referencia BIA 2005-09163-C03 de título *“La sostenibilidad a través del análisis de valor aplicado a diversos ámbitos”*

## Correspondencia (Para más información contacte con):

Jesús Cuadrado Rojo.

Departamento de Ingeniería Mecánica. E.T.S. Ingeniería Industrial de Bilbao.

Alameda de Urquijo s/n, 48013 Bilbao (España).

Phone: +34 946 01 42 29

Fax: + 34 946 01 42 15

E-mail: [jesus.cuadrado@ehu.es](mailto:jesus.cuadrado@ehu.es)

URL: <http://www.ingenierosbilbao.com>