



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Métodos de comparación de efectos ambientales en el sector de la construcción

Autor: Ángel García Donas

Institución: FCC Construcción
E-mail: AGarciaDonas@fcc.es

Otros autores: Javier Pablo Ainchil Lavín (FCC Construcción)



RESUMEN:

La protección del medio ambiente constituye una de las preocupaciones más importantes en nuestra Sociedad y el sector de la construcción no es ajeno a esta actitud. El triángulo conceptual de la ingeniería de proyecto de coste-calidad-plazo se está viendo condicionado cada día de manera más rotunda por los requerimientos establecidos por las normativas y regulaciones medioambientales, tanto a nivel de planificación como de proyecto o ejecución. Consecuentemente todos los agentes que intervienen en este proceso deben de ser capaces de comparar en términos de respeto al medio ambiente las alternativas que lógicamente surjan de acuerdo con aquel paradigma. La presente comunicación aborda a este respecto diversas técnicas de comparación al objeto de determinar la mejor opción ante un diseño o proceso, así como discriminar varias opciones desde este punto de vista. De esta forma se consideran métodos como el Análisis de Ciclo de Vida, los Sistemas Simples a base de Indicadores y los Sistemas Integrales de Evaluación Ambiental de tipo comercial o académico existentes en el mercado, estableciéndose una valoración de las aptitudes de cada uno de ellos de cara a su eventual uso en la construcción.

ANTECEDENTES

Los efectos de la construcción en el medio ambiente son elevados. Así, de acuerdo con Arenas Cabello (2007), la mitad de los materiales empleados en el total de la industria de la Construcción proceden de la corteza terrestre, siendo el sector el responsable del 50% de los recursos naturales empleados, del 40% de la energía consumida (incluyendo la energía en uso) y del 50% del total de los residuos generados. Dichos efectos comprenden tanto la fase de extracción y procesamiento de materias primas, la de fabricación y elaboración de los materiales, la fase de empleo o uso racional de los mismos así como la fase final con su tratamiento como residuo. A los efectos producidos por los materiales deben de añadirse aquellos propios de la ejecución misma de la obra como el movimiento de tierras, que reproducen los fenómenos de emisión de polvo, consumo de energía, contaminación atmosférica y acústica y modificación de paisaje. Existe además quien incluso plantea como realidad evidente (Español, 2008) una cualidad ambiental de la obra a niveles exclusivamente formales ya que la percepción de la misma difícilmente conseguiría discernir entre el medio natural y este medio modificado por la obra.

Las variables básicas que rigen por otro lado cualquier fase de un proyecto de construcción son en un planteamiento clásico la calidad, el coste y el plazo que a manera de triángulo permiten el cumplimiento de los objetivos temporales, económicos y cualitativos previamente establecidos, y se plasman en una definición del proyecto que requiere disponer de unos recursos determinados (Pellicer y Yepes, 2005). Si bien es posible incluir la integración ambiental dentro de la variable calidad al mismo nivel que las especificaciones técnicas o que los requerimientos en materia de prevención de riesgos laborales, es pertinente considerar si en el contexto actual de escasez relativa de materias primas, exceso en la producción de residuos y tecnologías basados en recursos supuestos eternos no sería adecuado dotar a dicho paradigma de variables ambientales o incluso sociales con entidad propia, más allá de considerarlas como una mera restricción.

EVALUACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES

Si bien los beneficios económicos de diferentes soluciones de un proyecto de construcción son fácilmente cuantificables por simple comparación homogénea en moneda corriente entre alternativas, no ocurre lo mismo con los ambientales. En ciertos casos es posible recurrir a indicadores ambientales parciales (Burgueño, 2006) que pese a hallarse unívocamente definidos no reflejan la totalidad de los vectores intervinientes.

Impactos Ambientales de la Construcción

Los impactos que produce la construcción comprenden las diferentes fases o etapas de todo el proceso constructivo, es decir planificación, diseño o fase de proyecto, materialización o construcción propiamente dicha, explotación u operación y demolición o restitución. Si bien el impacto total es el resultante de la suma de todos los impactos, es evidente que muchos impactos ya vienen determinados por la fase de diseño que es donde se toman las decisiones estratégicas concretas de lo que será finalmente construido; las incidencias que ocurran en fase de materialización o explotación lograrán



como mucho mitigar una decisión erróneamente concebida. De esta manera al hablar de impactos en la construcción estos se suelen integrar de manera poco discriminada lo que contribuye a difuminar las responsabilidades de cada uno de los agentes.

Los impactos ambientales de una obra se evalúan previamente a la construcción propiamente dicha a través de diferentes métodos de Planificación Ambiental que están recogidos en el ordenamiento jurídico de los países desarrollados (Pardo, 1994). Las Directivas determinan la obligatoriedad de que las obras que sean susceptibles de afectar de manera relevante al medio ambiente cuenten con un Estudio de Impacto Ambiental redactado por equipos profesionales y técnicos competentes. El Estudio pretende evaluar los efectos de la obra o de las diferentes alternativas en cada uno de los componentes del medio, efectuar una valoración objetiva de los mismos y proponer un elenco de medidas preventivas, correctoras o compensatorias a aplicar según la opción escogida.

Es importante insistir en el carácter técnico del Estudio de Impacto Ambiental, que debe de servir para que el Órgano Ambiental tome la decisión (acto administrativo) de pronunciar una Declaración de Impacto Ambiental desfavorable o favorable, estableciendo las medidas preventivas, correctoras o compensatorias que sean precisas.

Como figura complementaria de la Evaluación de Impacto Ambiental se ha introducido posteriormente la Evaluación Ambiental Estratégica de Planes y Programas, que reproduce a escala macroscópica y en la etapa de planificación el principio preventivo medioambiental.

La legislación de Impacto Ambiental actúa pues claramente en la fase de diseño o de concepción del Proyecto de Obra, en particular de la construcción, siendo preceptivo que las conclusiones de la D.I.A. queden totalmente incluidas en el proyecto constructivo a ejecutar. Al efecto la legislación establece la obligatoriedad de para la fase de ejecución redactar un Plan de Vigilancia Ambiental y constituir una Comisión de Vigilancia Ambiental que interpreten sus prescripciones.

El Sector de la Construcción, en la fase de materialización, no es especialmente contaminante, ni su contaminación particularmente peligrosa (FCC Construcción, 2000). La actividad de la construcción consiste en la ejecución de lo que ha sido previamente decidido, planificado y proyectado. Y sus impactos son temporales y desaparecen normalmente con el cese de la actividad, aunque afecta al medio ambiente, particularmente en lo que respecta a:

- Alteración de la naturaleza y el paisaje
- Contaminación de la atmósfera y emisiones de ruido y vibraciones
- Afecciones a las aguas
- Alteración del suelo y subsuelo y manejo de sustancias peligrosas
- Interacción con el medio urbano y la ordenación del territorio
- Consumo de energía, materiales y generación de residuos
- Posibilidad de accidentes medioambientales



Para minimizar impactos ambientales, cada obra, dentro de su proceso de planificación, debe identificar los aspectos medioambientales presentes, y evaluar su relevancia de acuerdo con la magnitud o cantidad de contaminación o alteración, y la importancia o sensibilidad del medio que recibe el impacto.

SISTEMAS DE EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

Existe una gran variedad de herramientas desarrolladas a fin de evaluar de una forma unificada los impactos en el medio ambiente de una determinada construcción como por ejemplo un edificio residencial, una edificación industrial o un complejo de oficinas (CRISP, 2003). No se encuentran no obstante tan fácilmente herramientas que traten la sostenibilidad de una obra civil, por lo que se analizarán las principales herramientas disponibles y se estudiará la aplicabilidad de las mismas.

Tipos de herramientas de evaluación

La forma de evaluar la sostenibilidad en términos ambientales pasa por el empleo de herramientas que fruto de trabajos realizados en épocas recientes se han venido elaborando y perfeccionando, fundamentalmente para el campo de la construcción de edificios.

Existen diversos tipos de herramientas de evaluación según los fundamentos conceptuales que los alimentan. En primer lugar se encuentran aquellas herramientas que se basan en la ponderación de criterios e indicadores de impacto aplicados en un análisis integral a lo largo de la totalidad del ciclo de vida. Entre ellos destacan las herramientas GBC – GB Tool, VERDE y BREEAM.

GB Tool es una herramienta compleja de evaluación desarrollada a nivel internacional por el Green Building Challenge a partir de 1996 y que persigue cuantificar la autosuficiencia energética, el autoabastecimiento de agua y el empleo de materias primas cuya selección atienda a criterios de cercanía, reutilización y reciclabilidad, precisándose de una elevada cantidad de indicadores para su evaluación. (Del Caño, 2008). No evalúa la edificación en condiciones operacionales. VERDE a su vez es una herramienta desarrollada en España (CCVE, 2007) a partir de una simplificación de la anterior utilizable exclusivamente en edificios de nueva construcción y que se aplica a edificios residenciales, oficinas, y otros edificios comerciales, sanitarios o docentes. Se estructura modularmente en tres fases: pre-diseño, diseño y construcción y explotación. Por lo que respecta a BREEAM se trata de una herramienta desarrollada inicialmente en el Reino Unido pero que ha tenido adaptaciones específicas para países anglosajones o para tipologías específicas como las viviendas (Losada et al. 2006). Sigue una metodología independiente que evalúa y mejora la calidad ambiental de las edificaciones en la etapa de diseño, trabajando en un entorno de hoja de cálculo y definiendo cuatro niveles de valoración que se certifican a efectos comerciales.

Un segundo grupo de herramientas de evaluación está basado en la valoración de actuaciones a manera de check-list como por ejemplo el LEED (Triana et al., 2006), cuyas iniciales corresponden a Leadership in Energy Environmental Design y que fue diseñado por el Green Building Council de Estados Unidos a fin de establecer criterios de bienestar para los ocupantes de un edificio, reducir impactos medioambientales en fase de materialización y respetando el concepto de beneficio. La idea central es asignar



puntuaciones de 1 o 0 en función de cumplimientos o no de requerimientos técnicos establecidos que se suman para el total de los requerimientos y dan como resultado una calificación del edificio para la etapa de proyecto, otra durante la ejecución y otra con el edificio concluido.

Por último el tercer tipo de herramientas para la evaluación es aquel que recurre a la valoración de impactos mediante “ecopuntos”, de tal manera que a mayor número de ecopuntos mejor diseño ambiental. Un ejemplo de este tipo lo constituye la herramienta ENVEST del Reino Unido o la CASBEE de Japón que valora en términos homogéneos la ecoeficiencia. Por lo que respecta a ENVEST se trata de una aplicación informática que evalúa exclusivamente la fase de diseño, a partir de los impactos de tres categorías: materiales, consumos de energía y recursos consumidos sobre la vida del edificio. Los inputs del programa vienen dados por la definición geométrica del mismo aunque proporciona valores por defecto, mientras que los outputs son valores llamados ecopuntos de tal manera que 100 unidades corresponden al impacto medio de un ciudadano británico, presentados de forma numérica o gráfica, durante el ciclo de vida, en el estado previo de proyecto y en el estado actual, así como repercutidos por metro cuadrado.

En cuanto al CASBEE es una herramienta que proporciona una valoración a través de ochenta indicadores en puntos de 1 a 5 en el cual el mínimo corresponde al cumplimiento estricto de la normativa y los máximos a requerimientos superiores con mejores técnicas disponibles y costes adecuados. Presenta la característica de su vasto campo de utilización ya que abarca viviendas, oficinas, centros comerciales, hoteles, hospitales, edificios educativos y públicos, tanto para edificios existentes, rehabilitación o nueva construcción. Los indicadores valoran la ecoeficiencia como relación entre calidad del edificio, ya sea ambiente interior, del entorno o calidad de servicio, y sus cargas ambientales, divididas en energía, recursos y materiales y ambiente exterior.

Es oportuno referirse a un nuevo sistema que se halla en fase de aplicación a diferentes ámbitos no sólo del sector de la construcción denominado MIVES. La herramienta MIVES constituye en este sentido una tipo diferentes a los tres señalados, aunque puede adaptarse a cualquiera de ellos. Presenta la ventaja de su gran versatilidad, ya que aunque ha sido confeccionada específicamente para una evaluación de sostenibilidad en el caso de la edificación concretamente industrial, posee un esquema modular muy flexible que ha permitido su aplicación en procesos de tomas de decisión tan diversos como contratación de proyectos de construcción (Manga, 2006), procesos e acreditación de instituciones educativas o determinación de localizaciones óptimas para espacios de actividad económica (Losada et al. , 2006), restricciones a casos meramente ambientales y otros.

Sistemas de Evaluación Ambiental

Según Alvarez Ude (2006) los Sistemas de Evaluación Ambiental persiguen el desarrollo integrado de métodos para evaluar y presentar el potencial impacto medioambiental producido por una determinada actuación o proyecto con anterioridad a que los efectos medioambientales derivados de aquellos impactos lleguen a producirse, y con el fin último de facilitar la toma de decisiones durante el proceso de planificación y/o diseño. Complementariamente se define Análisis de Ciclo de Vida como aquel proceso

objetivo para evaluar los efectos medioambientales asociados a un producto, un proceso o una actividad, por medio de la identificación y cuantificación del uso de energía y materiales y de la emisión de residuos al entorno, así como para evaluar y aplicar medidas de reducción de dicho impacto medioambiental. En la siguiente Figura 1 extraída de Del Caño et al. (2008) se ilustra la Construcción en su concepción como ciclo de vida.

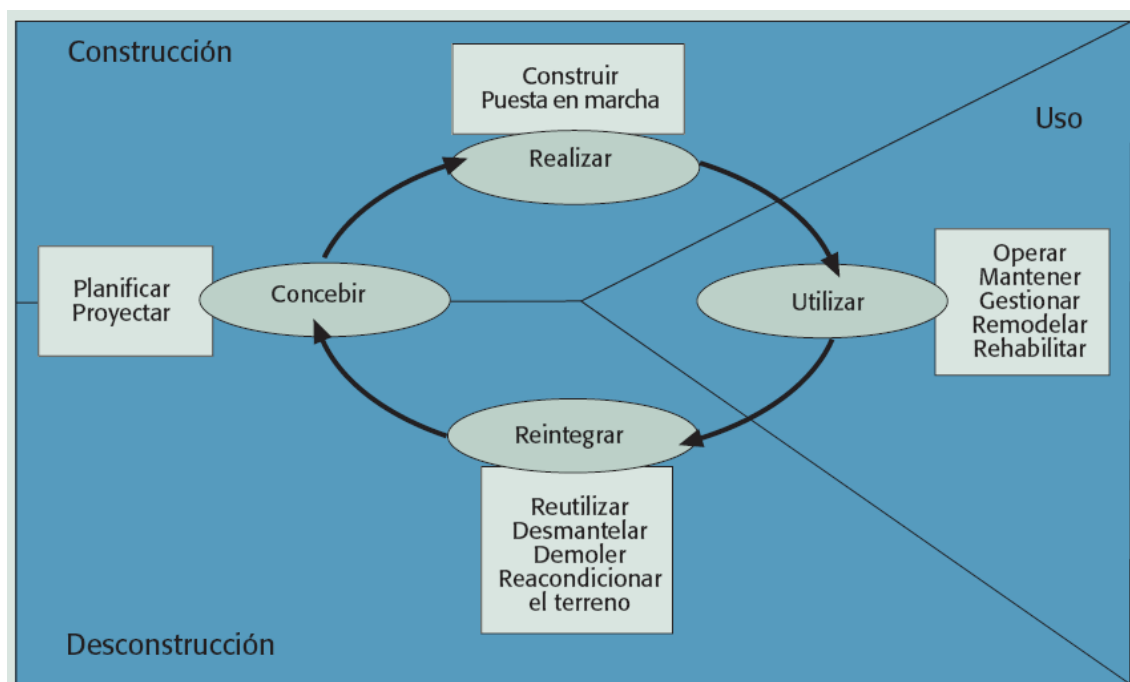


Figura 1 – Construcción y Ciclo de Vida

Un indicador es una variable que ha sido socialmente dotada de un significado añadido al derivado de su propia configuración científica, con el fin de reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente e insertarla coherentemente en el proceso de toma de decisiones. Traducen el concepto de desarrollo a términos numéricos, medidas descriptivas, signos y señales de tendencias.

Las medidas e indicadores de sostenibilidad combinan información social, económica y medioambiental, e ilustran las relaciones dentro y entre sistemas. Puede afirmarse que un indicador ambiental es una variable o estimación ambiental (un ejemplo clásico emisiones de CO₂) que prevé una información agregada, sintética, sobre un fenómeno (en el mismo caso, el cambio climático) más allá de su capacidad de representación propia. Es decir, se le dota de un significado añadido.

El sistema de indicadores es jerarquizado, de tal forma que cualquier área, se constituye como agregación de categorías y criterios del siguiente nivel, así sucesivamente hasta los niveles básicos (último nivel) cuya valoración se realizará según los datos disponibles.



USO DE INDICADORES

La mayoría de indicadores existente en construcción han sido desarrollados para edificación. Así, según el Borrador de Norma ISO AWI 21929 se define como indicador medioambiental de un edificio aquel señala un aspecto medioambiental en términos de carga o impacto (ISO, 2004). Se entienden como cargas ambientales el uso de recursos y la producción de residuos, olores, ruidos y emisiones nocivas para el suelo, agua y aire. Estas cargas ambientales están relacionadas con los impactos ambientales que pueden expresarse como categorías de impacto.

En el caso de la herramienta VERDE antes citada y a modo de un ejemplo de sistema de indicadores, esta incluye tres áreas y siete categorías en total. El área denominada Cargas Ambientales incluye como categorías el agotamiento de recursos, las emisiones al aire, agua y producción de residuos, así como los impactos locales y regionales. El área de Factores que afectan al ambiente del edificio tiene como categorías asociadas la calidad del ambiente interior y la calidad del servicio. Por último el área de Factores socioeconómicos incluye como categorías los factores económicos y los sociales. La herramienta proporciona 41 indicadores en total.

Se han venido estudiando (Arce et al., 2005) propuestas de indicadores de sostenibilidad que permita evaluar una infraestructura genérica, tanto para ser utilizados en una valoración de nivel estratégico, como para valorar una infraestructura concreta, en un nivel más local. De esta forma se intenta en los niveles macro, los indicadores de sostenibilidad contribuirán, de alguna forma, a facilitar la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), integrando las consideraciones de sostenibilidad en la evaluación de Planes y Programas, mientras los niveles de medición de la sostenibilidad de proyectos (más “micro”), se hallan cercanos a la Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.

En los últimos años se han desarrollado esfuerzos análogos desde el ámbito de las grandes empresas constructoras (Burgueño, 2004) a fin de introducir indicadores de su gestión en obra que sirvan de partida para indicadores más específicos tanto en obra civil como en edificación. A este respecto la herramienta MIVES presenta mucha más flexibilidad y capacidad de adaptación y permitirá abordar la comparación de efectos ambientales en construcción de una manera más integrada.

Los indicadores como tales han de ser exactos, inequívocos y específicos, comprensibles y fáciles de interpretar, accesibles y sencillos de obtener evitando aquellos cuya interpretación requiera largos cálculos estadísticos y matemáticos. A su vez deben ser significativos y relevantes, representando la realidad de un sistema para poder actuar en consecuencia. Deben ser sensibles a los cambios, ya que solo así se podrá evaluar de una manera rápida, sencilla y continua el desarrollo de las actuaciones ambientales. Por último deben ser válidos, científicamente solventes, y por lo tanto verificables y reproducibles, así como útiles para la acción. Proporcionan una visión rápida de la situación del medio ambiente en un entorno determinado.

SISTEMAS DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

El impacto ambiental de un producto se inicia con la extracción de las materias primas y termina cuando la vida útil del producto finaliza, convirtiéndose en un residuo que ha de ser gestionado adecuadamente. Durante la fabricación, las empresas deben evaluar el impacto ambiental que tiene su proceso; además tienen la responsabilidad sobre el impacto que ocasionan las partes involucradas en el proceso hasta que el producto llega al cliente consumidor, (por ejemplo proveedores, distribuidores y consumidores). Esta cadena, que va “desde el nacimiento hasta la tumba” es lo que se denomina ciclo de vida de un producto. El análisis del ciclo de vida (ACV) de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto. Básicamente, se enfoca al rediseño de productos bajo el criterio de que los recursos energéticos y materias primas no son ilimitados y que, normalmente, se utilizan más rápido de como se reemplazan o como surgen nuevas alternativas. Por tal motivo, la conservación de recursos privilegia la reducción de la cantidad de residuos generados (a través del producto), pero ya que éstos se seguirán produciendo, el ACV plantea manejar los residuos en una forma sostenible –desde el punto de vista ambiental– minimizando todos los impactos asociados con el sistema de manejo

Como definición del ACV podríamos considerar la siguiente: “Proceso objetivo para evaluar cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno para determinar su impacto en el medio ambiente y evaluar y poner en práctica estrategias de mejora ambiental”

La norma ISO 14040:1997 establece que “el ACV es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto, lo cual se efectúa recopilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio” La metodología considera una serie de fases de trabajo interrelacionadas, que siguen una secuencia más o menos definida, aunque en ocasiones es posible realizar un estudio no tan ambicioso obviando alguna fase. De acuerdo con la ISO 14040, el ACV consta de cuatro fases: definición de los objetivos y el alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto e interpretación de resultados. Las fases activas o dinámicas, en las que se recopilan y evalúan los datos, son la segunda y la tercera. Las fases primera y cuarta pueden considerarse como fases estáticas. A partir de los resultados de una fase pueden reconsiderarse las hipótesis de la fase anterior y reconducirla hacia el camino que ofrezca el nuevo conocimiento adquirido. El ACV es, por lo tanto, un proceso que se retroalimenta y se enriquece a medida que se realiza.

La estructura metodológica del Análisis del Ciclo de Vida se resume pues en las siguientes etapas:

- Definición de objetivos y alcance. En este punto se determina el “por qué” y el “para qué” se quiere realizar el análisis del ciclo de vida, así como también “a quién” o “a quiénes” van dirigidos y se van a comunicar los resultados obtenidos.



- **Análisis de inventario.** En este apartado se realiza la cuantificación de las entradas y salidas del sistema. Este es uno de los apartados más costosos, pero a la vez más importantes, ya que a partir de estos datos se van a obtener el resto de datos.
- **Evaluación de impacto.** La labor en este punto es caracterizar y evaluar las cargas ambientales identificadas en la fase anterior.
- **Interpretación de resultados y análisis de la mejora.** Este punto es la evaluación sistemática de las necesidades y oportunidades para reducir la carga ambiental y los daños de los sistemas de producto analizados.

La estructura del ACV se representa como una casa con cuatro habitaciones principales, que estarían representadas por las normas ISO14040, ISO14041, ISO14042 e ISO14043. En la norma ISO14040, se establecen los fundamentos de la Evaluación del Ciclo de Vida, es decir, el marco metodológico, y se explica brevemente cada una de las fases, la preparación del informe y el proceso de revisión crítica. Mientras en las tres normas restantes se explican en forma detallada cada una de las fases del ACV. Actualmente se encuentran en preparación la norma ISO/TR14047 (sobre ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la norma ISO14042), y la norma ISO14048 (sobre el formato para la documentación de datos para el ACV). Así como el reporte técnico ISO/TR14049 que versa sobre ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la norma ISO14041

Es importante la consideración del proceso global, debido a que cuando se introduce un cambio con el objetivo de disminuir las repercusiones ambientales de una determinada etapa, esta herramienta nos permite identificar si esta modificación tiene consecuencias ambientales negativas en otras etapas del ciclo de vida, y de esta forma evitar que el comportamiento ambiental del sistema en su conjunto sea peor.

PROCESO DE EVALUACIÓN SEGÚN MIVES

El MIVES define (San Jose y Josa, 2008) los siguientes pasos para cumplir con la fase de evaluación ambiental:

- Estimación de pesos
- Elaboración de la Función de Valor
- Calificación de las Alternativas
- Evaluación de las Alternativas
- Selección y Justificación de la Mejor Alternativa

Estimación de pesos

Al objeto de realizar el análisis de sostenibilidad medio ambiental deben de calcularse los pesos relativos de cada plano de requerimiento, criterio e indicador ambiental, realizados sucesivamente según este orden. Al efecto MIVES sugiere realizar dicha ponderación en tres niveles mediante el Proceso Analítico Jerárquico AHP (Saaty, 1986), a través de tres fases denominadas Construcción de la Matriz de Decisión, Cálculo del Vector de Pesos y Evaluación de la Consistencia de la Matriz.

La Matriz de Decisión es una matriz cuadrada cuyo número de filas y columnas coincide con el número de indicadores, criterios o requerimientos según el caso, y cuyos valores se obtienen por comparación entre pares de ellos a través de una escala entre 9 y 1/9 definida claramente en la bibliografía (Losada et al, 2006)

El proceso de Cálculo de Vector de Pesos requiere en primer lugar de una normalización de la Matriz de Decisión que se realiza dividiendo cada elemento de la misma por el sumatorio de los elementos de la columna donde se encuentra. Luego se suman los elementos de cada columna de la matriz normalizada y dividiendo por el número de indicadores, criterios o requerimientos se obtienen las componentes de dicho vector.

La Evaluación de la Consistencia se evalúa a través de la Relación de Consistencia que es el cociente entre el Índice de Consistencia y el Índice de Consistencia Aleatoria, valor éste último definido como máximo índice de consistencia de una matriz de decisión generada de forma aleatoria y cuyos valores son función del tamaño de la matriz y se halla perfectamente tabulados. El valor del Índice de Consistencia es función del tamaño de la matriz y de los valores de la matriz de decisión y el vector de pesos, siendo la condición de consistencia que el valor de la Relación de Consistencia supere 0,10.

En la siguiente Figura 2 (San José y Josa, 2008) se presenta de manera gráfica el proceso ya explicado de asignación de pesos a criterios, subcriterios e indicadores ambientales.

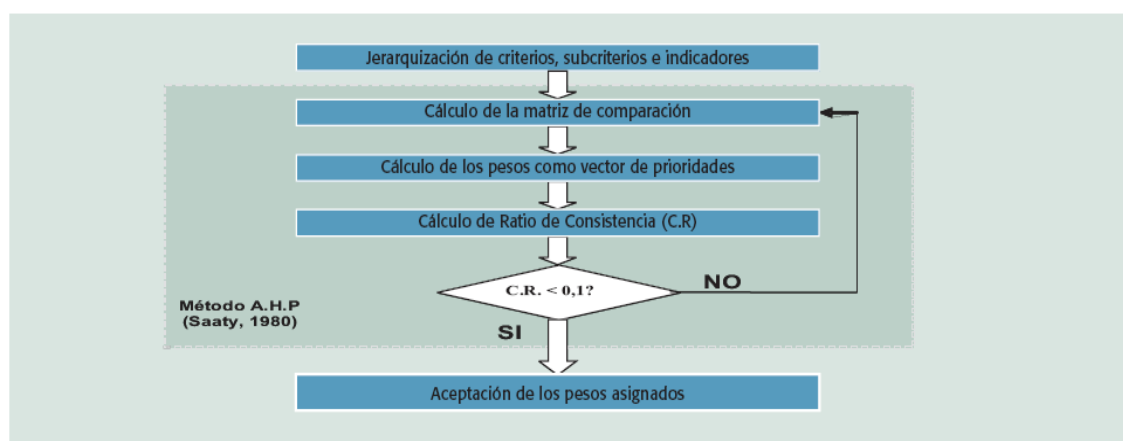


Figura 2 - Proceso de asignación de pesos a criterios, subcriterios e indicadores.

ELABORACIÓN DE LA FUNCIÓN DE VALOR

La función de valor persigue medir la satisfacción del evaluador ante la respuesta que genera una alternativa a cierto indicador. La función de valor se mueve entre 0 y 1 que son el mínimo y máximo grado de satisfacción esperable, de tal manera que resulte siempre homogénea (Aguado et al., 2008). En la construcción de la función de valor es preciso en primer lugar definir su tendencia, ya sea ascendente o descendente; aunque

pueden existir funciones de valor con tendencias mixtas estas no suelen emplearse en casos como los del presente proyecto de tesis.

A continuación de deben definir los límites en ordenadas de la función de valor que se denominan puntos de mínima y máxima satisfacción, los cuales pueden extraerse de la normativa oficial, mediante condiciones propias o surgidas de la bibliografía o en caso de gran desconocimiento comparando económicamente ofertas diferentes. Posteriormente se define la forma de la función de valor que acostumbra ser recta, cóncava, convexa o en forma de S, tal como se presenta en la figura 3 extraída de Manga (2005).

Por último se elabora la definición matemática de la función de valor, habiéndose establecido de forma general una fórmula general binómica de combinación de expresiones exponenciales con parámetros tales que se pueden conseguir tanto la tendencia, límites y forma deseada. En el caso de trabajos en equipo y dado que un mismo resultado de indicador puede generar diferente valor en cada miembro del grupo se recurre o bien a la función media o a análisis de tipo estadístico.

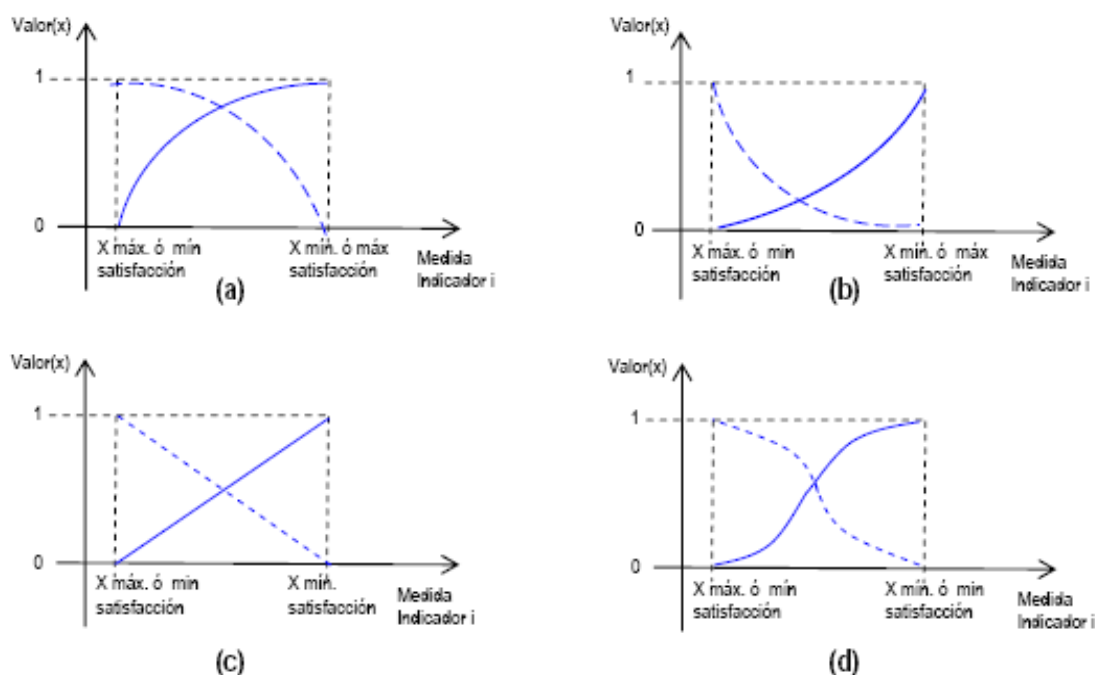


Figura 3 – Tipos de Funciones de Valor

Calificación de las Alternativas

Es posible que en muchos de los indicadores propuestos ocurra que su respuesta se vea afectada por circunstancias que la conviertan en meramente estimativa y sin conexión con la realidad que gobierna el sistema. A fin de paliar este inconveniente se ha desarrollado el concepto de respuesta de una alternativa ante un indicador como suma de dos términos denominados respuesta probabilística y repercusión de los riesgos.

La respuesta probabilística de la alternativa ante un indicador es determinada o bien puntualmente obteniendo el valor esperado o bien mediante un rango de respuestas empleando la teoría de probabilidades y cuantificándolo a partir de la media y la desviación estándar, recomendándose el uso del rango intercuartílico. La repercusión de los riesgos de la alternativa en el indicador se calcula a su vez suma de los productos de la probabilidad de ocurrencia de un riesgo por la repercusión del riesgo considerado en el indicador antes citado. Pese a lo formalmente correcto de este procedimiento es corriente especialmente en procesos constructivos no logra calcular la probabilidad asociada a cada riesgo, por lo cual el único sumando interviniente es la respuesta probabilística

Evaluación de las Alternativas

La evaluación de las alternativas tiene lugar a los tres niveles previstos de requerimientos, criterios e indicadores, pero en sentido inverso.

En primer lugar se procede a la evaluación de indicadores introduciendo el rango de respuesta en la función de valor, y se obtiene para cada alternativa un valor mínimo y máximo posible en el indicador, los cuales son empleados al objeto de definir los otros niveles del árbol.

Tras haber evaluado las alternativas en cada uno de los casos posibles se procede a la evaluación de los criterios, realizada en base a los rangos de valores hallados previamente en los indicadores, los cuales se multiplican ahora por sus pesos, obteniendo a partir de la suma de dichos productos el valor de cada criterio.

De forma análoga a lo explicado para la evaluación de criterios, una vez obtenido el valor de cada uno de ellos se realiza la evaluación de los requerimientos a través de la suma del producto de los criterios por sus pesos correspondientes. El diagrama de flujo se ilustra en la figura 4 adjunta tomada de Losada et al. (2006)

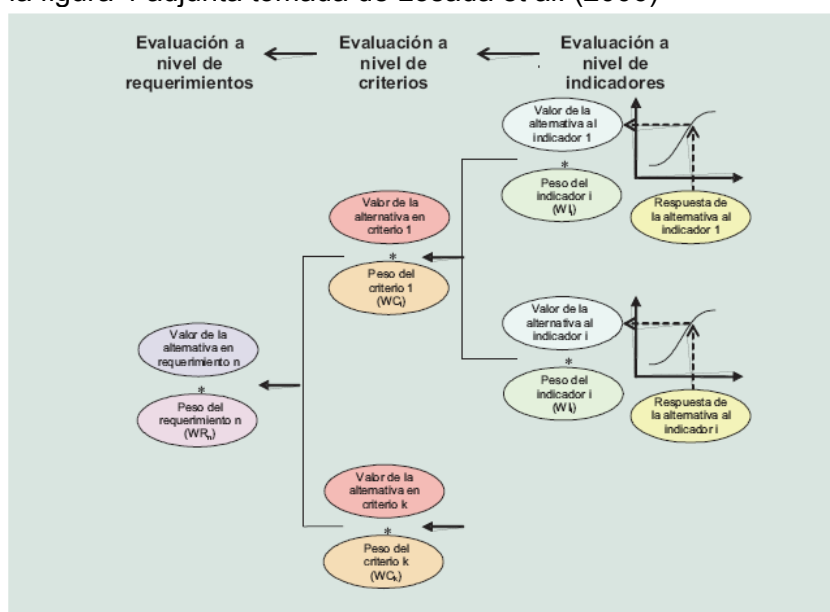


Figura 4 - Despliegue del esquema genérico de un árbol de requerimiento.

Selección y Justificación de la Mejor Alternativa

Una vez construido el algoritmo de evaluación se procede a la selección de la mejor solución que será aquella que indique el valor más elevado de índice final deseado, en el caso que nos ocupa el índice ambiental de comparación. La herramienta permite que paralelamente se varíen los parámetros implicados a fin de efectuar estudios de sostenibilidad y extraer conclusiones.

Herramienta MIVES

Tal como se ha explicado previamente el software denominado MIVES fue elaborado al objeto de evaluar de forma integrada la alternativa óptima en términos de sostenibilidad aplicada a la edificación industrial. Partiendo de los conceptos de función de valor, parámetros de respuesta de las alternativas y ponderaciones, el programa es capaz de seleccionar la opción mejor entre una ramificación de alternativas. Al emplear como lenguaje de programación Visual Basic la entrada de datos es sencilla así como la programación, evaluación y selección de la mejor opción. Los aspectos de sostenibilidad de la obra ya ejecutada se evalúan asimismo en su perspectiva medioambiental. Como guía de trabajo general puede utilizarse la gráfica 5 tomada del Global Reporting Initiative (Archel, 2003)

Categoría	Aspectos	Algunos indicadores
Medio ambiente	Materias primas	- Cantidad total (Kg.,T) de materias primas utilizadas.
	Energía	- Consumo energía. Utilización energías renovables.
	Agua	- Consumo de agua. Agua reutilizada y reciclada.
	Biodiversidad	- Cambios en los hábitat naturales a consecuencia de las actividades de la organización.
	Emisiones y vertidos	- Emisiones de gases invernadero (CO ₂ , N ₂ O, NO _x).
	Proveedores productos y servicios	- Actitud de los proveedores con relación al m.a. - Ciclo de vida. Impacto medioambiental del producto.
	Cumplimiento	- Sanciones por incumplimiento de convenciones
	Transporte	- Medio de transporte utilizado con fines logísticos.
	Otros	- Políticas para minimizar el impacto medioambiental. Gastos medioambientales.

Figura 5 – Categorías, Aspectos e Indicadores Ambientales

CONCLUSIONES

Tanto los sistemas comerciales de comparación en términos medioambientales en edificación (GB Tool, VERDE, LEED y otros), los sistemas a base de indicadores elementales como los sistemas de análisis de ciclo de vida adolecen de limitaciones en cuanto a la posibilidad de comparar en términos homogéneos así como en poder dar un único parámetro. La aplicación MIVES aparece en este caso como muy flexible por lo que es de desear que se produzcan nuevos desarrollos al respecto. Es lícito finalmente interrogarse sobre si en el contexto actual tiene sentido el seguir planteando las variables no financieras de la sostenibilidad como meras condiciones de contorno o limitaciones dentro del esquema de coste, calidad y plazo que rige la ingeniería y en particular la obra civil.



REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Aguado, A., Alarcón, B., Manga, R. (2008)
Razón de ser del anejo ices de la ehe y características del mismo. Revista Cemento Hormigón. Número 913. Año LXXIX. Madrid
- Álvarez-Ude, L. (2006)
Sistemas de evaluación y calificación. Carencias en la información: un reto al sector. III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. "Agua, Biodiversidad e Ingeniería". Zaragoza, 26 de octubre de 2006
- Arce, R., Palomino, C., García de Durango, J. (2007)
Propuesta de indicadores para la sostenibilidad de las infraestructuras. III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Zaragoza
- Archel, P. (2003)
Las Memorias de Sostenibilidad de la Global Reporting Initiative. Quinto Congreso de Economía de Navarra "Economía y Desarrollo sostenible". Pamplona
- Arenas Cabello, F. J. (2007)
El impacto ambiental en la Edificación. Criterios para una construcción sostenible, Edisofer, Madrid
- Burgueño, A. (2004)
El empleo de indicadores en el sector de la construcción. II Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Santiago de Compostela
- CCVE – Consejo Construcción Verde España (2007)
Página web del Consejo Construcción Verde España (Madrid), incluyendo información sobre la certificación del sistema Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) en España. Web <http://www.spaingbc.org>, consultada en marzo de 2007.
- CRISP: A European Thematic Network on Construction and city Related Sustainability Indicators (2003).
Development and practical use of indicators. Sophia-Antipolis, (France).
- Del Caño, A., De la Cruz, M.P.. (2008)
Bases y criterios para el establecimiento de un modelo de evaluación de la sostenibilidad en estructuras de hormigón. Revista Cemento Hormigón. Número 913. Año LXXIX. Madrid
- Español, I. (2008)
Las Formas de la Obra Pública en el Paisaje. Revista Ingeniería y Territorio. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Número 81, página 97. Barcelona
- FCC Construcción (2000)
Comunicación Medioambiental 2000. Madrid



ISO (2004)

ISO/AWI TR 21932. Buildings and constructed assets -- Sustainability in building construction – Terminology. ISO Standards – Draft . International Organisation for Standardisation. Geneva. Switzerland

Losada, R., Roji, E., Cuadrado, J., Larrauri, M., Aguado, A., Josa, A. , Alavedra, P., Ormazabal, G., Alarcón, B., Manga, R., Jiménez, J.L., San José, J.T., Garrucho, I., García, D. (2006)

La medida de la sostenibilidad en la edificación industrial. Modelo Integrado de Valor de Edificios Sostenibles (MIVES). Barcelona 2006

Manga Conte, Resmundo (2006)

Una nueva metodología para la toma de decisión en la gestión de la contratación de Proyectos Constructivos. Tesis Doctoral .Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona

Pardo, M. (1994)

El impacto social de la obra publica: su conceptualizacion y practica en las evaluaciones de impacto ambiental. Revista de Española de Investigaciones Sociológicas, 66:141-171. Madrid

Pellicer, E.; Yepes, V. (2005)

Consideraciones sobre la función de control aplicada a la gestión de proyectos de construcción. Actas IX Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Málaga, 22, 23 y 25 de junio de 2005

Saaty, T.L. (1986)

The Analytic Hierarchy Process. MacGraw-Hill. New York.

San Jose, T., Josa, A.(2008)

Planteamiento MIVES para la evaluación. El caso de la EHE. Revista Cemento Hormigón. Número 913. Año LXXIX. Madrid

Triana, M.A., Cybis, A., Ruttkay, F. (2006)

Sustainability criteria as a helping tool for developing architectural projects. PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September