

## PROJECT METHODOLOGY IN INDUSTRIAL SUSTAINABLE ARCHITECTURE

Losada Rodriguez, R.; Rojí Chandro, E.; Orbe Mateo, A.; Cuadrado Rojo, J.

Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

Confront the design activity and industrial building design, means taking a position regarding the inspiration and the degree or practice, two terms of scope inaccurate and misleading interpretations, but linked to professional practice of the designer.

Reference should be made to demanding industrial enterprise surroundings and how to design in the context of cost, time and quality, the way in which meets the needs of the production process and the people who care, because the cycle sustainable industrial building life. This requires consider projecting activity over time, which requires the application of different approaches and strategies in the development.

This paper presents a methodology for the development of the project activity, which requires review some conceptual and methodological issues and even personal attitude of the designer, to the spatial resolution of necessity, which is the sustainable industrial building

**Keywords:** *Project life cycle; industrial building; sustainable design methodology.*

## METODOLOGÍA DEL PROYECTO EN ARQUITECTURA INDUSTRIAL SOSTENIBLE

Afrontar la actividad de concepción y diseño del edificio industrial, supone adoptar un posicionamiento respecto a la inspiración y al oficio o práctica; dos términos de alcance impreciso e interpretaciones equívocas, pero ligados al ejercicio profesional del proyectista.

Es preciso hacer referencia al entorno empresa industrial reivindicando el cómo y el qué diseñar en el contexto del precio, plazo y calidad, en el que la forma responda a las necesidades del proceso productivo y de las personas que lo atienden, en razón al ciclo de vida del edificio industrial sostenible. Esto requiere considerar la actividad proyectual en el tiempo, lo que exige la demanda de estrategias y aproximaciones diferentes en el desarrollo.

En el presente artículo se plantea una metodología para el desarrollo de la actividad proyectual, lo que precisa revisar algunas cuestiones conceptuales y metodológicas e incluso, de actitud personal del proyectista, para la resolución de la necesidad espacial, que es el edificio industrial sostenible

**Palabras clave:** *Proyecto, ciclo de vida; edificio industrial; metodología proyectual sostenible.*

## **1. Aproximación a la metodología proyectual del edificio industrial**

### **1.1 El lenguaje arquitectónico del edificio industrial actual**

El periodo tecnológico que actualmente vivimos, supone una transformación en los procesos de producción y en la expresión del edificio industrial. El resultado es la imagen cambiante de una actividad industrial donde el trabajo fabril se convierte en industria ligera, dando lugar a una nueva época en las relaciones ciudad – industria.

De este modo (Losada, R. 2012), ya no es estrictamente necesaria una separación espacial: la mayoría de las actividades trabajan libres o casi libres de emisiones, como consecuencia de los requerimientos legales medioambientales y de las tendencias de sostenibilidad. En este escenario, el edificio industrial se ve abocado a nuevos parámetros y lenguajes arquitectónicos, totalmente compatibles e incluso complementarios de las zonas residenciales.

Hasta ahora, la arquitectura industrial había prestado y potenciado su lenguaje en favor de la arquitectura en general. Quizá haya llegado el momento de que se inviertan las tornas y la arquitectura industrial adopte lenguajes, formas, composiciones, etc., más propias de la arquitectura en general, para potenciar los valores simbólicos y culturales de aquella.

Nunca como ahora, el dar cumplimiento a las necesidades del proceso productivo ha hecho que la arquitectura industrial sea el resultado formal de la resolución a los problemas planteados por el programa funcional.

Cuando únicamente se tienen en cuenta soluciones arquitectónicas bajo la perspectiva económica de la inversión, los plazos de ejecución y las soluciones estandarizadas, el resultado formal será la rutina y la expresión de una arquitectura industrial totalmente anodina.

Cuando el resultado formal, además de atender las necesidades funcionales, tenga presente la adaptación al lugar, la comunicación con el entorno, la búsqueda de una imagen y un significado cultural, etc., surgirá de nuevo el esplendor y el protagonismo de la arquitectura industrial y su lenguaje, indispensable para el conjunto de los entornos urbanos.

### **1.2 La actitud del proyectista frente al edificio industrial**

Afrontar la actividad de “proyectar” la arquitectura supone la creación de un espacio que posibilite el desarrollo de una necesidad (actividad), más o menos compleja, del hombre tanto individual como colectivamente.

En el caso de la arquitectura industrial, su objeto trasciende del concepto de edificio, por extenderse al de planta industrial, donde la presencia o existencia de aquél no es imprescindible.

Ciñéndonos al objeto “edificio industrial”, más sencillo de comprensión que el de la planta industrial y, al mismo tiempo, de más fácil entendimiento desde los tradicionales principios del construir arquitectónico, la creación de un espacio en un ambiente controlado, supone atender las necesidades del proceso productivo de bienes y de sus medios auxiliares, sin prescindir de las necesidades que se derivan de la presencia de las personas, en el desarrollo y funcionamiento de dicho proceso.

El resultado de proyectar el edificio industrial ha de ser un espacio que cumpla la funcionalidad que se desprende del programa de necesidades y, ello, desde la consideración de los aspectos económicos, compatibles con la viabilidad de la inversión, y que extenderemos a los conceptos de precio, plazo y calidad. Hoy en día ese resultado,

además, en su expresión debe recoger determinada capacidad simbólica y estética, lo que habrá de contribuir al desarrollo de imagen de marca de la empresa industrial.

Apelar a consideraciones simbólicas y artísticas es dar a la arquitectura del edificio industrial una función social, que le proporcione vida propia, emanada de la imaginación y destreza del proyectista.

A su vez, la consideración del edificio industrial desde la perspectiva sostenible, supone concebir una arquitectura respetuosa con el medio ambiente y con un consumo energético más ecológico. Implica condicionar el resultado del proyecto a la consideración de temas como un menor consumo de agua y de energía, potenciando al máximo el uso de energías renovables, una recuperación de materiales y recursos una vez acabado el ciclo de vida del edificio, una mayor preocupación por la calidad ambiental del aire interior y una gestión razonablemente ecológica de los residuos generados en la construcción y en la utilización del edificio.

### **1.3 Una metodología proyectual**

La actividad proyectual considerada en el tiempo demanda estrategias y aproximaciones diferentes en su desarrollo.

Como cuestiones previas debe estar definido el programa de necesidades y con él una implantación o layout base del proceso productivo y de los medios o servicios auxiliares de fabricación y para el personal. Asimismo, debe de estar definido el lugar donde emplazar el edificio.

El desarrollo proyectual plantea una metodología que consta de tres etapas (Mateo, L. 2007):

- a. La aproximación a la concepción del edificio con un enfoque sistémico, de manera global, a través de un listado de argumentos que fundamenten la idea del proyecto. Partiendo como base de las necesidades de implantación del proceso productivo, el diseño debe integrar las necesidades y requisitos impuestos por los restantes elementos y medios de los que es preciso disponer. Se deberá obtener por tanto en esta etapa el diseño formal del edificio.
- b. La estructuración de la forma, lo que requiere el planteamiento de "jerarquías"; esto es, diferenciar las partes y los elementos o subsistemas identificados y fijar un orden. Se requiere dotar al edificio o planta industrial de un esqueleto, que permita al nuevo organismo ser autónomo, con posibilidades de crecimiento y flexibilidad
- c. La materialización del proyecto, etapa en la que el proyectista debe enfrentarse con las dimensiones precisas de cada elemento, con el efecto gravitatorio consecuencia de la materialización, con la conformación del espacio y su definición ambiental, con la funcionalidad del proceso productivo y sus medios auxiliares, etc.

Un proyecto no debe interpretarse sólo como una expresión gráfica de la idea. La expresión y contenido del mismo definen un edificio concreto, donde se solucionan más necesidades en base a una realidad y a una coherencia conceptual. La composición de la idea se hace posible gracias a una serie de procedimientos que finalmente determinan una forma, debiendo estar siempre presente el hecho de que el resultado sea una arquitectura construible.

## **2. La consideración de la sostenibilidad en el proyecto del edificio industrial**

El concepto de sostenibilidad, desde que se instituyera en 1987, está cobrando cada vez más importancia en el desarrollo de las actividades humanas de toda índole y,

especialmente, en las productivas y económicas en general. De ahí que su consideración se haya convertido en un condicionante de los criterios de concepción, diseño y desarrollo del proyecto del edificio industrial.

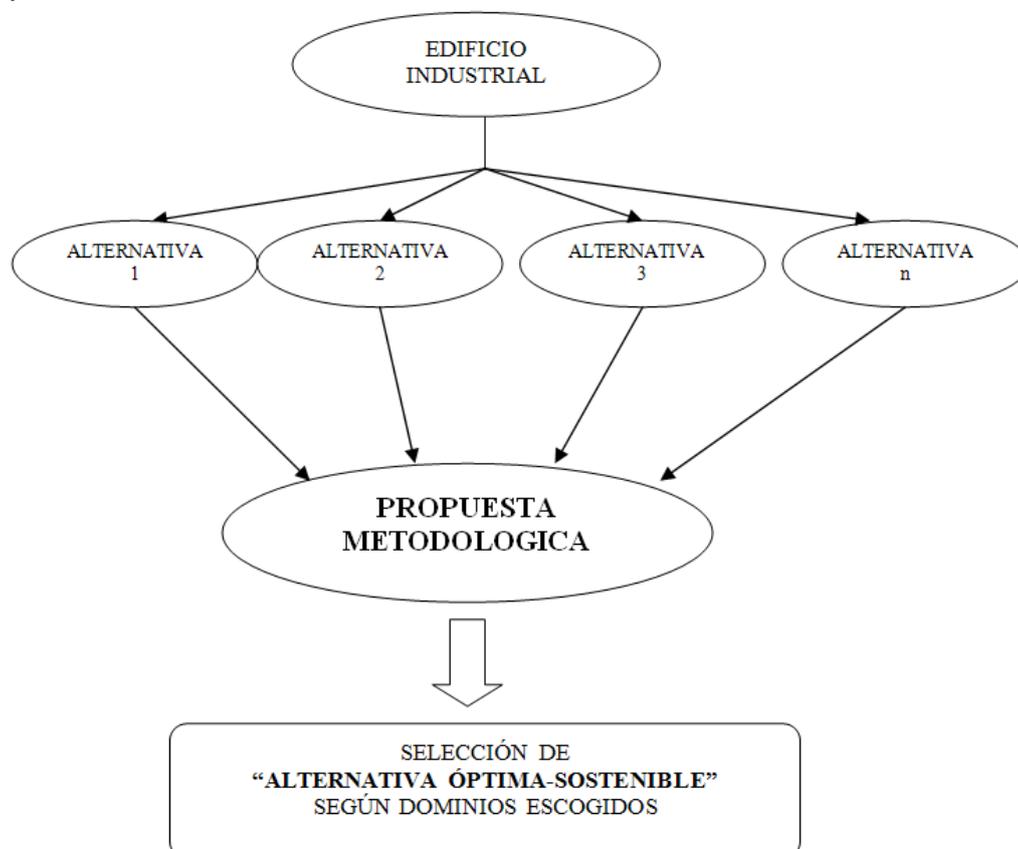
Tener en cuenta estos aspectos requiere identificar y evaluar los indicadores específicos que la concepción y desarrollo del edificio industrial muestra frente a la sostenibilidad. Esta comprobación comporta determinadas complejidades y temáticas principalmente de tipo medioambiental. Es por ello que se precisa de una determinada metodología para facilitar la toma de decisiones, entre diferentes alternativas de un mismo proyecto constructivo de edificio industrial, capaz de albergar un proceso productivo. (Burgueño, A. 2004)

## 2.1 Requerimientos e indicadores de sostenibilidad

Una cuestión previa para el conocimiento sostenible del edificio requiere la consideración del edificio industrial durante todo el ciclo de vida; por consiguiente, no se trata de un planteamiento única y exclusivamente de la fase de concepción de la idea y de su desarrollo (fase de proyecto) y de la fase de materialización de lo concebido (fase de obra), sino que debe analizarse y tomar decisiones contemplando simultáneamente la fase de utilización / funcionamiento y la fase final de desmantelamiento o deconstrucción.

Por consiguiente, y sin perder de vista el margen de beneficio económico implícito en toda actividad empresarial, es preciso disponer del encuadre metodológico, según en encuadre siguiente (Figura 1).

Figura 1: Organigrama de encaje de la metodología



Son evidentes las particularidades de los edificios industriales en relación con otras edificaciones. La concepción y el desarrollo del edificio industrial requiere de una actitud sistémica, que garantice desde el punto de vista funcional, una óptima integración de los subsistemas integrantes, siendo estos:

- el proceso de producción industrial
- los servicios auxiliares necesarios para el funcionamiento del proceso
- el edificio
- el sistema de control de la producción
- la implantación o distribución de la actividad
- el entorno natural y/o urbanizado
- etc.

Las características diferenciadoras del edificio industrial respecto de otras tipologías edificatorias, suponen una larga lista de facetas, requiriendo, como mínimo tenerse en consideración las siguientes: (San José, et al, 2007)

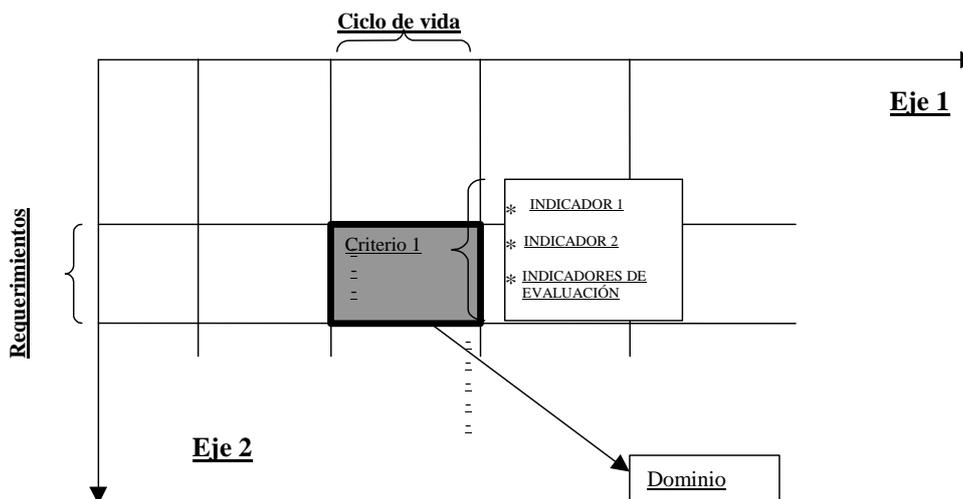
- a. Las formas y tipologías del edificio industrial dependen de la solución final adoptada tanto para la implantación y la distribución de las diferentes actividades a desarrollar, como por la gran variedad de procesos que pueden realizarse en su espacio interior. Por ello, se da una mayor dispersión en los rangos de distancias entre pilares, alturas de los mismos y geometrías o volúmenes a cubrir, e incluso el ambiente interior presenta especificidades propias del proceso productivo.
- b. En el edificio industrial, las sobrecargas derivadas del proceso productivo o del flujo de materiales son normalmente elevadas. Por consiguiente, el sistema estructural estará influenciado por acciones de magnitud considerable a soportar.
- c. La accesibilidad en la industria a las materias primas, productos semielaborados o productos finales, así como la accesibilidad de las personas, debe tener en cuenta las dimensiones y las características físicas de todos estos productos elaborados con objeto de mejorar la movilidad de los mismos. Estos movimientos son el origen, normalmente, de grandes consumos energéticos requeridos a lo largo de la vida útil de la planta industrial.
- d. Los procesos industriales se caracterizan por los rápidos cambios tecnológicos, lo que implica que el edificio industrial debiera tener flexibilidad para futuras adaptaciones a nuevas distribuciones o necesidades de expansión de la planta industrial.
- e. La necesidad de una inmediata accesibilidad de las materias primas, productos semielaborados o productos finales, así como de las personas, condiciona en gran medida el dimensionamiento y características de los huecos de la envolvente.
- f. Desde un punto de vista socioeconómico, el entorno empresarial del edificio industrial genera riqueza, crea empleo, promueve la actividad comercial y desarrolla económica y socialmente el territorio circundante.
- g. Toda planta industrial es una inversión y como tal, busca una rentabilidad que empezará a conseguirse cuanto antes esté funcionando la planta. Es en este apartado, donde interviene el proyecto del edificio con sus tres objetivos principales,

que son la calidad de la construcción, el coste de la misma y el cumplimiento de unos plazos de entrega, y que puede marcar la sostenibilidad de la construcción.

## 2.2 Una metodología para la consideración de la sostenibilidad

La propuesta metodológica parte de considerar las decisiones sobre el proyecto desde un plano de análisis conformado por dos ejes principales (Figura 2).

Figura 2: Definición esquemática de la metodología



Eje1. Ciclo de vida. Representa la variable temporal del edificio; es decir, las diferentes etapas o fases en el tiempo del edificio:

- 1) Concepción – Planificación y desarrollo
- 2) Construcción - implantación - puesta en marcha
- 3) Vida útil / utilización
- 4) Reintegración y/o demolición

Eje2. Requerimientos. Representa los conceptos a considerar para la estimación o cuantificación de la sostenibilidad del edificio. Entre los requerimientos a analizar consideramos:

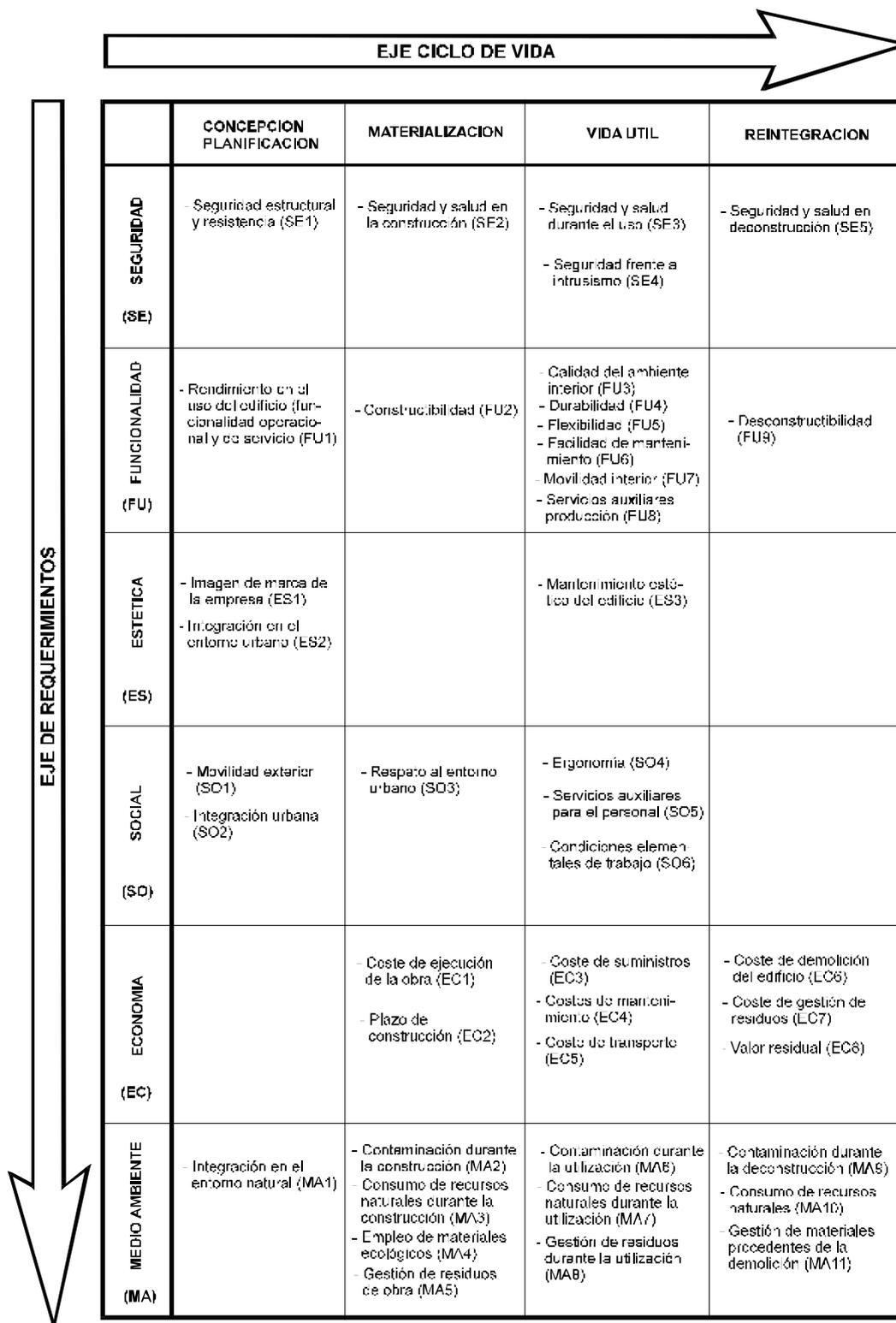
- 1) Seguridad
- 2) Funcionalidad
- 3) Estética
- 4) Social
- 5) Economía
- 6) Medio ambiente

La intersección entre las coordenadas de cada uno de estos ejes, genera un espacio o dominio, donde se definen una serie de criterios que sirven para poder evaluar las diferentes alternativas. Estos criterios necesitarán, para su medida, de la definición de otros

parámetros que son los indicadores, que permitirán poder evaluar los diferentes criterios de forma cuantitativa o cualitativa.

A continuación (Figura 3) se recogen los criterios que se proponen como criterios de medida de la sostenibilidad, relacionando éstos con cada una de las etapas o fases del ciclo de vida del edificio industrial. (Cuadrado, et al 2012)

**Figura 3: Plano de trabajo con criterios definidos**



El proceso de evaluación plantea seleccionar la mejor de entre varias alternativas para una construcción y fundamenta la selección de la misma, en un análisis del valor y del riesgo de cada alternativa, procedimiento que se desarrolla en las siguientes etapas:

- 1.- Estimación de pesos
- 2.- Construcción de la función de valor
- 3.- Calificación de las alternativas
- 4.- Evaluación de las alternativas
- 5.- Selección y justificación de la mejor alternativa

En la primera etapa correspondiente a la estimación de pesos, se definen inicialmente los pesos relativos a cada requerimiento y dentro de los mismos, se ponderan los diferentes criterios existentes y por último se realiza la ponderación de los indicadores presentes en cada criterio.

La estimación de la ponderación se lleva a cabo mediante la metodología de análisis jerárquico de procesos AHP (Analytic Hierarchy Process) debida a Saaty, procedimiento basado en la construcción de una matriz de decisión, matriz "A".

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Esta matriz cuadrada de orden "n", siendo este el n<sup>o</sup> de indicadores del criterio, o el n<sup>o</sup> de criterios por requerimiento, o el n<sup>o</sup> de requerimientos de estudio y donde cada uno de sus elementos se obtiene por comparación entre pares, según la tabla de comparación establecida por Saaty.

Mediante la normalización de esta matriz, se crea una nueva matriz B, cuyos componentes vienen definidos por la expresión:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

Con los componentes de esta nueva matriz B se calcula el vector de pesos mediante la expresión:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n}$$

Cada uno de los elementos de este vector es el peso correspondiente del requerimiento, criterio o indicador evaluado.

Para garantizar la proporcionalidad de las referencias introducidas hay que evaluar la consistencia de la matriz, que se obtiene mediante la expresión:

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \leq 0.1$$

C.R. = Consistency ratio  
 C.I. = Consistency index  
 R.I. = Random Index

Donde el índice de consistencia C.I. se define mediante la ecuación:

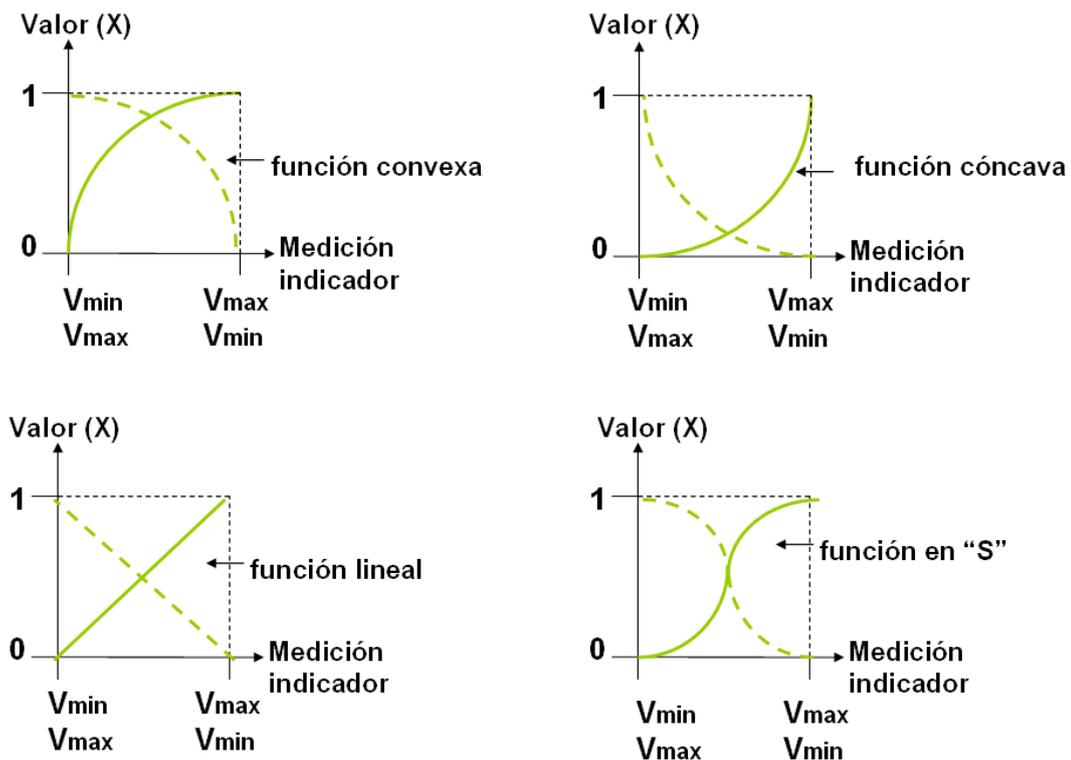
$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Siendo: " $\lambda_{\max}$ ", el vector propio máximo y "n" el orden de la matriz.

El índice de consistencia aleatoria (R.I.) es el máximo índice de consistencia de una matriz de decisión generada de forma aleatoria y únicamente depende del tamaño de la matriz, sus valores se encuentran en la siguiente tabla. Este índice fue desarrollado por el "Oak Ridge National Laboratory" para matrices de orden entre 1-15.

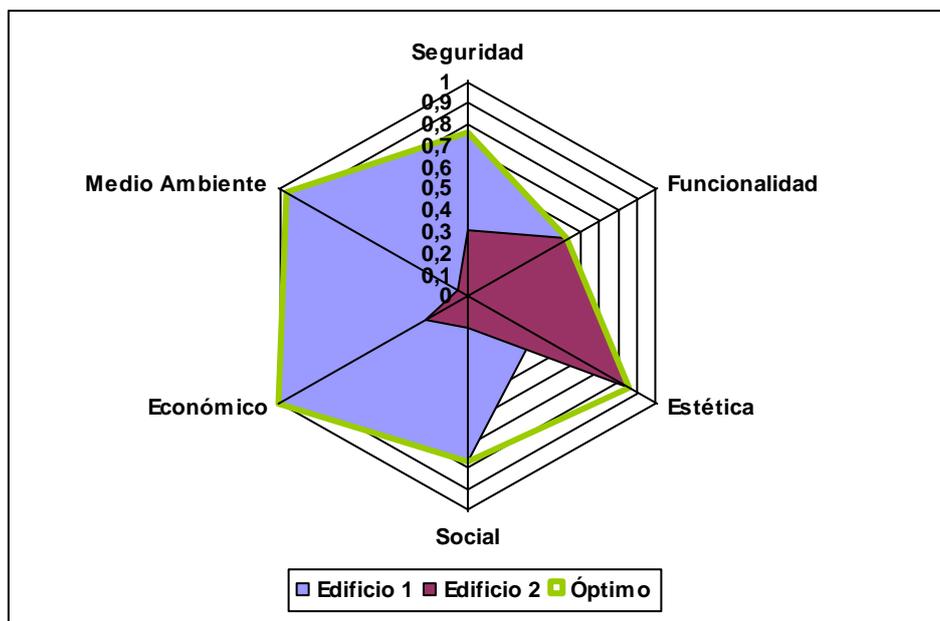
Es preciso un segundo paso en el que, a partir de una función de valor (Figura 4), capaz de medir el grado de satisfacción del evaluador respecto a la respuesta que genera una alternativa a cierto indicador. Esta función permite homogeneizar las unidades de medida de todos los indicadores convirtiéndolos en unidades de valor comparables, tomando como rango de medida el comprendido entre 0,00 y 1,00.

Figura 4: Diferentes tipos de funciones de valor



En una tercera etapa, se realiza la calificación de las alternativas, para lo cual hay que obtener los resultados de la función de valor, para los indicadores, para los criterios y para los requerimientos, de esta forma se obtiene de un modo global la puntuación obtenida por cada alternativa (Figura 5), con objeto de poder realizar una selección cuantificada que permita elegir la mejor solución atendiendo a todos los requerimientos planteados.

**Figura 5: Ejemplo de valoración de requerimientos en dos alternativas**



Esta metodología es una primera aproximación a cómo acometer la valoración de alternativas más sostenibles a introducir en el diseño del edificio industrial.

En ocasiones la concepción, desarrollo e implantación requiere la toma de decisiones en entornos de incertidumbre, tanto referidas al edificio como a las infraestructuras y sus localizaciones. Este enfoque también se basará en criterios de sostenibilidad cubriendo aspectos medioambientales, económicos y sociales, desde el nivel de materiales y energía hasta el de localización y entorno, así como otros ámbitos de decisión empresarial.

### 3. A modo de conclusión

La arquitectura industrial tradicionalmente con su expresión, resultado del empleo de unos sistemas estructurales y de materiales para la envolvente, ha ido determinando formas, volúmenes y expresiones arquitectónicas que han marcado la pauta de principios de diseño de otros tipos de edificios. Esto ha ocurrido desde la aparición de la máquina de vapor en 1756 hasta los años ochenta del siglo pasado siendo, en gran medida, soporte de la expresión arquitectónica de lo que se ha llamado en el primer cuarto del siglo XXI el Movimiento Moderno de la Arquitectura.

La excesiva preocupación por los condicionantes del precio de la inversión, los plazos de ejecución y la calidad en cuanto a producto fabricado, han hecho simplificar en gran medida la expresión arquitectónica del edificio industrial. Una expresión que está requiriendo una idea fuerte que acompañe formalmente al espacio que alberga el proceso productivo. Una idea basada en formas y volúmenes, junto a la aplicación de materiales, que complementen

el resultado de su estética, alejándose en cierta medida de la arquitectura industrial anodina e impersonal a la que nos ha llevado la industrialización de los procesos constructivos y la modulación y repetitividad de los elementos.

Por el contrario, la arquitectura de otras tipologías ha recuperado el interés por lo singular, con formas y volúmenes en algunos casos provocativas, donde el papel del sistema estructural cobra importancia en la expresividad, lo que unido a materiales, texturas y colores hacen de la arquitectura una obra estimulativa de los sentidos.

Finalmente, si bien los procesos productivos han evolucionado hacia tecnologías limpias y la potenciación e actividades I+D+i, no es menos cierto que la producción industrial no ha dejado de ser la causa de los principales impactos sobre el medio ambiente, así como uno de los mayores consumidores de energía. Desde la actividad proyectiva deben asumirse estos hechos y contemplar la misma a partir del ciclo de vida del edificio. En este sentido, el proyecto habrá de plantearse desde la propia localización industrial, pasando por la concepción de la idea, desarrollo del proyecto, construcción, puesta en marcha y explotación, así como de desmantelamiento. Una actitud de este tipo conlleva analizar los indicadores, tangibles o no, que afectan a las decisiones de toda índole sobre el edificio industrial, así como a adoptar una actitud proyectual sostenible.

#### **4. Referencias**

- Burgueño, A. (2004) El empleo de indicadores medioambientales en el sector de la construcción. II Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Santiago de Compostela.
- Cuadrado, J., Rojí, E., San José, T., Reyes, J. (2012). Sustainability index for industrial buildings. Proceedings of the I. C. E.: Structures and buildings. Vol. 165, pág. 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, 28 de marzo de 2006
- Losada, R., (2012). El espacio arquitectónico industrial. Santander: Ed. El autor
- Mateo, L., (2007). Textos instrumentales. Como hacer un proyecto. Barcelona: Ed. G. Gili
- San José, T., Garrucho, I., Losada, R., Cuadrado, J. (2007). A proposal of environmental indicators towards industrial building sustainable assessment. The International Journal of Sustainable Development and world ecology, vol: 14, pág. 160 - 173
- San José, T., Garrucho, I., Losada, R., Cuadrado, J. (2007). Approach to the quantification of the sustainable value in industrial buildings. Building And Environment. Vol:42, pág. 3916 - 3923