

MIVES: MODELO INTEGRADO DE VALOR PARA EVALUACIONES DE SOSTENIBILIDAD - ICSMM 2009

B. Viñolas^{*}, F. Cortés², A. Marques³, A. Josa⁴, A. Aguado⁵

^{*,3,4,5} Universidad Politécnica de Cataluña
ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
C. Jordi Girona, 1-3. 08034 – Barcelona, Spain
e-mail^{*}: bernat.vinolas@upc.edu
e-mail³: albert.marques@upc.edu
e-mail⁴: alejandro.josa@upc.edu
e-mail⁵: antonio.aguado@upc.edu

² Universidad Politécnica de Cataluña
Institut de Robòtica i Informàtica Industrial
C. Llorens i Artigas, 4-6. 08028 - Barcelona, Spain
e-mail²: fernando.cortes@upc.edu

Palabras clave: AHP, Índice de Valor, Función de Valor.

Resumen. *La valoración y agregación cuantitativa de los distintos requisitos que constituyen los tres pilares básicos de la sostenibilidad es importante para poder comparar de forma objetiva la incidencia relativa de alternativas de materiales o procesos e introducir mejoras. La mayoría de estos requisitos tienen unidades de medida diferentes. Por ello, para valorar el grado de sostenibilidad, es importante basarse en metodologías multicriterio de valoración que permitan valorar y ponderar todos estos requisitos de diferente índole. La metodología multicriterio y programa informático aquí presentado, “MIVES¹: Modelo integrado de valor para evaluaciones de sostenibilidad”, permite obtener un único índice de valor que mide el grado de sostenibilidad del material o proceso evaluado.*

En las primeras fases de la metodología MIVES se realiza un modelo de valoración. En éste, se establecen las condiciones de contorno y los límites del sistema, se estructuran todos los aspectos que serán estudiados, se decide qué funciones de valor se utilizarán para valorar cada uno de los aspectos y por último se determina la importancia de cada uno de ellos. En estas primeras fases es donde realmente se toma la decisión, es decir, se definen los aspectos que serán estudiados y la forma de valorarlos sin estar condicionado por las valoraciones de las alternativas. Posteriormente, se seleccionan y valoran las alternativas.

Las aplicaciones de la metodología MIVES son numerosas. Cabe destacar el Anejo 13 de la Instrucción del hormigón², que sirve para medir el grado de sostenibilidad de las estructuras de hormigón. La metodología desarrollada representa un avance en términos de valoración, ya que se dota de objetividad y claridad en los procedimientos. A la vez, permite que cualquier persona pueda estudiar la sostenibilidad de otras alternativas a partir del modelo de valoración creado.

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este artículo es explicar la metodología MIVES– Modelo integrado de valor para evaluaciones sostenibles - integrando todas las aportaciones realizadas por los distintos autores, hasta el momento. Para la implementación práctica de dicha metodología también se presenta el programa MIVES, herramienta informática que se basa en la misma metodología y que puede aplicarse a cualquier ámbito.

Un problema de toma de decisiones con criterios múltiples o multicriterio (MCDM) se plantea cuando un decisor tiene que elegir entre un conjunto de alternativas³, continuo o discreto, teniendo en cuenta distintos criterios o puntos de vista. MIVES es una metodología de toma de decisión multicriterio que evalúa cada una de las alternativas que pueden resolver un problema genérico definido, a través de un índice de valor. Esta metodología se engloba dentro de la teoría de utilidad multiatributo⁴ ya que para obtener el índice de valor de cada alternativa se realiza una suma ponderada de las valoraciones de los diferentes criterios considerados, admitiendo que existe certidumbre. Es decir, las preferencias del decisor respecto a los indicadores planteados son conocidas.

Una de las características más importantes de la metodología MIVES y que la diferencia de muchas otras, es que el planteamiento de todo el modelo de valoración es anterior a la creación de las alternativas. De esta forma, las decisiones se toman al inicio, cuando se definen los aspectos que se tendrán en cuenta y cómo serán valorados. La ventaja de este planteamiento es que la toma de decisión se realiza sin que exista influencia de las valoraciones de las alternativas evitando que se produzca cualquier tipo de subjetividad.

Las fases de la metodología MIVES son:

- Delimitación de la decisión: se define quien toma la decisión, se fijan los límites del sistema y se establecen las condiciones de contorno.
- Introducción del árbol de toma de decisión: se ordenan de forma ramificada los aspectos que se tendrán en cuenta en la decisión.
- Creación de las funciones de valor: se crean unas funciones para poder obtener valoraciones de 0 a 1 de todos los aspectos pertenecientes a la última ramificación.
- Asignación de pesos: se asigna la importancia relativa de cada uno de los aspectos en relación a los restantes pertenecientes a una misma ramificación.
- Definición de las alternativas: se definen diversas alternativas factibles al problema de toma de decisión planteado. En algunos casos, las alternativas están prefijadas al inicio de la toma de decisión y por ello, no se debe realizar esta fase.
- Valoración de las alternativas: se obtiene el índice de valor para cada una de las alternativas planteadas.
- Realización de un análisis de sensibilidad: se analiza el posible cambio del índice de valor de cada una de las alternativas en el caso de variar los pesos o las funciones de valor definidas en las primeras fases. Esta es una fase opcional dentro de la metodología MIVES.

2 FASES DE LA METODOLOGÍA MIVES

2.1 Delimitación de la decisión

En esta etapa se estructura y delimita la toma de decisión que se va a realizar. Los aspectos fundamentales de ésta son:

- Quién toma la decisión. En una decisión pueden intervenir distintos agentes con distintos puntos de vista. En muchos casos, no existe una alternativa que sea la mejor en cada uno de los aspectos considerados. Por ello, obtener la mejor alternativa no es inmediato y depende de quien tome la decisión, respondiendo a sus intereses, claramente definidos.
- Cuáles son los límites del sistema. Para identificar la toma de decisión, ésta se estructura en tres ejes tal y como puede verse en la figura 1, las líneas que separan los diferentes cubos con color más claro son los límites del sistema, siendo estos cubos los que serán estudiados en la toma de decisión. En uno de los ejes, la toma de decisión se descompone en todo su ciclo de vida. Entendiendo por tal las fases temporales de las diferentes alternativas. En otro eje, la toma de decisión se divide en todos sus componentes, es decir, en las partes que componen las diferentes alternativas. Finalmente, en el último eje figuran todos aquellos requerimientos o aspectos en los que se quieren valorar las diferentes alternativas. El descomponer o estructurar la toma de decisión en tres ejes, ayuda a definir de forma muy precisa cuál es la toma de decisión. De esta forma, se disminuye considerablemente el riesgo de olvidarse algún requerimiento, componente o etapa del ciclo de vida y se obtienen valoraciones de alternativas comparables y homogéneas.

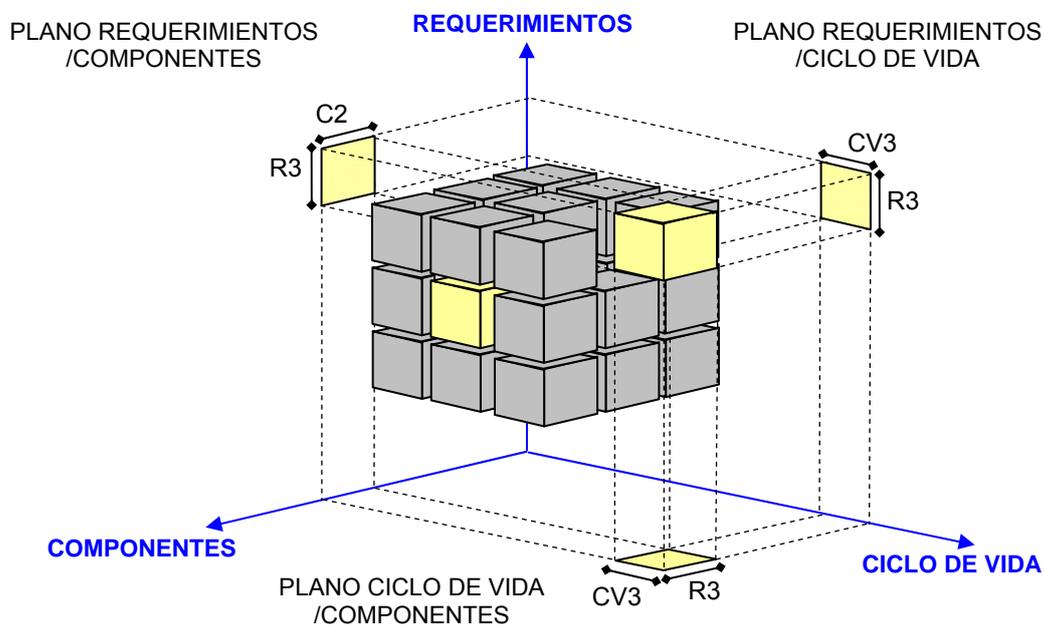


Figura 1: Estructura general de la toma de decisión

- Qué condiciones de contorno existen. Las circunstancias que rodean a la toma de decisión pueden ser diferentes dependiendo de factores: temporales, geográficos, climatológicos, tipo de sociedad, etc. Para que la valoración de las alternativas que solucionan un problema sea comparable, las condiciones de contorno deben ser iguales. Lo que evidentemente puede ser diferente, es la cuantificación de una alternativa u otra, es decir, la solución que ofrece cada alternativa al problema dado. Pero el planteamiento inicial del problema debe ser el mismo para poder comparar qué solución es mejor. Algunas de estas condiciones de contorno pueden llegar a ser condicionantes del tipo pasa o no pasa, es decir, en una toma de decisión pueden aparecer condicionantes del tipo económico, temporal, etc. en las que las alternativas no deben superar ciertos límites. La lista completa de los condicionantes de pasa o no pasa se denomina la lista de chequeo, es decir un listado de condiciones mínimas que deben cumplir aquellas alternativas que quieran ser valoradas. En el caso de que la cuantificación de alguno de los condicionantes esté por debajo o por arriba de los límites predeterminados, la alternativa no será valorada.

2.2 Árbol de toma de decisión

El árbol de toma de decisión es la ordenación en forma ramificada de todos aquellos aspectos que serán estudiados y que se han estructurado en la primera fase. En la figura 2 se muestra de forma genérica un árbol de toma de decisión. Existen varios niveles en la ramificación, a la vez que cada ramificación puede subdividirse en muchos o pocos subniveles. En los primeros niveles, se encuentran los aspectos más cualitativos y generales denominados requerimientos. Para realizar una valoración del grado de sostenibilidad de las diferentes alternativas, los requerimientos suelen coincidir con los tres pilares básicos de la sostenibilidad: pilar económico, social y medioambiental.

En los niveles intermedios de la ramificación se encuentran los criterios y subcriterios, y en los últimos niveles de la ramificación se encuentran los aspectos más concretos y que van a ser evaluados directamente: los indicadores. Cosa que no sucede con los criterios y requerimientos. No se aconseja realizar más de 3 ó 4 ramificaciones y que el número de indicadores sea superior a 20 ya que las valoraciones de los indicadores poco importantes, pueden diluir los resultados de los indicadores realmente importantes⁵.

Es importante realizar una correcta estrategia para obtener un buen árbol de toma de decisión. Por ello, es bueno, que los requerimientos y en muchos casos, los criterios, sean escogidos por los políticos o gestores. La razón es que son ellos los que deben definir los aspectos que consideran más importantes o las líneas generales de mejora que deben seguirse. También deben decidir el peso o la importancia relativa de éstos. Para los indicadores, deben ser los técnicos que definan cuáles deben ser ya que estos aspectos tienen un carácter más específico y la mayoría de veces son las características técnicas las que nos pueden conducir a saber qué indicadores son los apropiados para los diferentes criterios. En el caso de las funciones de valor y la asignación de pesos para estos indicadores (las 2 siguientes fases) también son los técnicos los que los tienen que definir.

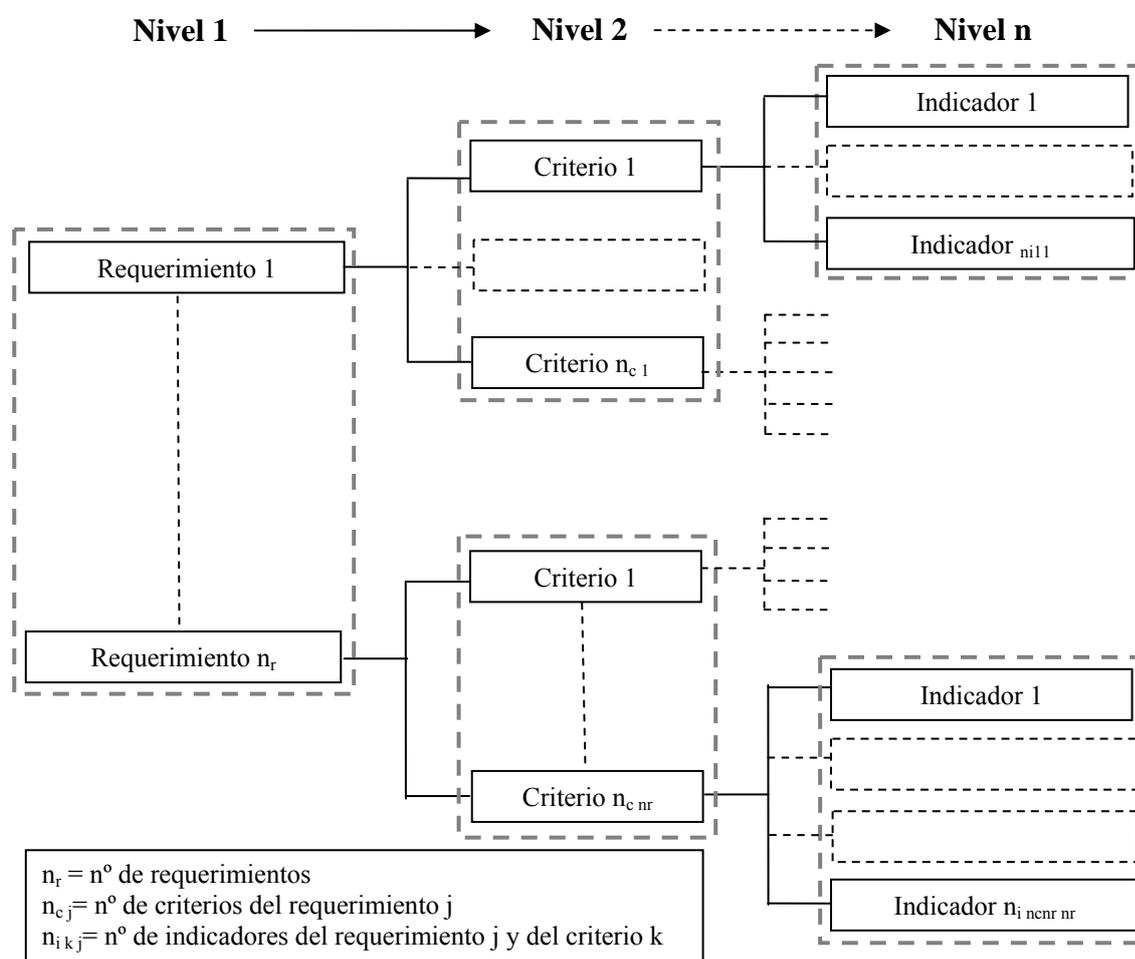


Figura 2: Árbol de toma de decisión genérico

Los requerimientos, criterios e indicadores deben representar de forma fiel lo que realmente se quiere valorar. En la figura 3 se representa un puzzle, cuyas piezas son los diferentes indicadores seleccionados. El rectángulo completo constituye el ámbito de toma de decisión, las líneas continuas y discontinuas subdividen los diferentes requerimientos y criterios respectivamente. Para obtener un correcto árbol de toma de decisión, la situación ideal sería llenar todo el ámbito de toma de decisión mediante las diferentes piezas del puzzle. Por ello, debe conseguirse, que estas piezas ocupen las zonas del ámbito de decisión de los diferentes criterios y requerimientos sin solaparse ni ocupar zonas que no les pertenecen. Es decir, zonas del ámbito de decisión de otros criterios, requerimientos o fuera del ámbito de toma de decisión.

Las características principales de los indicadores escogidos en el árbol de toma de decisión deben ser: representativos, discriminantes, complementarios, relativos, cuantificables, precisos y trazables⁶.

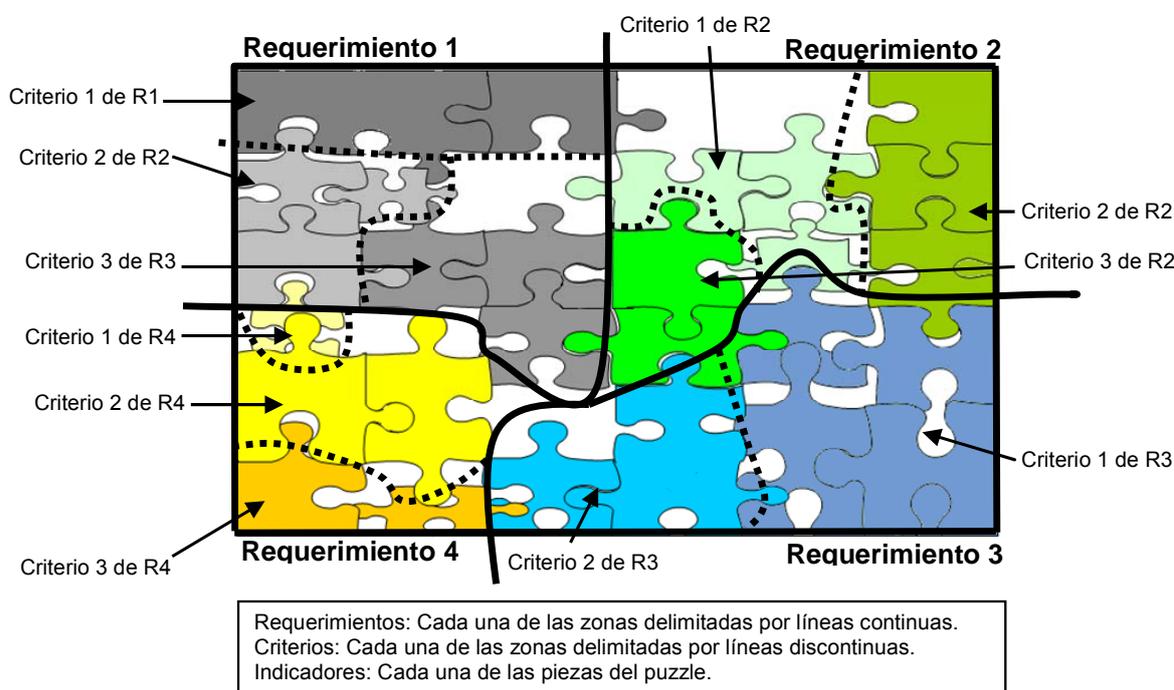


Figura 3: Representación gráfica del ámbito de valoración de los indicadores

2.3 Funciones de valor

El objetivo principal de la función de valor es poder comparar las valoraciones de los indicadores con unidades de medida diferente. Por ejemplo, se trata de poder comparar variables del tipo: tiempo, coste, temperatura, indicadores cuantificados por atributos, etc. De esta forma, se podrá realizar una suma ponderada de las diferentes valoraciones de cada uno de los indicadores. La función de valor permite pasar de una cuantificación de una variable o atributo a una variable adimensional comprendida entre 0 y 1.

Para la fase de valoración de los indicadores, se plantean diferentes funciones de valor para cada uno de ellos. Estas funciones de valor, que varían entre 0 y 1 en el eje de ordenadas, representan estado de valoración nula o valoración máxima (saturación), respectivamente, para cada uno de los indicadores. En el eje de las abscisas se encuentra la variable del indicador, que en el caso de ser un atributo puede convertirse en una variable mediante una tabla de puntuación.

La función de valor usada se define mediante cinco parámetros que, al variarlos, permite obtener todo tipo de formas: forma de S, cóncavas, convexas, o lineales. Los parámetros que definen el tipo de función son: K_i , C_i , $X_{máx.}$, $X_{mín.}$ y P_i (ec. (1) para funciones crecientes). El valor de B se calcula partiendo de los 5 valores anteriores (ec. (2)).

$$V_{ind} = B \cdot \left[1 - e^{-K_i \cdot \left(\frac{|X - X_{min}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right] \quad (1)$$

donde: X_{min} . es el valor en abscisas, cuya valoración es igual a cero (en el caso de funciones de valor crecientes).

X es la abscisa del indicador evaluado (variable para cada alternativa).

P_i es un factor de forma que define si la curva es cóncava, convexa, recta o con forma de “S”. Obteniéndose curvas cóncavas para valores de $P_i < 1$, convexas o en forma de “S” si $P_i > 1$ y tendiendo a rectas para valores $P_i = 1$. Además determina de forma aproximada la pendiente de la curva en el punto de inflexión de coordenadas (C_i, K_i) .

C_i se aproxima a la abscisa del punto de inflexión.

K_i se aproxima a la ordenada del punto de inflexión.

B es el factor que permite que la función se mantenga en el rango de valor de 0 a 1. Este factor viene definido por la ecuación (2).

$$B = \left[1 - e^{-K_i \cdot \left(\frac{X_{max} - X_{min}}{C_i} \right)^{P_i}} \right]^{-1} \quad (2)$$

siendo X_{max} . la abscisa del indicador que genera un valor igual a 1 (en el caso de funciones de valor crecientes).

La ecuación de la función de valor varía según los valores que se asignen a las constantes⁵: K_i , C_i , X_{max} , X_{min} . y P_i . Alternativamente pueden utilizarse funciones decrecientes, esto es, que adopten el valor máximo en X_{min} . La única diferencia de la función de valor es que se sustituye la variable X_{min} . por la variable X_{max} .

Existen otras posibilidades de utilizar otro tipo de funciones de valor genérica. Por ejemplo la ecuación de la tangente hiperbólica⁷.

Dependiendo de la elección del punto de máxima y mínima satisfacción las valoraciones de cada uno de los indicadores pueden variar de forma considerable llegándose a diluir ciertos resultados. Para determinar los puntos de mínima y máxima satisfacción el usuario puede ayudarse de 3 opciones:

- Utilizar la normativa vigente. En muchos indicadores utilizados: medioambientales, funcionales, etc. existe una normativa que como mínimo regula los valores mínimos exigidos.
- Según la estrategia del decisor o ciertos condicionantes de la toma de decisión. Mayoritariamente, podrían ser indicadores de tipo económico o de plazo.

- Comparación entre alternativas. Si el rango entre $X_{\min.}$ y $X_{\max.}$ es mucho mayor al rango de resultados, todas las alternativas quedan valoradas de forma parecida. Por el contrario, si el rango es muy pequeño, la valoración del indicador será 0 ó 1 en función de la alternativa estudiada. Para evitarlo, se recomienda realizar la función acumulada de las cuantificaciones de las alternativas y ajustar los valores $X_{\min.}$ y $X_{\max.}$ de la función de valor.

En el caso de que existan ordenadas por fuera de los límites establecidos, la valoración del indicador adoptará el valor de 0 ó 1 siempre y cuando no se superen los valores límite de la lista de chequeo. En tal caso, la alternativa estudiada quedaría descartada.

2.4 Asignación de pesos

La asignación de pesos se realiza dentro de una misma ramificación, es decir, se comparan aspectos que sean homogéneos. Así, los pesos de los indicadores se calculan en relación a otros pertenecientes a un mismo criterio. Igualmente se hace con los criterios, se calcula el peso de un criterio en relación a los restantes pertenecientes a un mismo requerimiento. Todos estos aspectos considerados homogéneos están encuadrados en la figura 2 (árbol de toma de decisión genérico) que aparece en el apartado 2.2.

Los pesos de los requerimientos, criterios e indicadores se pueden determinar tanto mediante una puntuación directa (en el caso de pocos elementos componentes del grupo de comparación) como a través de la metodología AHP (Analitical Hierarchy Process – Proceso Analítico Jerárquico)⁸.

AHP se basa en una comparación por pares de todos los elementos entre ellos. Esta comparación se hace de acuerdo con una escala propuesta por Saaty⁸, en la que se admiten las situaciones intermedias y los inversos:

- 1: Igual importancia
- 3: Ligeramente más importante o preferido
- 5: Más importante o preferido
- 7: Mucho más importante o preferido
- 9: Absolutamente o extremadamente más preferido

Ello da lugar a una matriz de comparación como la de la tabla 1 para cada bloque de comparación cuyas características son:

1. Matriz diagonal con valor 1 en toda la diagonal como consecuencia de que cuando se compara la importancia de un elemento consigo mismo el resultado, evidentemente, es que tendrá igual importancia.
2. El elemento inverso de la matriz es el número inverso. Por ejemplo si el indicador i respecto al indicador j tiene una importancia de 4, cuando se compara el indicador j con el indicador i será el valor inverso, es decir 1/4.

$$\begin{vmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

Tabla 1: Matriz “A” de comparación por pares

De cada matriz de comparaciones resultante de cada bloque homogéneo (requerimientos, criterios e indicadores), el vector propio de esta matriz define los pesos de cada uno de los requerimientos, criterios e indicadores utilizados (valor de w en la ec. (3)); de hecho, el cálculo del vector propio, es aproximadamente, la media de los n pesos de un mismo aspecto obtenidos a partir de la comparación de la importancia relativa de todos los aspectos con uno de ellos tomado como de referencia. Al existir n elementos de referencia (los n aspectos), se pueden obtener los n pesos para cada uno de los aspectos considerados.

$$A w = \lambda_{\text{máx.}} w [Id] \text{ }^1 \quad (3)$$

Por otro lado, se debe calcular la consistencia (o no) de las comparaciones. Para ilustrarlo, consideremos que “A” es el doble de importante que “B” y “B” el doble de importante que “C”, de lo que se desprende que “A” debe ser cuatro veces más importante que “C”. Si la comparación entre “A” y “C” se aleja mucho de 4, significa que los juicios no son muy consistentes. El autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx.}}$ de la ec. (3)) de la matriz de comparación es una medida de la consistencia de todos los juicios realizados. El cálculo de la consistencia de los juicios es función del cálculo del autovalor. El autovalor máximo de la matriz de comparación es igual a n en el caso que la matriz sea totalmente consistente. Este autovalor, aumenta a medida que aumenta la inconsistencia⁹. Así pues, cuanto mayor es el autovalor mayor será la inconsistencia de los juicios realizados.

Para calcular la consistencia o no de la matriz de comparación, se parte del concepto de Índice de consistencia (C.I.) y del Índice de consistencia aleatoria (R.I.). El índice de consistencia (C.I.), se define mediante la ecuación (4):

$$C.I. = \frac{\lambda_{\text{máx.}} - n}{n - 1} < 0,1 \quad (4)$$

donde, $\lambda_{\text{máx.}}$ es el autovalor máximo.

El índice de consistencia aleatoria (R.I.) es la media de todos los índices de consistencia (C.I.) de una matriz de comparación generada de forma aleatoria. Sólo depende del tamaño de la matriz y toma los valores que se encuentran en la Tabla 2⁹.

n	RI	n	RI
1	0	7	1,341
2	0	8	1,404
3	0,525	9	1,452
4	0,882	10	1,484
5	1,115	11	1,513
6	1,252	12	1,535

Tabla 2: Índice de consistencia aleatorio (R.I.)

¹ Sea A una matriz $n \times n$. Se denomina autovalores de A ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$) a las soluciones de la ecuación $\det (A - \lambda Id) w = 0$ donde Id es la matriz identidad. La solución w asociada a cada autovalor se denomina autovector. $\lambda_{\text{máx.}}$ es el autovalor mayor de todos.

La relación de consistencia (C.R.) es la relación entre la consistencia de la matriz de comparación (C.I.) y la media de las consistencias de todas las matrices de comparación posibles de orden $n \times n$ (R.I.; ec. (5)). El valor de C.I. depende del autovalor de la matriz de comparación (ec. (5)) y el valor de R.I. aparece en la tabla 2 y depende del tamaño de la matriz, es decir, de n . Para que una matriz de comparación se considere consistente, el valor de C.R. no debe superar 0,1.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} < 0,1 \quad (5)$$

donde:

C.R. = Relación de consistencia (Consistency ratio)

C.I. = Índice de consistencia (Consistency index)

R.I. = Índice de consistencia aleatoria (Random Index)

2.5 Definición de las alternativas

Una vez adoptada la decisión a tomar, creado el árbol de toma de decisión con todas las funciones de valor y realizada la asignación de pesos, el paso siguiente consiste en definir las posibles alternativas que pueden presentarse para su posterior valoración. En algunos estudios, las alternativas ya han quedado definidas inicialmente y por ello esta no debe realizarse.

3 VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Para obtener la valoración de las alternativas se debe, anteriormente, valorar los indicadores, criterios y requerimientos. Los indicadores son los únicos aspectos que son valorados directamente. La forma como se realiza la valoración de indicadores, criterios y requerimientos, se muestra gráficamente en la figura 4 y se explica a continuación:

- *Valoración de indicadores*: la valoración de los indicadores se obtiene a partir de la función de valor y la cuantificación de cada alternativa en el indicador estudiado. La cuantificación de la alternativa es la abscisa del punto de la función de valor, cuya ordenada, es la valoración del indicador para esa alternativa.
- *Valoración de criterios*: tal como se muestra en la figura 4 y en la ecuación (6), la valoración de criterios se obtiene a partir de las valoraciones de los indicadores pertenecientes a ese mismo criterio multiplicado por sus pesos.

$$V_{Criterio} = \sum_{i=1}^n V_{indicador} \times Peso_{indicador} \quad (6)$$

donde:

n es el número de indicadores pertenecientes al criterio valorado.

- *Valoración de requerimientos*: de forma similar a lo explicado para la valoración de criterios se valoran los requerimientos (figura 4 y ec. (7)). La valoración de los

requerimientos es el sumatorio de las valoraciones de los criterios pertenecientes a ese mismo requerimiento multiplicado por sus pesos.

$$V_{Requerimiento} = \sum_{i=1}^n V_{Criterio} \times Peso_{criterio} \quad (7)$$

donde:

n es el número de criterios pertenecientes al requerimiento valorado

- **Índice de valor de las alternativas:** la valoración de las alternativas se obtiene sumando las valoraciones de los requerimientos multiplicados por sus pesos (figura 4 y ecuación (8)).

$$V_{Alternativa} = \sum_{i=1}^n V_{Requerimiento} \times Peso_{requerimiento} \quad (8)$$

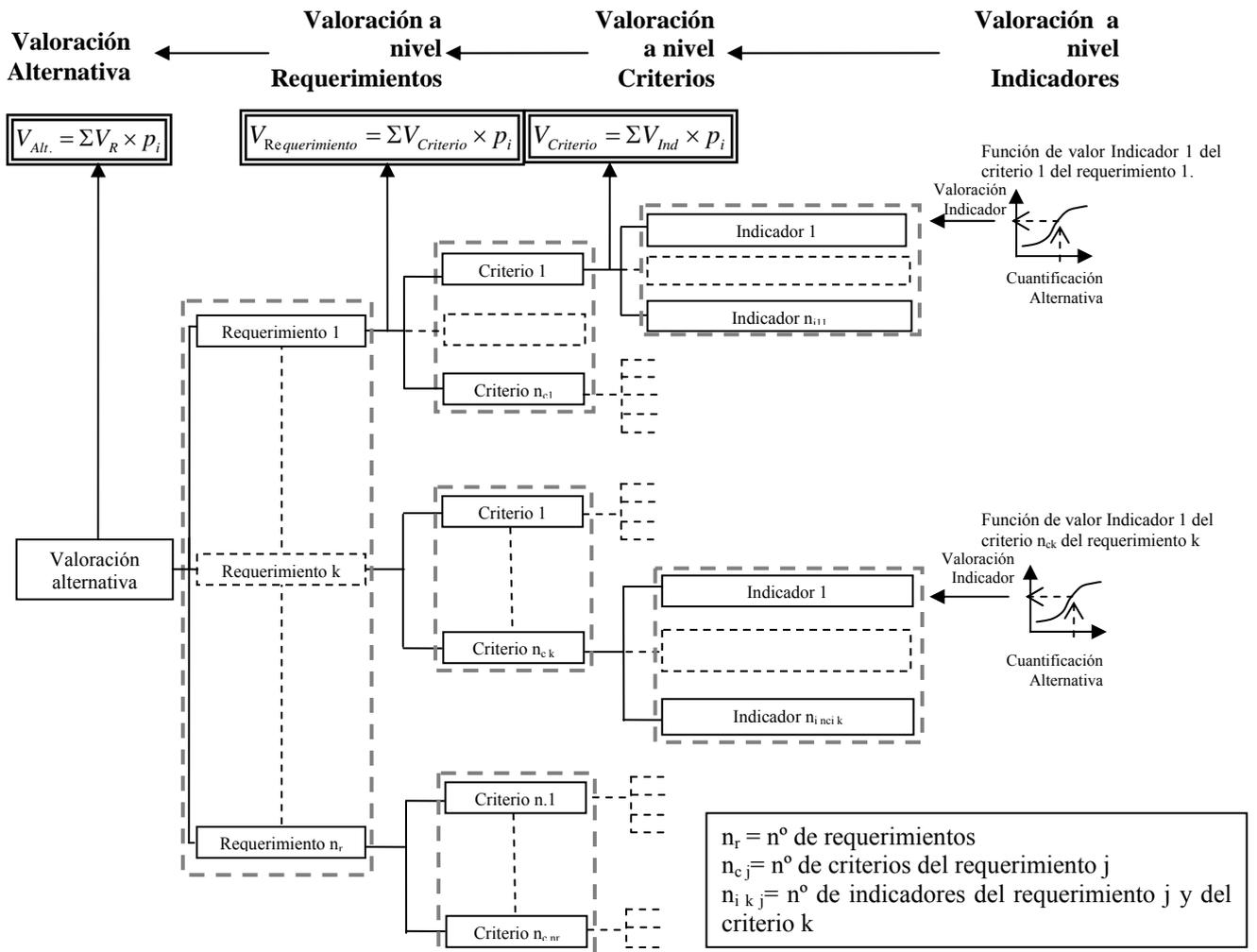


Figura 4: Índice de valor de las alternativas

4 PROGRAMA INFORMÁTICO

En este apartado se presenta un marco informático amigable desarrollado para la valoración de alternativas en una toma de decisión. Para ello se propone una nueva herramienta informática que incorpore, durante su valoración, los aspectos metodológicos anteriormente desarrollados.

Su entorno informático se desarrolla bajo la plataforma de trabajo de Visual Basic. Este programa permite desarrollar un entorno amigable a nivel de usuario aspirando a que el programa sea utilizado por una gran variedad de personas: directivos, gestores de ámbitos muy diversos, usuarios a nivel particular, etc.

El programa informático consta de 3 módulos y de un entorno web. Los 3 módulos son: módulo programador, módulo usuario y módulo reporte:

- Módulo programador. En este módulo se introducen todas las variables necesarias para crear el modelo de valoración. Es decir, se identifica la toma de decisión definiendo todos los componentes y ciclo de vida. Se introduce el árbol de toma de decisión con las funciones de valor para cada indicador y por último se asignan los pesos a los indicadores, criterios y requerimientos.
- Módulo usuario. En este módulo se introducen las cuantificaciones de todas las alternativas en los indicadores estudiados.
- Módulo reporte. En este módulo se obtienen las diferentes valoraciones de todas las alternativas. Además, pueden obtenerse, las valoraciones a nivel indicadores, criterios y requerimientos con gráficos comparativos del tipo: pastel, barras o tabla.

4.1 Entorno Web

El portal web MIVES es un espacio donde se pueden descargar el módulo programador, módulo usuario a la vez que pueden realizarse otras gestiones: subir modelos de valoración, obtener el informe de resultados, descargar publicaciones relacionadas con MIVES,... Para poder realizar el máximo de gestiones posibles, es necesario darse de alta como usuario. Para ello hay que ir a la página web www.mives.upc.edu y clicar la opción de nuevo usuario (figura 5), posteriormente se deberán rellenar una serie de datos del tipo: nombre de usuario, contraseña, etc.

El módulo programador, trabaja con archivos con extensión .mpt. Una vez introducidos todos los datos para crear el modelo de valoración se procede a la compilación del archivo. En caso que no existan errores, el programa crea un archivo de extensión .mip que posteriormente será utilizado en el módulo usuario (figura 6).



Figura 5: Página principal portal web MIVES

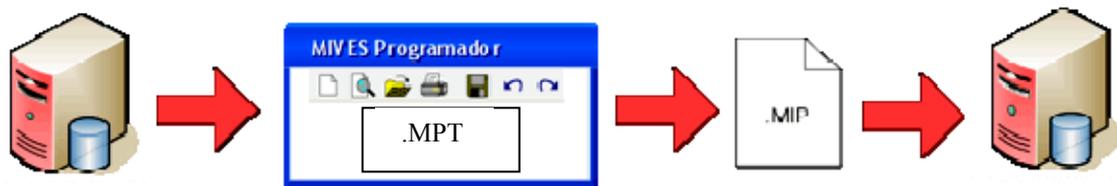


Figura 6: Creación ficheros mip

El fichero de extensión .mip deberá subirse al portal MIVES si quieren obtenerse los ficheros de resultados (figura 7). El programa pide al usuario que diga qué tipo de archivo es: público, privado o exclusivo. Si el archivo es público, todos los usuarios podrán, posteriormente descargar el archivo .mip. Si el modelo es privado, los usuarios deberán pedir permiso al creador del archivo .mip para poder descargarlo. En caso que el modelo sea exclusivo, estos modelos sólo serán vistos por la propia persona que los haya realizado.

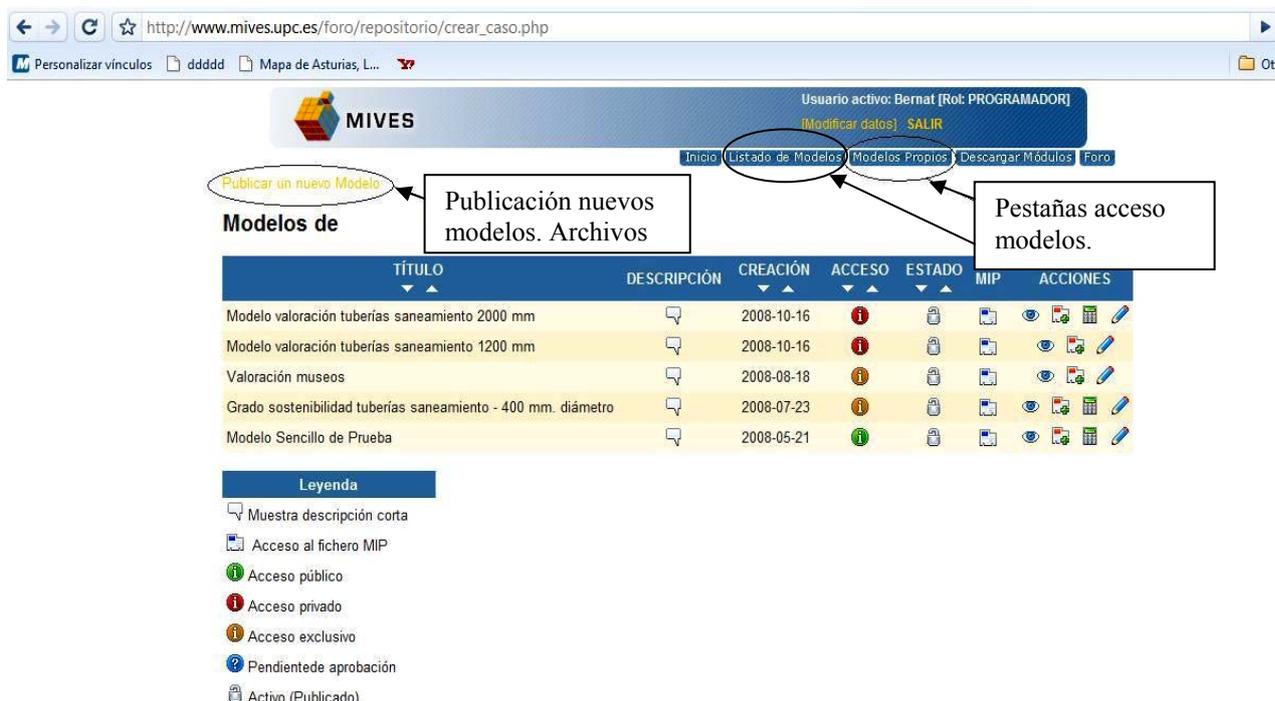


Figura 7: Introducción ficheros .mip en la web

Una vez creado el fichero de definiciones .mip se puede empezar a utilizar el módulo usuario. Al abrir el módulo usuario, el programa pregunta si el archivo con el que se va a trabajar (extensión .mut) es nuevo o existente. Si es nuevo, solicita que se indique a que archivo .mip estará asociado el archivo con el que se trabajará y posteriormente se crea el archivo .mut, el cual estará vacío por ser un archivo nuevo (figura 8).



Figura 8: Introducción ficheros .miu en la web

En el módulo usuario, se introducen todas las cuantificaciones de cada una de las alternativas. Una vez introducidos todos los datos, se procede a la compilación. Si se han introducido todos los datos correctamente sin dejarse ninguno, el programa crea un fichero de resultados de extensión .miu que será utilizado en el módulo reporte.

Una vez se disponen de todos los archivos asociados a una toma de decisión y se ha subido el archivo .mip en el listado de modelos (ver leyenda de la figura 9), se debe esperar a que el administrador de la web valide el modelo para posteriormente subir el archivo .miu asociado al .mip que ha sido validado. Cuando se ha subido el archivo .miu, ya es posible realizar el informe de resultados de dicha toma de decisión a través del portal web.

Señalando la pestaña de modelos propios en el portal web, aparece una pantalla como la que se muestra en la figura 9. En ella, se observan los diferentes modelos que se han ido almacenando en la web, en este caso son 5. Los iconos que aparecen en cada modelo muestran las tareas que pueden realizarse. La leyenda situada en la zona inferior izquierda de la figura 9 explica el significado de cada icono. Las tareas que se pueden realizar son:

- Acceder al fichero .mip.
- Ver si el modelo es de acceso público, privado o exclusivo.
- Ver si el modelo está o no pendiente de aprobación por parte del administrador.
- Ver la descripción del modelo.
- Añadir otras valoraciones de otras alternativas con el mismo modelo de valoración introduciendo otro fichero .miu.
- Realizar el informe de resultados.
- Cambiar la descripción del modelo en caso de ser el usuario el que ha realizado dicho modelo.

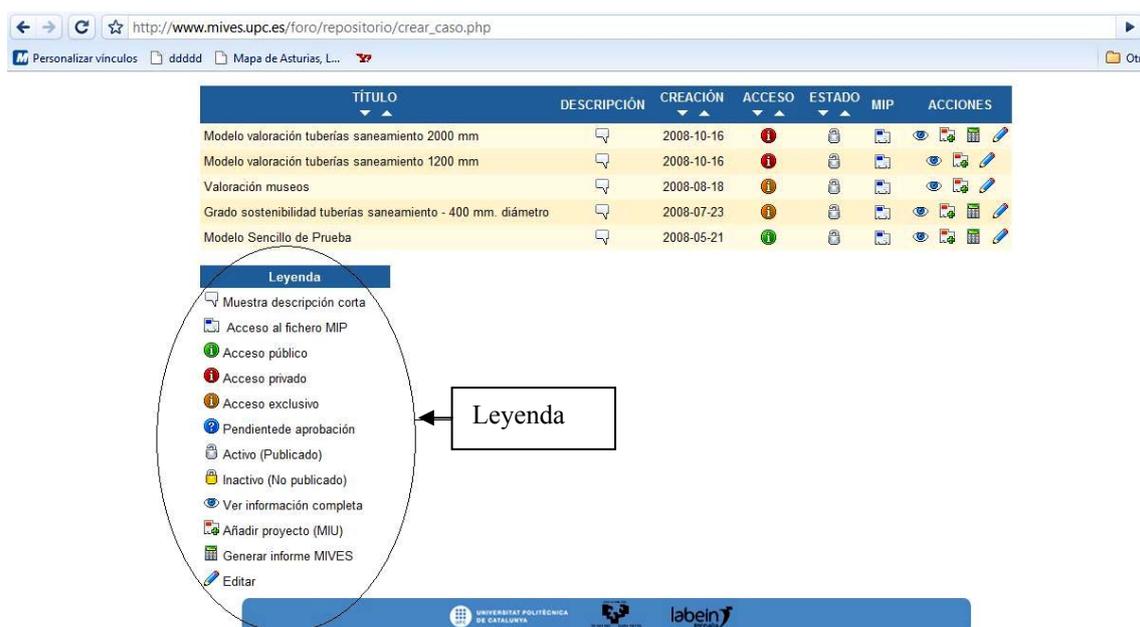


Figura 9: Portal Web – Zona modelos propios

4.2 Módulo Programador

Una vez se abre el módulo programador, se le pide al usuario si el modelo que se creará es nuevo o proviene de uno existente (figura 10). Posteriormente, en el caso que sea nuevo, se deben introducir todos los datos de partida (figura 11).



Figura 10: Página inicial módulo Programador

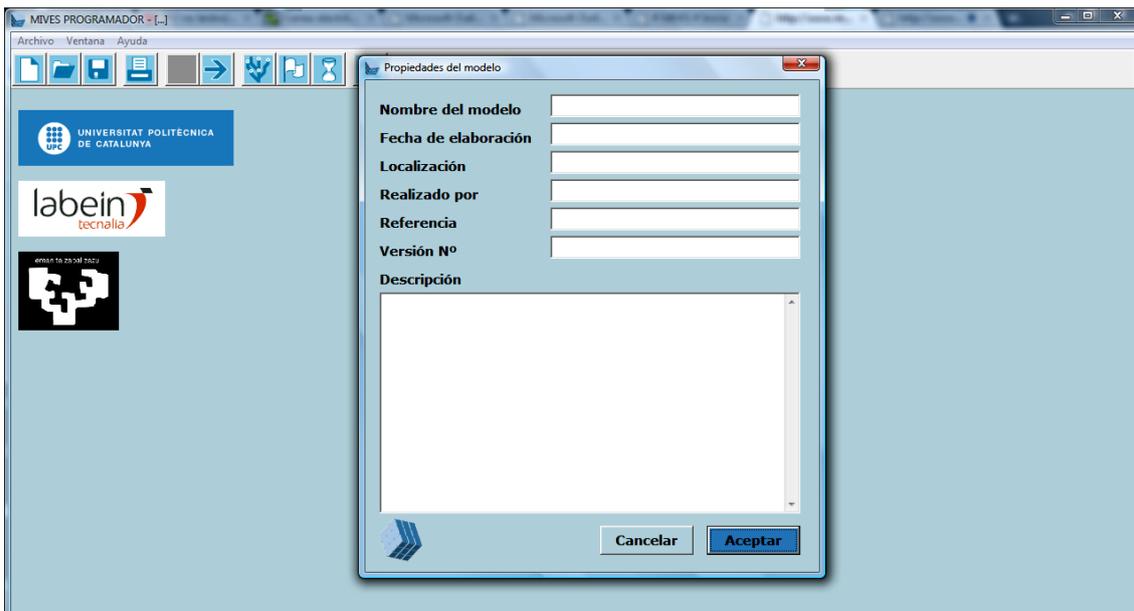


Figura 11: Módulo programador – Descripción modelo

El proceso principal que se realiza en el módulo programador es la introducción de todo el modelo de valoración. Es decir, se definen todos los componentes y ciclo de vida que serán considerados. Posteriormente se introduce el árbol de toma de decisión y se fijan los valores de las cinco constantes de la función de valor en cada uno de los indicadores. Finalmente se asignan los pesos, que se introducen de forma directa o mediante la metodología AHP.

El proceso lógico al introducir los datos del modelo de valoración es ir siguiendo los pasos de una forma natural tal y como se explicó en la metodología MIVES: ciclo de vida y componentes considerados, introducción del árbol de toma de decisión, funciones de valor y asignación de pesos. Para seguir este proceso lógico, lo más cómodo es ir clicando el icono de avance que aparece señalado en la figura 12. En la tabla 3 se presentan las opciones más comunes que deberán ser utilizadas en el módulo programador.

Iconos del modelo programador	Función
	Iconos que se utilizan para avanzar o retroceder en las diferentes variables que deben introducirse en el modelo. Situado en la zona superior izquierda de la pantalla (figura 12)
	Icono utilizado para introducir el árbol de toma de decisión
	Icono utilizado para imprimir el modelo de valoración creado
	Icono utilizado para guardar el modelo creado en la carpeta correspondiente
	Icono utilizado para la introducción de los componentes utilizados en la toma de decisión
	Icono utilizado para la introducción de las diferentes fases del ciclo de vida considerados en la toma de decisión
	Icono utilizado para realizar la compilación del modelo creado

Tabla 3: Iconos utilizados en el módulo programador

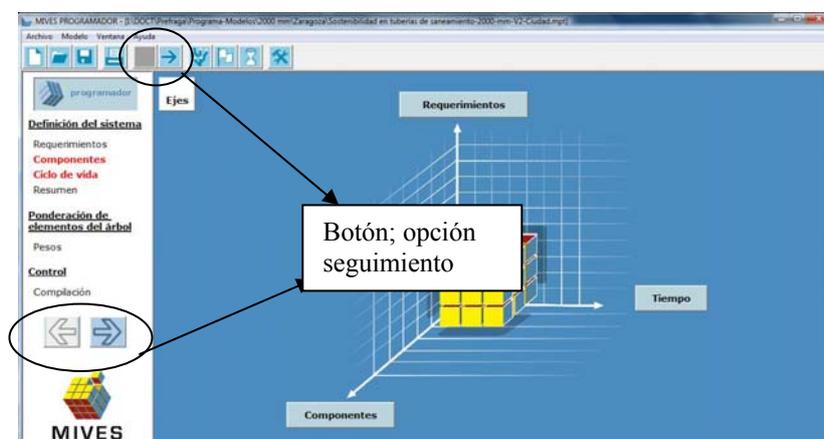


Figura 12: Módulo programador – Límites del sistema

Los elementos que aparecen en la columna izquierda de la figura 12 en rojo son los datos que falta introducir en el modelo de valoración para completarlo. Después de realizar todo el modelo, debe compilarse el archivo mediante el icono de la penúltima fila de la tabla 3. Cuando se realiza la compilación, el módulo programador avisa de los posibles errores existentes.

4.2.1. Componentes y ciclo de vida

Si el estudio de toma de decisión se descompone en varios componentes o en varias fases del ciclo de vida se deberá clicar los iconos de tiempo y componentes que aparecen en la tabla 3. Inmediatamente aparecerán unos cuadros de diálogo para poder introducir esta descomposición.

4.2.2 Árbol de toma de decisión

Para introducir el árbol de toma de decisión se puede clicar el icono de la figura 12 que pone requerimientos o directamente el icono que sale en la parte izquierda superior de la pantalla y que se define en la tabla 3. Las posibilidades existentes en este modelo son:

- Colocar tantos requerimientos, criterios e indicadores como el decisor crea conveniente.
- Introducir subcriterios e indicadores intercambiables.
- El número de ramificaciones puede aumentar, disminuir o también pueden arrastrarse los requerimientos, criterios e indicadores en el caso que quieran cambiarse de orden.

4.2.3 Funciones de valor

Para cada uno de los indicadores utilizados, se debe introducir la función de valor que se usará para poder valorar cada uno de ellos. La función de valor puede ser del tipo continua, escalón o puntuación. En los tres casos, la primera opción existente es definir los rangos de validez, mínimo y máximo de cada uno de los indicadores si es que los tuviera.

En el caso que la función de valor sea del tipo continua. Tal y como se ha estudiado en este capítulo en el apartado funciones de valor, se deben definir los valores de las 5 constantes de la función de valor genérica para que quede totalmente definida: punto de máxima y mínima satisfacción, factor de forma p , punto de inflexión de la ordenada y punto de inflexión en la abscisa (figura 13).

En el caso que los indicadores sean del tipo cualitativo, además de la función de valor se deberá seleccionar la pestaña de elementos de puntuación (figura 13) para introducir las diferentes puntuaciones. Las puntuaciones pueden introducirse mediante elementos booleanos en que se da una puntuación dependiendo de si la respuesta de la alternativa es si/no o mediante elementos numéricos en que la valoración de un punto intermedio entre el valor mínimo y máximo sigue una tendencia lineal.

En el caso que la función de valor sea del tipo escalón, la función de valor se define por tramos. En cada tramo, la forma de la función de valor será una recta horizontal.

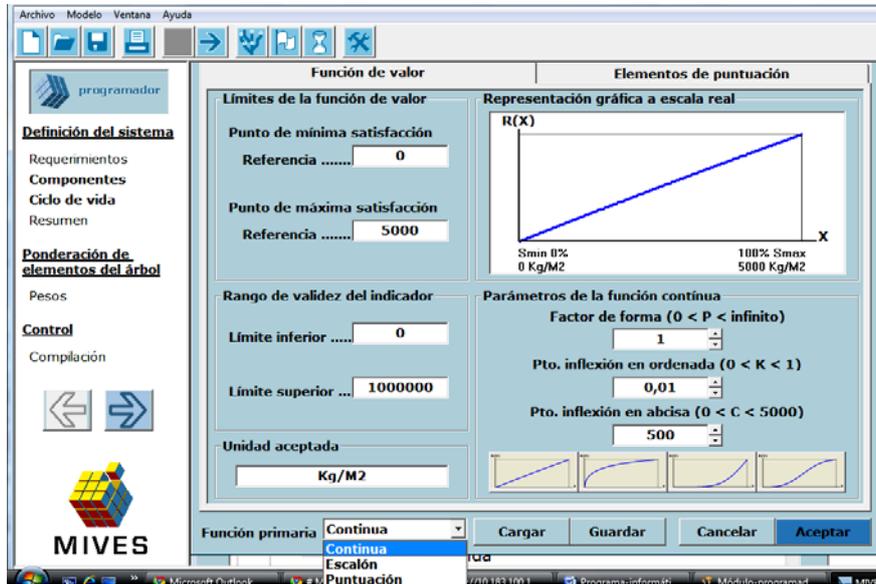


Figura 13: Introducción de la función de valor

4.2.4 Asignación de pesos

Para la asignación de pesos se debe ir a la columna de la izquierda de la figura 12 ó 13 y clicar donde pone ponderación de elementos del árbol. En esta fase se puede utilizar la metodología AHP o realizar una asignación directa. Clicando uno de los indicadores, criterios o requerimientos aparecerá un cuadro de diálogo en el que se podrán asignar los pesos a todos los indicadores de un mismo criterio, todos los criterios de un mismo requerimiento o todos los requerimientos.

Una vez se clicca uno de los indicadores, los indicadores a los cuáles deben asignarse los pesos quedan resaltados en color azul. En la figura 14 se observa el cuadro de diálogo que aparece posteriormente. El proceso para realizar la asignación de pesos a los criterios y requerimientos es el mismo que en el caso de los indicadores.

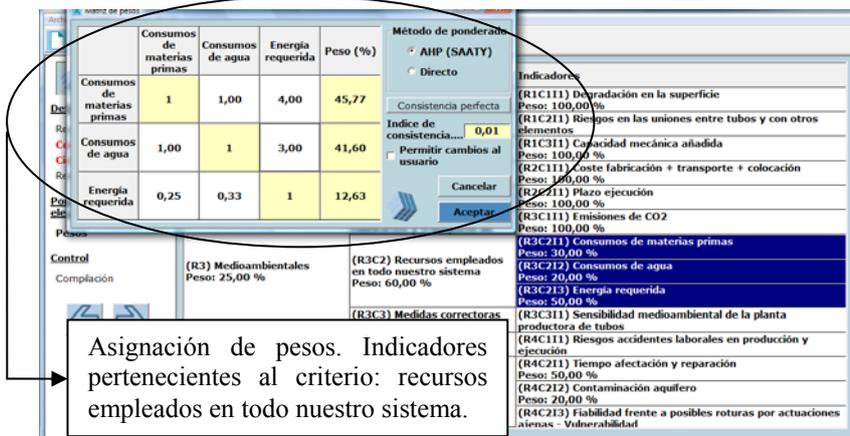


Figura 14: Asignación de pesos

4.3 Módulo Usuario

En el módulo usuario la tarea que debe realizarse es cuantificar el valor de cada alternativa en todos los indicadores. Si se observa la figura 15, los rectángulos en rosa se refieren a indicadores en los cuales aún no se han colocado las cuantificaciones de las alternativas. Los rectángulos en blanco se refieren a indicadores que ya han sido cuantificados para la alternativa estudiada. Los datos pueden introducirse en formato ficha (es decir, en una pantalla se observan las cuantificaciones de sólo una alternativa) o en formato tabla (en la misma pantalla aparecen las cuantificaciones de todas las alternativas).

En los indicadores que se deben valorar mediante puntuaciones, se deberá clicar en la posición donde pone puntuación (figura 15). Inmediatamente aparecerá un cuadro de diálogo a rellenar tipo como el que aparece en la figura 16. Dependiendo de cómo se haya realizado el modelo de valoración en el módulo programador, se deberán rellenar los elementos booleanos o los numéricos.

Existe la posibilidad de introducir las cuantificaciones de las alternativas importando un fichero de extensión .csv. Muchos programas comerciales como Excel trabajan con esta extensión. Mediante esta opción, el usuario puede tener un gran ahorro de tiempo en el caso que existan muchas alternativas o indicadores.

Requerimientos	Criterios	Indicadores	TODO
(R1) Funcionales	(C1R1) Disfunciones estructurales en los	(I1C1R1) Degradación en la superficie - (Adimensional)	6,75
	(C2R1) Disfunciones estructurales en las	(I1C2R1) Riesgos en las uniones entre tubos y con otros elementos - (Adimensional)	3,38
	(C3R1) Capacidades añadidas	(I1C3R1) Capacidad mecánica añadida - (Kg)	420,9
(R2) Económicos	(C1R2) Costes	(I1C1R2) Coste fabricación + transporte +	7
	(C2R2) Tiempo	(I1C2R2) Emisiones de CO2 - (Kg CO2/ml tubo)	<puntuación>
(R3) Medioambientales	(C2R3) Recursos empleado nuestro si	(I1C2R3) Consumos de materias primas - (Tabla)	<puntuación>
	(C3R3) Medidas correctoras de tipo	(I1C3R3) Sensibilidad medioambiental de la planta productora de tubos - (Adim	474,5
	(C1R4) Seguridad personas implicadas	(I1C1R4) Riesgos accidentes labor producción y eiecución - (Adimensi	<puntuación>
(R4) Social	(C2R4) Afectación a (o por) terceros	(I1C2R4) Tiempo afectación y repl (Adimensional)	4,94
		(I2C2R4) Contaminación acuífero - (Adimensional)	2,88
		(I3C2R4) Fiabilidad frente a posibles roturas por actuaciones ajenas - Vulnerabilidad -	

Figura 15: Módulo usuario – Introducción cuantificaciones alternativas

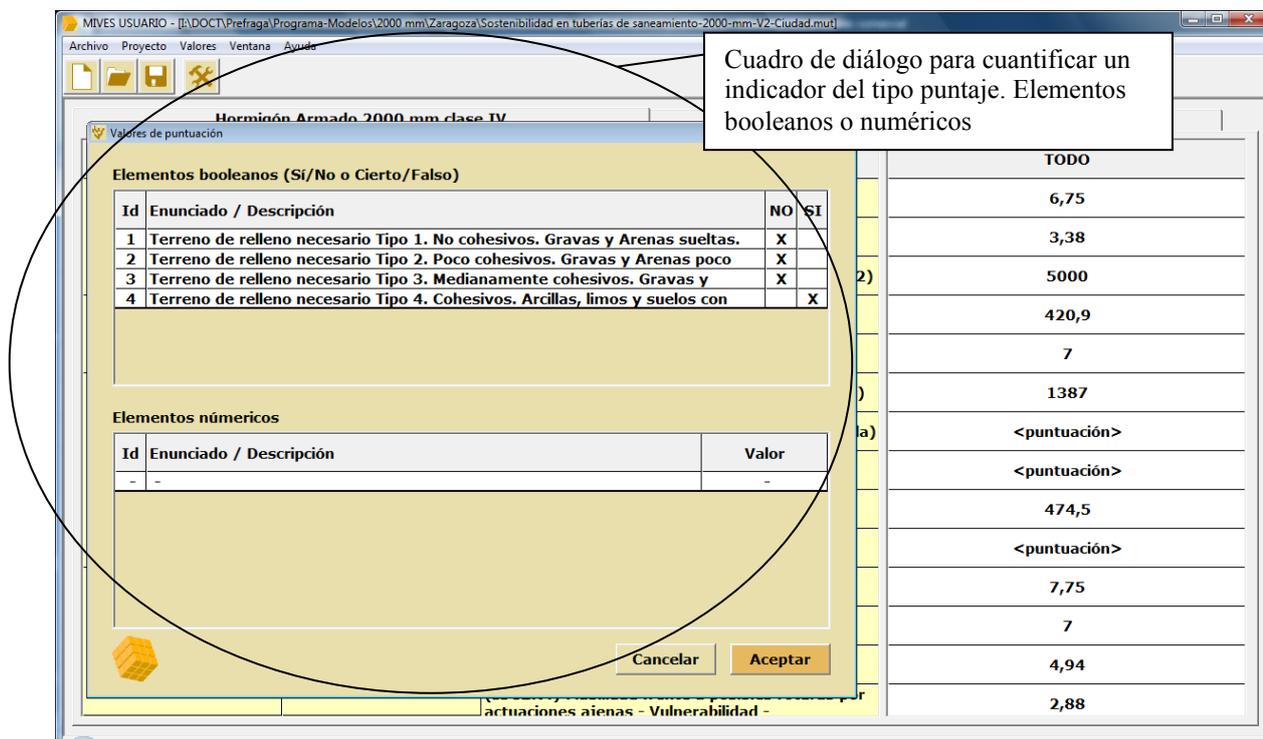


Figura 16: Módulo usuario – Indicadores con puntuación

4.4 Módulo reporte

En el módulo reporte, se obtienen los índices de valor de las diferentes alternativas o de los indicadores, criterios y requerimientos. Las principales opciones en este módulo se observan en la figura 17. Señalado con un 1 se visualiza la zona que indica si en el fichero de resultados aparecerá la valoración del requerimiento, criterio o indicador marcado. Señalado con un 2 aparecen unos iconos para marcar de una sola vez todos los requerimientos, criterios o indicadores. Por último, señalado con un 3 se observa la zona donde se le pide al módulo reporte que obtenga los resultados en forma de tabla, barras o pastel. El módulo reporte también tiene la opción de mostrar los resultados mediante un fichero con extensión .csv.

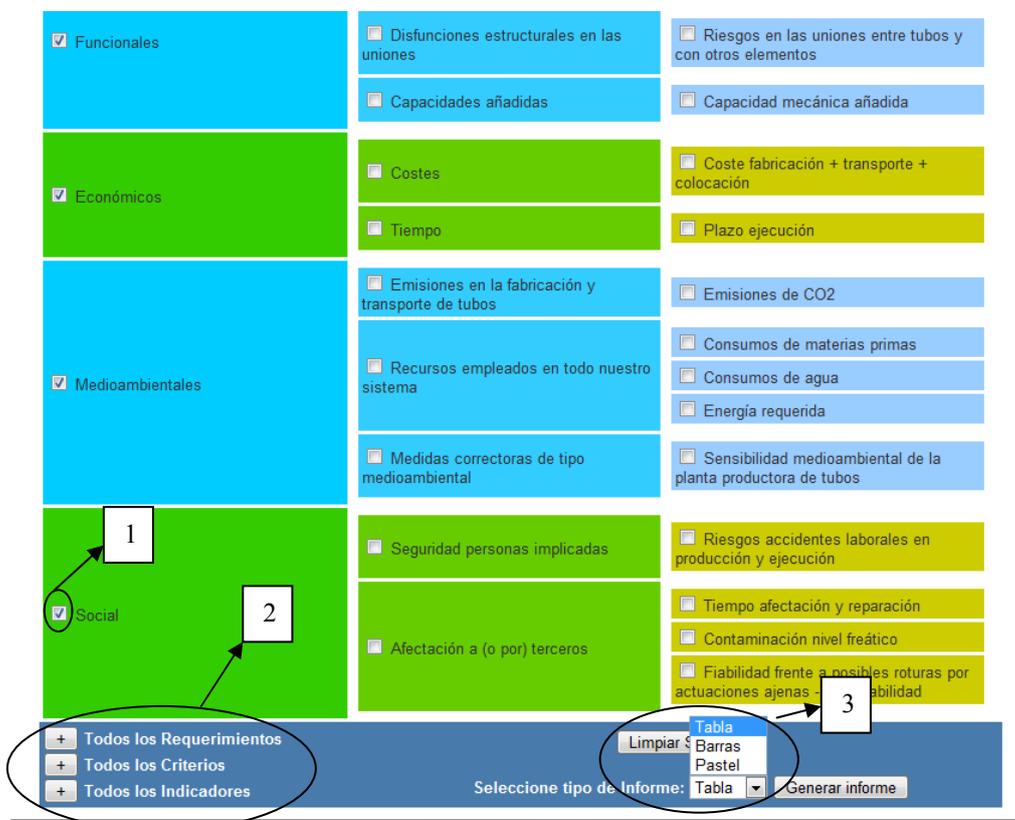


Figura 17: Módulo reporte

La valoración de los indicadores que aparecen en el informe de resultados es la valoración de 0 a 1 del indicador en cuestión por el peso del mismo indicador por el peso del criterio al cual pertenece dicho indicador por el peso del requerimiento al cual pertenece el mismo indicador. Es decir, la valoración del indicador por los pesos en cascada.

La valoración de los criterios que aparecen en el informe no es más que la suma de las valoraciones de los indicadores pertenecientes a ese mismo criterio. La valoración de uno de los requerimientos es la suma de las valoraciones de los criterios o indicadores pertenecientes a ese mismo requerimiento.

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se propone un procedimiento de valoración objetiva de análisis multicriterio, la metodología MIVES. Debido al carácter multicriterio de los estudios relacionados con la sostenibilidad puesto que aparecen criterios de tipo económico, medioambiental y social, la metodología MIVES puede aplicarse en muchas valoraciones de sostenibilidad. Las aplicaciones realizadas de la metodología MIVES en el ámbito de la sostenibilidad son numerosas ^{2,5,6,7,10,11,12,13,14}.

Mediante la metodología MIVES se consigue crear un índice de valoración que integra todos los aspectos y que permite comparar y clasificar las diferentes alternativas consideradas.

Se concluye que la metodología creada representa un avance en términos de estudios de valoración, ya que imprime al método gran objetividad y claridad de los procedimientos. Esto promueve mayor legitimidad de la valoración, a la vez que permite que cualquier persona pueda estudiar la sostenibilidad de su alternativa partiendo del mismo modelo.

6 AGRADECIMIENTOS

Con estas líneas se quiere agradecer a todos los componentes del equipo MIVES y al MEyC (proyecto BIA2005-09163-C03-01), las colaboraciones y ayudas facilitadas para el desarrollo de las herramientas.

REFERENCIAS

- [1] Aguado, A., Manga, R. y Ormazábal, G. (2006). “Los aspectos conceptuales del proyecto MIVES”. La medida de la sostenibilidad en edificación industrial. Modelo integrado de Valor en Edificios Sostenibles (MIVES), LABEIN. UPV-EHU UPC, págs. 249-271.
- [2] Ministerio de Fomento. EHE 2008. Instrucción de Hormigón Estructural. Anejo 13. Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad (2008).
- [3] Alanne K. Selection of renovation actions using multi-criteria “knapsack” model. *Automation in Construction* 13 (3): 377-391 (2004).
- [4] Keeney, R.L., Raiffa, H. *Decisions with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs* (1976).
- [5] Manga, R. Una nueva metodología para la toma de decisión en la gestión de la contratación de proyectos constructivos. Tesis doctoral Universitat Politècnica de Catalunya (2005).
- [6] Garrucho, I. Desarrollo de una Metodología para el proceso de diseño sostenible de edificaciones industriales bajo requerimientos medioambientales. Tesis doctoral Universidad Politécnica del País Vasco.
- [7] Pulido, A. Optimización de los pavimentos industriales desde una perspectiva sostenible y aplicación de la herramienta MIVES a los pavimentos industriales. Tesis doctoral Universitat Politècnica de Catalunya (2008).
- [8] Saaty, T. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, (1980).
- [9] Ferrís Oñate, J. Diseño, desarrollo y validación de una nueva metodología de valoración multicriterio de activos basada en ANP. Tesis doctoral Universidad Politécnica de Valencia (2008).
- [10] Alarcón, B. Modelo integrado de valor para estructuras sostenibles. Tesis doctoral Universitat Politècnica de Catalunya (2006).
- [11] Reyes, J.P. Nueva Metodología para la Evaluación de la Sostenibilidad respecto al Requerimiento de Seguridad y Salud en Proyectos de Edificación. Tesis doctoral Universidad Politécnica del País Vasco.
- [12] Viñolas, B. Aplicaciones y avances de la metodología MIVES en valoraciones multicriterio. Proyecto de Tesis. Universitat Politècnica de Catalunya (2009).

- [13] Villegas, N. Análisis de valor en la toma de decisiones aplicado a carreteras. Tesis doctoral Universitat Politècnica de Catalunya (2009).
- [14] Cuadrado, J. Establecimiento de una metodología general para la medida de la sostenibilidad en el ciclo de vida de los edificios industriales. Tesis doctoral Universidad Politécnica del País Vasco.