

MANUAL MIVES

MODELO INTEGRADO DE VALOR PARA EVALUACIONES SOSTENIBLES

2009

ÍNDICE**Anejo I. MANUAL MIVES**

A1.0 INTRODUCCIÓN	1
A1.1 FASES EXISTENTES EN LA METODOLOGÍA MIVES.....	2
A1.2 DELIMITACIÓN DE LA DECISIÓN	3
A1.3 ÁRBOL DE TOMA DE DECISIÓN	6
A1.3.1 Características de los requerimientos, criterios e indicadores	7
A1.4 FUNCIONES DE VALOR	9
A1.4.1 Ecuación genérica de la función de valor.....	9
A1.4.2 Parámetros que definen la función de valor	11
A1.4.3 Puntos de máxima y mínima satisfacción	12
A1.4.4 Formas que debe adoptar la función de valor	13
A1.5 ASIGNACIÓN DE PESOS.....	17
A1.5.1 Método de las proporciones	17
A1.5.2 Analytical Hierarchy Process – AHP	18
A1.6 DEFINICIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	23
A1.7 ÍNDICE DE VALOR DE LAS ALTERNATIVAS	24
A1.8 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	26
A1.9 CONTRASTE DE RESULTADOS	26
A1.10 PROGRAMA INFORMÁTICO	27
A1.10.1. Entorno Web	28
A1.10.2. Módulo Programador.....	31
A1.10.3. Módulo Usuario	36
A1.10.4. Módulo reporte	38

MANUAL MIVES

A1.0 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anejo es definir un manual de la metodología MIVES que integre todas las aportaciones realizadas por los distintos autores, hasta el momento; en orden a facilitar al lector un documento sintético y conjunto de dicha metodología.

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.

A1.1 FASES EXISTENTES EN LA METODOLOGÍA MIVES

MIVES – Modelo integrado de valor para evaluaciones sostenibles - 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. La misma está definida en diversas fases que ordenadas cronológicamente 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 del árbol de toma de decisión.
- Asignación de pesos: se asigna la importancia relativa de cada uno de los aspectos en relación a los restantes pertenecientes a una misma ramificación del árbol de toma de decisión.
- 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 del análisis de sensibilidad: se analiza el posible cambio del índice de valor de cada una de las alternativas en el caso de varíen los pesos o las funciones de valor definidas en las primeras fases. Esta fase es opcional dentro de la metodología MIVES.
- Contrastación de resultados: se comprueba, a largo plazo, si el modelo de valoración se sigue ajustando a lo que se quería valorar inicialmente y si los cálculos realizados en cada una de las alternativas es el esperado. Esta fase puede considerarse como una fase de control, del modelo y de las alternativas, y también es opcional dentro de la metodología MIVES.

Dentro de la metodología MIVES, para obtener el índice de valor de cada una de las alternativas se realiza una agregación de las funciones de valor de cada uno de los aspectos considerados en la última ramificación del árbol de toma de decisión. Dicha agregación es una suma ponderada de cada una de las funciones de valor y constituye lo que se denomina modelo de valoración. Atendiendo a la clasificación de metodologías de toma de decisión multicriterio realizada en el capítulo 2, MIVES se engloba dentro de la teoría de utilidad multiatributo (Keeney y Raiffa, 1976).

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 y valoración 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 alguna influencia de las valoraciones de las alternativas evitando que se produzca cualquier tipo de subjetividad frente alguna de ellas.

A1.2 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.
- Cuáles son los límites del sistema.
- Qué condiciones de contorno existen.

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.

Una de las posibilidades es que el decisor atienda a la postura de otros, que indirectamente intervendrán en la decisión y por lo tanto pueden considerarse como una condición de contorno. De esta forma, pueden evitarse conflictos en un futuro que podrían tener consecuencias negativas. Los seminarios, las encuestas y las entrevistas son tres herramientas muy valiosas para poder incorporar los intereses y posturas de terceros.

Límites del sistema

Para identificar la toma de decisión, ésta se estructura en tres ejes tal y como puede verse en la figura A1.1. (Requerimientos, Componentes y Ciclo de Vida). Las líneas que separan los diferentes cubos sombreados 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, como por ejemplo, las fases de concepción, uso y deconstrucción. 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 generales en los que se quieren valorar las diferentes alternativas.

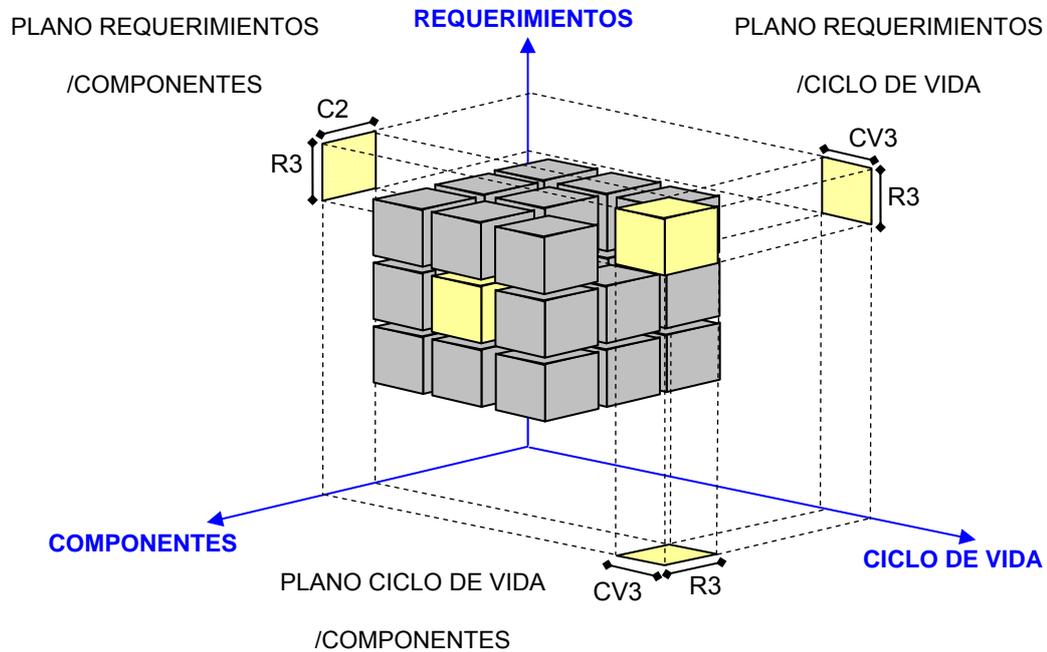


Figura A1.1. Estructura general de la toma de decisión

Esta estructuración de la toma de decisión está estrechamente relacionada con el árbol de toma de decisión (siguiente fase), debido a que en el árbol de toma de decisión figuran de forma ramificada todos los aspectos que serán valorados. Éstos, serán valorados dentro de los límites de ciclo de vida y componentes establecidos en esta primera etapa.

Dependiendo del decisor y de la toma de decisión, los dominios de estudio serán unos u otros. En algunos casos, las alternativas estudiadas pueden tener un solo componente, de tal forma que la estructura de la toma de decisión pasa de ser una estructura 3D a una 2D con los ejes del ciclo de vida y requerimientos. También se puede pasar a una estructura 2D en el caso de que sólo exista un único requerimiento o una única fase del ciclo de vida.

En la figura A1.1 se observa un cubo pequeño, cuyas proyecciones nos indican a qué componente y fase del ciclo de vida pertenece este elemento y para que requerimiento será evaluado (Ciclo de Vida 3, Requerimiento 3 y Componente 2). En esta figura se han resaltado dos cubos que son las partes de la toma de decisión a evaluar, es decir el dominio de estudio. Una vez seleccionados todos los cubos de la figura A1.1 quedan

definidos los componentes de la toma de decisión, el ciclo de vida considerado en cada uno de los componentes y en que requerimientos serán evaluados. En esta fase es donde queda identificada la toma de decisión y lo que deberá considerarse en el árbol de toma de decisión (la siguiente fase).

El descomponer o estructurar la toma de decisión en tres ejes, ayuda a definir de forma precisa cuál es la toma de decisión a realizar. De esta forma, se disminuye el riesgo de olvidarse algún requerimiento, componente o etapa del ciclo de vida y se obtienen valoraciones de alternativas comparables y homogéneas. No hay que confundir esta estructuración con la descomposición de la toma de decisión en varias decisiones. La toma de decisión, una vez se realiza esta descomposición, es única.

Condiciones de contorno

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 cada uno de los aspectos considerados en la toma de decisión. Es decir, el coste, la rentabilidad, el plazo, etc. serán diferentes en función de la alternativa estudiada. De hecho, esto es así porque cada alternativa ofrece una solución diferente 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, de seguridad, 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. Los tipos de condicionantes de la lista de chequeo son:

- Condicionantes con una cota máxima en su rango de validez. Pueden ser de tipo económico o plazo.
- Condicionantes con una cota mínima en su rango de validez. Pueden ser del tipo espacio, aspectos funcionales, factores de seguridad, resistencia al fuego, etc.
- Condicionantes con una cota mínima y máxima en su rango de validez. En este caso, un ejemplo puede ser un condicionante como la temperatura.

- Condicionante tipo atributos en los que se exigen ciertas características a cada una de las alternativas. Por ejemplo: que existan las medidas de seguridad reglamentarias, cumplimientos de normativa, etc.

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. Este aspecto, es primordial para asegurar la independencia de los criterios considerados en una toma de decisión (Barba-Romero y Pomerol, 1997). Sin esta independencia, no sería válido realizar una suma ponderada para obtener el índice de valor de cada una de las alternativas.

A1.3 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 (figura A1.1), ya que es allí donde se definen los requerimientos de la toma de decisión y que componentes y fases del ciclo de vida se van a tener en cuenta. En la figura A1.2 se muestra de forma genérica un árbol de toma de decisión.

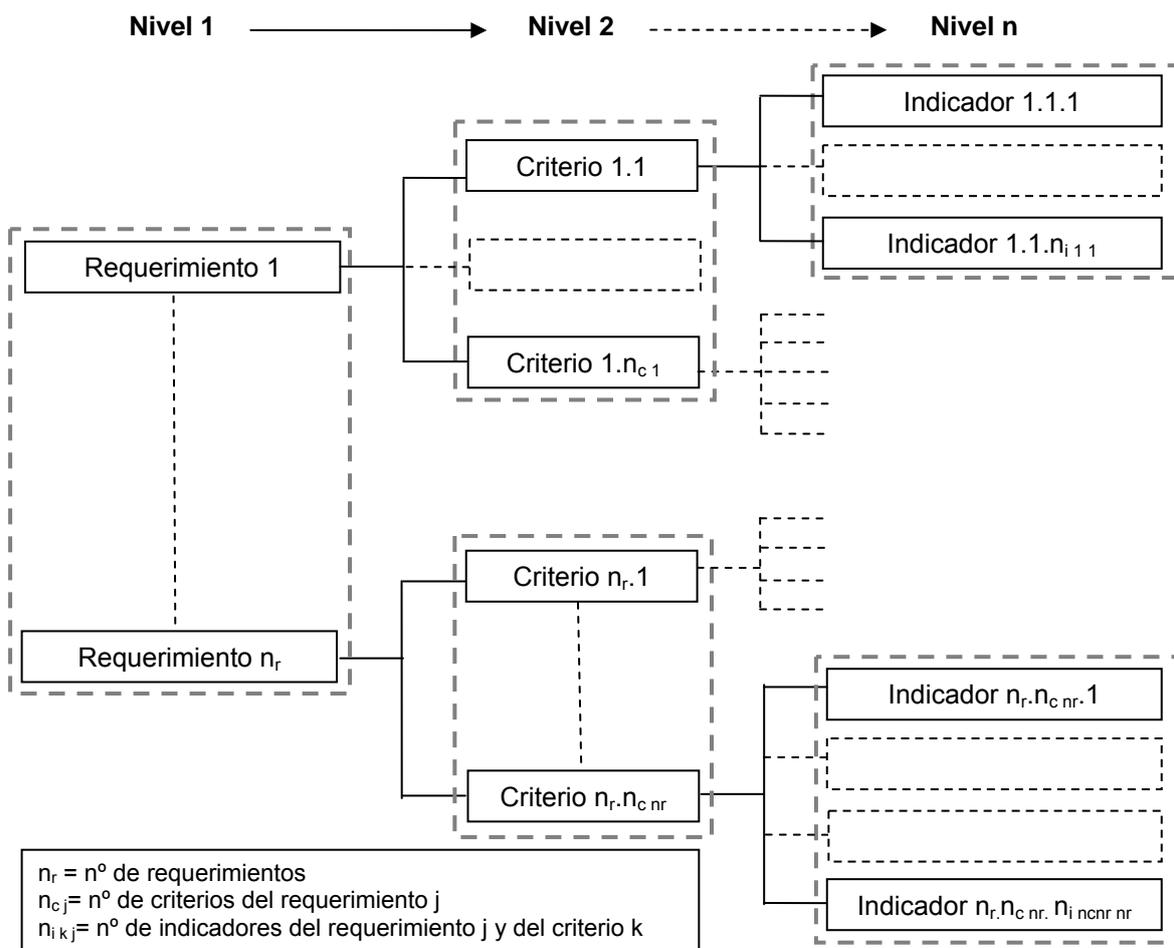


Figura A1.2. Árbol de toma de decisión genérico

Existen varios niveles en la ramificación del árbol de toma de decisión, a la vez que cada ramificación puede subdividirse en muchos o pocos subniveles. En el primer nivel se encuentran los requerimientos que son los aspectos principales que conforman la decisión. En los niveles intermedios se hallan los criterios y subcriterios, y en el último nivel de la ramificación aparecen los aspectos más concretos y que van a ser evaluados directamente: los indicadores. Cosa que no sucede con los criterios y requerimientos.

Dependiendo del grado de precisión, la ramificación del árbol de toma de decisión puede ser más extensa, o muy simple, con un solo nivel. 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 importantes (Alarcón, 2006).

Debido a que en esta fase se definen todos los aspectos que serán valorados en la toma de decisión. Una mala elección de éstos, conduce a una valoración de aspectos que no reflejan las preferencias o prioridades del decisor. Por ello, esta fase es fundamental para realizar una correcta toma de decisión.

Para realizar una correcta estrategia y obtener un buen árbol de toma de decisión es aconsejable, que los requerimientos, su importancia relativa 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 y las líneas generales de mejora que deben seguirse. De esta forma se puede evitar que el árbol de toma de decisión refleje la postura de alguna de las partes en conflicto haciendo demasiado énfasis en algunos aspectos específicos que sean beneficiosos para unos y perjudiciales para otros. Tal y como se explica en el capítulo 3, las entrevistas y seminarios son una herramienta muy valiosa para poder incorporar dichas opiniones en el árbol de toma de decisión.

En el caso de 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 serán los técnicos que los definirán.

A1.3.1 Características de los requerimientos, criterios e indicadores

Los requerimientos, criterios e indicadores deben representar de forma fiel lo que realmente se quiere valorar. En la figura A1.3 se representa un puzle, 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 puzle. 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.

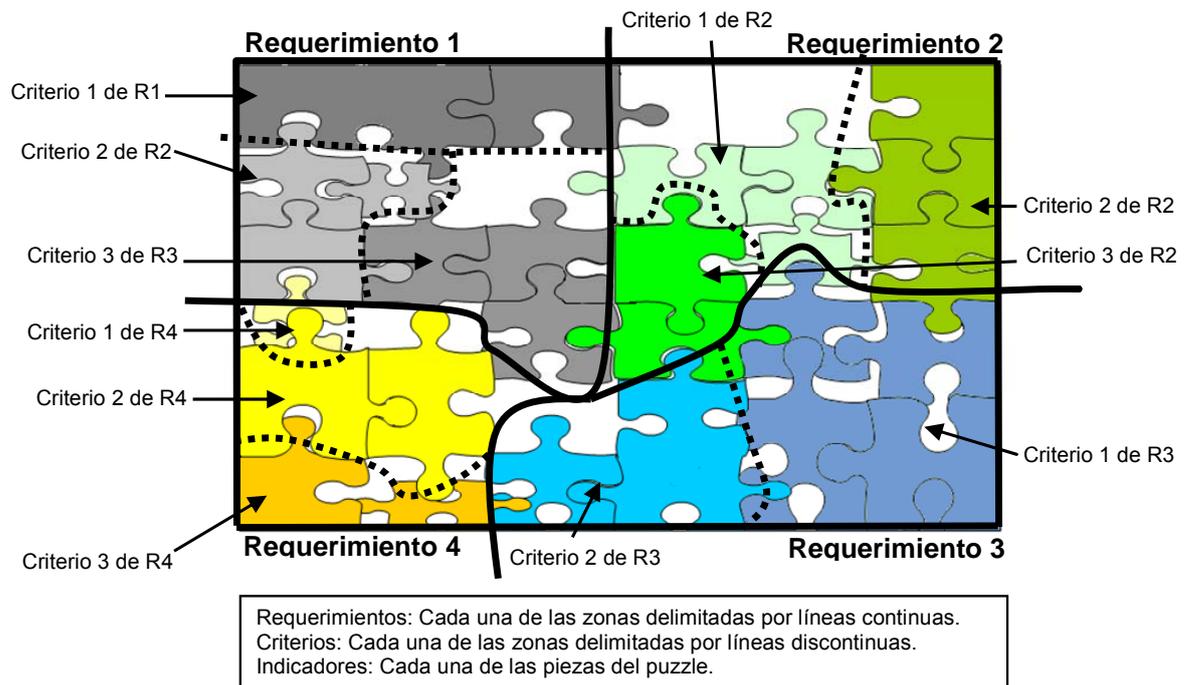


Figura A1.3. Representación gráfica del ámbito de valoración

Las características principales de los indicadores escogidos en el árbol de toma de decisión deben ser:

- **Representativos.** Los aspectos seleccionados deben ser representativos de la decisión que se quiere tomar. Si se observa la figura A1.3, se trata de escoger aquellos indicadores que ocupen una mayor zona del ámbito de toma de decisión y en particular del requerimiento y criterio al que pertenecen.
- **Discriminantes.** En una toma de decisión, es muy importante fijarse en aquellos aspectos o características que hacen diferentes a las alternativas. Si se valoran indicadores cuya cuantificación es la misma en las diferentes alternativas, los valores de ese indicador serán los mismos y los resultados realmente importantes pueden llegar a diluirse, a parte del aumento de trabajo que representa.

- Complementarios. Los indicadores deben definirse para abordar de forma complementaria toda la información (Garrucho, 2006), por ello deberán medir variables independientes a las medidas por otros indicadores planteados. En definitiva, se trata que las diferentes piezas del puzle de la figura A1.3. no se solapen.
- Relativos. Con el objetivo de no favorecer a aquellas unidades o elementos pertenecientes a grupos más grandes en valor absoluto. En definitiva, se trata de analizar rendimiento: productividad a favor de producción (Villegas, 2009).
- Cuantificables. Algunos indicadores, se cuantificarán mediante variables, como por ejemplo, euros, m², m, Kg, días, etc. Otros indicadores se cuantificarán mediante atributos como por ejemplo: confort alto, medio o bajo. Siempre que exista la posibilidad de escoger entre varios indicadores que ocupan el mismo ámbito de la toma de decisión, deben escogerse aquellos que sean más fáciles de medir. Esta característica permite asegurar que las cuantificaciones de las diferentes alternativas sean fiables a la vez que exista una menor dificultad en obtener dichos valores.
- Precisos. El indicador debe contener el mínimo grado de incertidumbre y estar planteado de forma muy clara (Garrucho, 2006).
- Trazable. De esta manera se puede garantizar la comparación futura de los datos (Garrucho, 2009).

A1.4 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 los diferentes valores 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. En el caso que el indicador se mida a través de atributos, una opción es convertir el atributo en una variable mediante una tabla de puntuación. Por ejemplo, si la comodidad es alta se puntúa con 10, si es media con 5 y si es baja con 0.

A1.4.1 Ecuación genérica de la función de valor

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 , $X_{\text{máx.}}$, $X_{\text{mín.}}$ y P_i (ecuación [A1.1] para funciones crecientes). El valor de B se calcula partiendo de los 5 valores anteriores (ecuación [A1.2]).

$$V_{\text{ind}} = B \cdot \left[1 - e^{-K_i \cdot \left(\frac{|X - X_{\text{mín.}}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right] \quad [\text{A1.1}]$$

donde: $X_{\text{mín.}}$ 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, lineal 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 lineales 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 [A1.2].

$$B = \left[1 - e^{-K_i \cdot \left(\frac{|X_{\text{máx.}} - X_{\text{mín.}}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right]^{-1} \quad [\text{A1.2}]$$

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

Alternativamente pueden utilizarse funciones decrecientes, esto es, que adopten el valor máximo en $X_{\text{mín.}}$. La única diferencia de la función de valor es que se sustituye la variable $X_{\text{mín.}}$ por la variable $X_{\text{máx.}}$ sin más que expresar el valor de la función ($V_{\text{ind.}}$) y el del parámetro "B" a partir de las expresiones:

$$V_{ind} = B \cdot \left[1 - e^{-K_i \left(\frac{|X - X_{m\acute{a}x.}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right] \quad [A1.3]$$

$$B = \left[1 - e^{-K_i \left(\frac{|X_{m\acute{i}n.} - X_{m\acute{a}x.}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right]^{-1} \quad [A1.4]$$

Existen otras posibilidades de utilizar otro tipo de funciones de valor genérica. Por ejemplo la ecuación de la tangente hiperbólica (Pulido, 2008). Esta función se basa en una homotecia y traslación de un tramo de la función de la tangente hiperbólica. Dependiendo del tramo escogido, se consigue tener formas lineales, cóncavas, convexas o en S. Una de las ventajas de esta función, es que, sólo escogiendo el tramo de la función de la tangente hiperbólica que implica definir 2 variables (inicio y fin del tramo) se obtiene la forma deseada de la función de valor. Además, aunque varíen el punto de mínima y máxima satisfacción, la forma de la función de valor no queda alterada.

A1.4.2 Parámetros que definen la función de valor

La ecuación de la función de valor varía según los valores que se asignen a las constantes (Manga, 2005): K_i , C_i , $X_{m\acute{a}x.}$, $X_{m\acute{i}n.}$ y P_i . En la tabla A1.1 se muestran qué valores deben tomarse para cada una de las variables según la forma que se quiere que adopte la función de valor.

Forma	P_i	K_i
Cóncava	< 0,75	> 0,9
Convexa	> 2	< 0,1
Lineal	1	= 0
S suave	$2 < P_i < 4$	$0,1 < K_i < 0,2$
S fuerte	$4 < P_i < 10$	$0,1 < K_i < 0,2$

Tabla A1.1. Parámetros de la función de valor

Para que el uso de la función de valor genérica sea más fácil, se adjunta un programa realizado con el programa Excel, en el que se pueden ir cambiando los parámetros de la función de valor e inmediatamente se puede observar la forma que adopta esta función. Este programa se ha denominado función de valor exponencial y en la figura A1.4 adjunta se puede observar la realización de un caso concreto. Las casillas sombreadas son las que

puede modificar el usuario, es decir los parámetros: K_i , C_i , $X_{m\acute{a}x.}$, $X_{m\acute{i}n.}$ y P_i que definen la funci3n de valor.

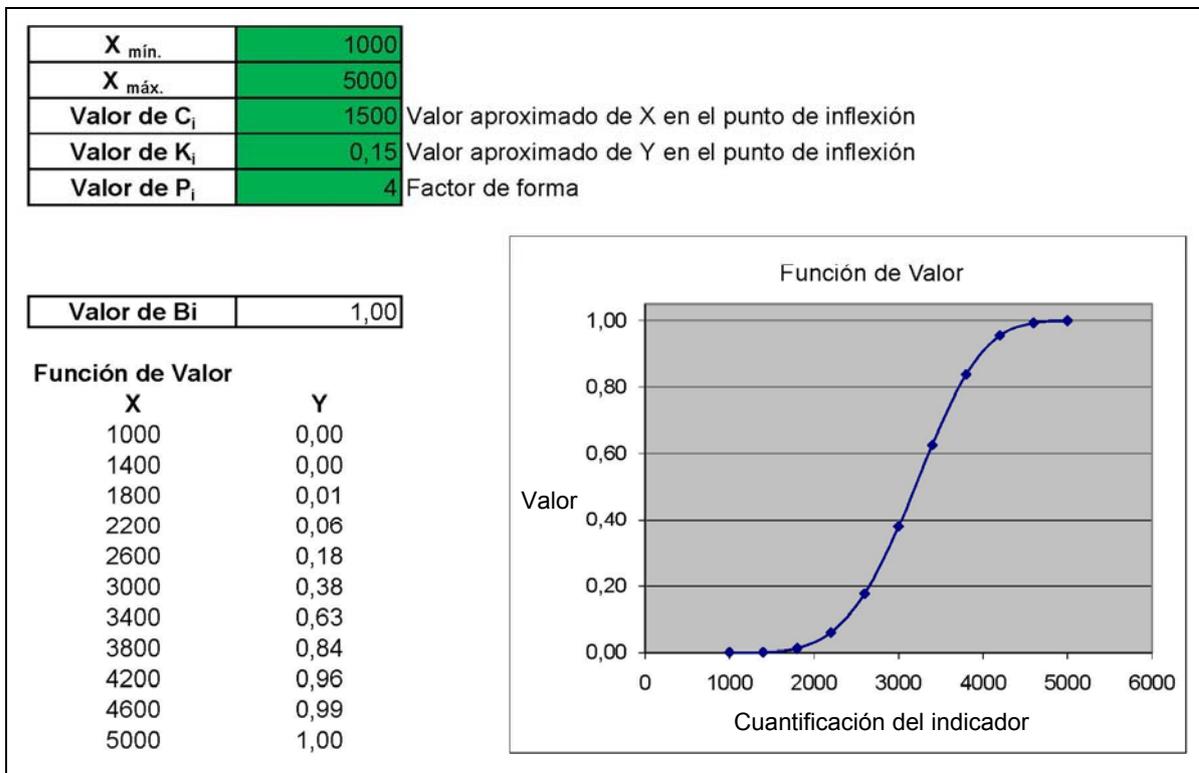


Figura A1.4. Programa de la funci3n de valor gen3rica

A1.4.3 Puntos de m\acute{a}xima y m\acute{i}nima satisfacci3n

Dependiendo de la elecci3n de la abscisa de m\acute{a}xima y m\acute{i}nima satisfacci3n ($X_{m\acute{a}x.}$ y $X_{m\acute{i}n.}$) los valores de cada uno de los indicadores pueden variar de forma considerable lleg\ndo a diluir ciertos resultados. Para determinar los puntos de m\acute{i}nima y m\acute{a}xima satisfacci3n el usuario puede ayudarse de 3 opciones:

- Utilizar la normativa vigente. En muchos indicadores utilizados: medioambientales, funcionales, de seguridad, etc. existe una normativa que como m\acute{i}nimo regula los valores m\acute{i}nimos exigidos.
- Seg\un la estrategia del decisor o ciertos condicionantes de la toma de decisi3n. Mayoritariamente, podr\edan ser indicadores de tipo econ3mico o de plazo.
- Comparaci3n entre alternativas. Si el rango entre $X_{m\acute{i}n.}$ y $X_{m\acute{a}x.}$ es mucho mayor al rango de resultados, todas las alternativas quedan valoradas de forma parecida. Por el contrario, si el rango es muy peque\o, en muchos casos, la valoraci3n del indicador ser\ 0 3 1 en funci3n 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 abscisas por fuera de $X_{\min.}$ y $X_{\max.}$, el valor del indicador será 0 ó 1 siempre y cuando no se superen los valores límite de la lista de chequeo (apartado A1.2 en condiciones de contorno).

A1.4.4 Formas que debe adoptar la función de valor

En este apartado se explica la forma que deben adoptar las funciones de valor dependiendo de cuál sea el indicador valorado. Las diferentes formas son: en S, convexa, cóncava y lineal (figura A1.5.A hasta figura A1.8.B).

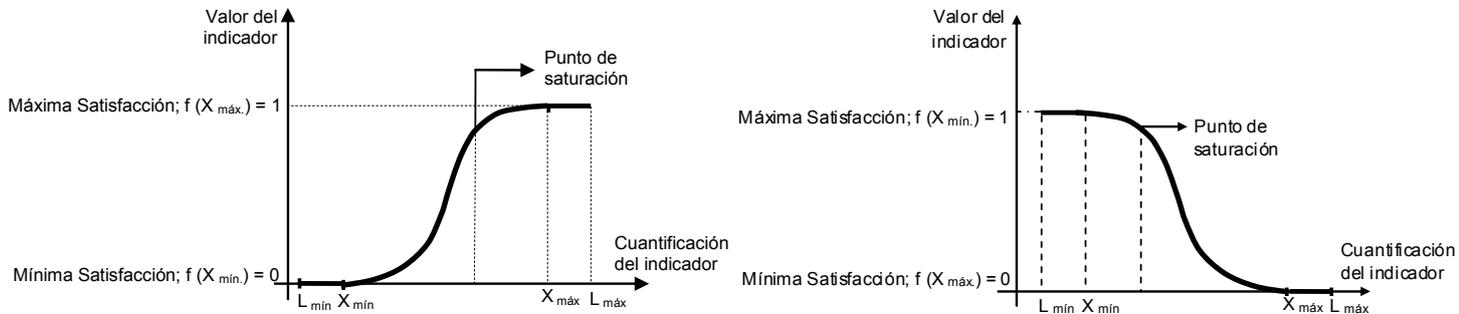
Como se puede observar en todas las figuras de las diferentes formas de la función de valor de este apartado existen 4 puntos señalados. 2 de ellos, siempre existen en la función de valor, son las abscisas de $X_{\min.}$ y $X_{\max.}$. La abscisa $X_{\min.}$ indica grado satisfacción mínima en funciones crecientes y grado satisfacción máxima en funciones decrecientes. Por el contrario, la abscisa $X_{\max.}$ indica grado de satisfacción máxima en funciones crecientes y grado de satisfacción mínima en funciones decrecientes. Los 2 otros puntos restantes ($L_{\min.}$ y $L_{\max.}$) son opcionales en la función de valor y básicamente existen si previamente se han fijado unos condicionantes mínimos para el indicador evaluado (apartado A.1.2 en condiciones de contorno). Los puntos $L_{\min.}$ y $L_{\max.}$ indican el límite mínimo y máximo respectivamente del rango de valores en el cuál debe situarse la cuantificación del indicador. En caso que alguna alternativa tenga alguna cuantificación del indicador por debajo de $L_{\min.}$ o por encima de $L_{\max.}$ está no será evaluada y se descartará automáticamente.

Función de valor en S

Esta forma de la función de valor es la más genérica. El incremento o disminución de la satisfacción se detecta significativamente en los valores centrales (figura A1.5.A y figura A1.5.B). Es decir, en las abscisas alejadas de los valores $X_{\min.}$ y $X_{\max.}$ es donde se refleja mayor aumento (función creciente) o disminución (función decreciente) de la satisfacción para un mismo aumento de la cuantificación del indicador.

Para este tipo de función de valor, existen dos puntos muy significativos. Uno es la abscisa cercana al valor de $X_{\min.}$ para funciones crecientes y cercana a $X_{\max.}$ para funciones decrecientes. Para esta cuantificación del indicador, estando aún alejada de los valores de $X_{\min.}$ para funciones crecientes y $X_{\max.}$ para funciones decrecientes, el grado de satisfacción es casi nulo. El segundo punto significativo, es el denominado punto de

saturación (figura A1.5.A y figura A1.5.B) a partir del cual un aumento para funciones crecientes o una disminución para funciones decrecientes en la cuantificación del indicador produce un aumento de satisfacción ya muy bajo, puesto que el grado de satisfacción en el punto de saturación es casi máximo.



Figuras A1.5.A y A1.5.B. Funciones de valor en “S”: creciente y decreciente

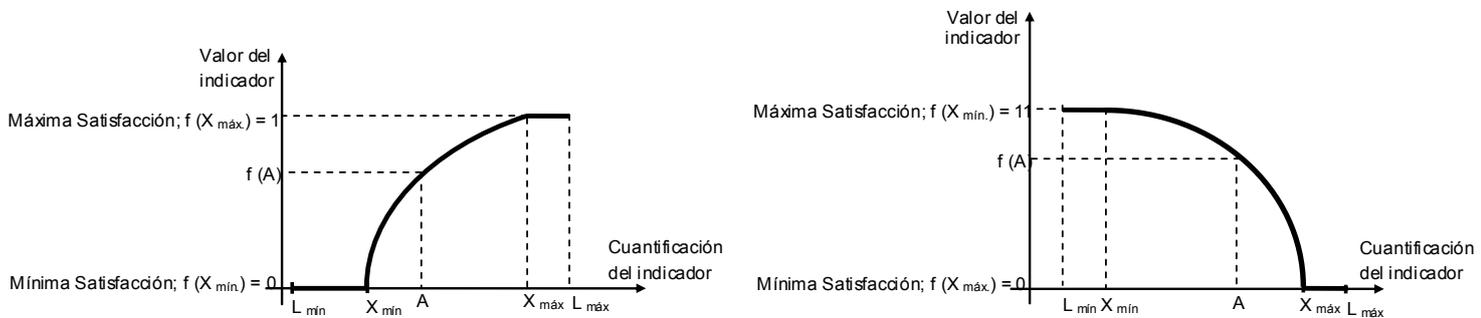
Un indicador que se adapta a la función de valor en S creciente puede ser el número de entrenos semanales de un jugador profesional. Si el número es pequeño, la satisfacción es poca porque el entreno no genera los resultados deseados. A partir de cierto número, el aumento de satisfacción es mucho mayor hasta llegar a un punto denominado saturación, a partir del cual, un aumento en la cuantificación del indicador no produce un aumento de satisfacción ya que no se mejora la forma física. Tal vez, en caso de producirse un sobreentrenamiento, la curva debería ser decreciente a partir del punto de saturación.

Un ejemplo de función de valor en S decreciente pueden ser indicadores que se refieren a consumos (de energía, de CO₂, de materias primas, etc.). Para este tipo de indicadores, es usual, considerar, que si el consumo no es muy alto, valores más bajos que la abscisa del punto de saturación, el grado de satisfacción es casi máximo. A partir de la abscisa del punto de saturación, tener un mayor consumo produce que el valor del indicador disminuya de forma considerable hasta llegar a una abscisa próxima a X_{máx.} A partir de esta abscisa, si aumenta el consumo, el grado de satisfacción no disminuye mucho más debido a que el valor del indicador ya es casi 0.

Función de Valor Convexa

En el caso de función de valor creciente, esta forma de la función se utiliza cuando la satisfacción (valor en las ordenadas) aumenta o disminuye mucho más cuando el aumento o disminución de la variable del indicador está más cerca de los valores de X_{min.} (figura A1.6.A). En el caso de función de valor decreciente, sucede justo lo contrario, la satisfacción aumenta o disminuye mucho más cuando la disminución o el aumento de la variable del indicador está más cerca de los valores de X_{máx.} (figura A1.6.B).

En la figura A1.6.A y A1.6.B se observa, que a partir de un cierto valor (abscisa A) se puede considerar que la valoración de ese indicador es prácticamente la máxima. Este tipo de funciones se utilizan cuando el decisor considera que cuando la cuantificación de un indicador llega a la abscisa A, puede considerarse que la satisfacción es casi la máxima.



Figuras A1.6.A y A1.6.B. Funciones de valor convexas: creciente y decreciente

Este tipo de función de valor se suele utilizar cuando la mayoría de cuantificaciones del indicador para las diferentes alternativas se sitúa cercano a $X_{\min.}$ para funciones crecientes y $X_{\max.}$ para funciones decrecientes. De esta forma, se intenta que la cuantificación del indicador aumente (función creciente) o disminuya (función decreciente) para que, el valor del indicador aumente de forma considerable.

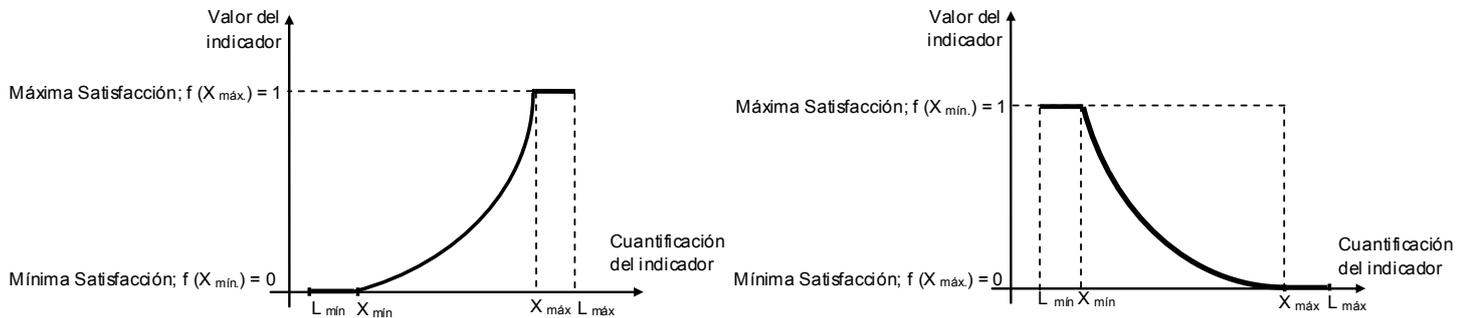
Otro ejemplo de este tipo de indicadores pueden ser condicionantes normativos en los que se demanda una condición mínima (funciones crecientes) o una condición máxima (funciones decrecientes) para que el valor del indicador sea casi 1. A partir de la abscisa A un aumento (funciones crecientes) o disminución (funciones decrecientes) de la cuantificación del indicador no produce casi ningún aumento de satisfacción para el decisor.

Función de Valor Cóncava

En la figura A1.7.A y A1.7.B se puede observar una función de valor cóncava creciente y decreciente respectivamente. Para funciones de valor crecientes, la satisfacción (valor en las ordenadas) aumenta o disminuye mucho más cuando el aumento o disminución de la variable del indicador está más cerca de los valores de $X_{\max.}$ (figura A1.7.A). En el caso de función de valor decreciente, sucede lo contrario, la satisfacción aumenta o disminuye mucho más cuando la disminución o el aumento de la variable del indicador está más cerca de los valores de $X_{\min.}$ (figura A1.7.B).

Este tipo de función de valor se suele utilizar cuando la mayoría de cuantificaciones del indicador para las diferentes alternativas se sitúa cerca de $X_{\max.}$ para funciones crecientes y $X_{\min.}$ para funciones decrecientes pero sin llegar a alcanzarlos. De esta forma,

se intenta que la cuantificación del indicador aumente (función creciente) o disminuya (función decreciente) para que, el valor del indicador aumente de forma considerable.



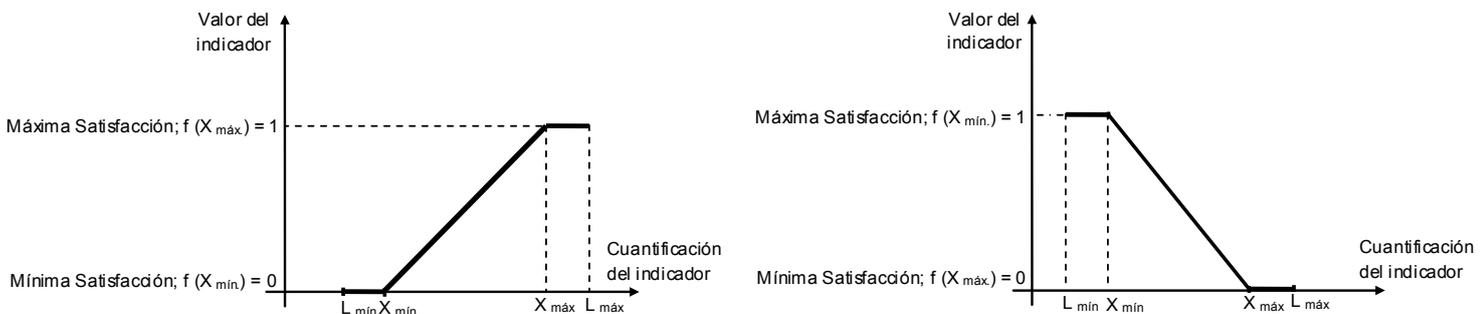
Figuras A1.7.A y A1.7.B. Funciones de valor cóncavas: creciente y decreciente

Un ejemplo de este tipo de función creciente puede ser el del coleccionista. Es conocido, que cuantas menos piezas de una colección se tienen, más fácil es ir consiguiendo y aumentando la colección. Pero llega un momento que, conseguir la última pieza de la colección cuesta mucho y por eso, un pequeño aumento de la cuantificación del indicador (conseguir la última pieza de la colección) produce un gran aumento de la satisfacción.

Un ejemplo de función de valor cóncava decreciente pueden ser aquellos indicadores esenciales para la satisfacción del decisor, como los indicadores de tipo económico y temporal. Con estas funciones de valor se pretende motivar a que las alternativas se encuentren lo más cerca posible del valor de X_{\min} . Es decir, del presupuesto establecido o del plazo establecido u óptimo.

Función de valor lineal

En la figura A1.8.A y A1.8.B se encuentra una función de valor lineal creciente y decreciente respectivamente. Esta función de valor representa que, cuando existe un incremento o disminución de la variable del indicador, la satisfacción del decisor aumenta o disminuye por igual independientemente del punto de la abscisa.



Figuras A1.8.A y A1.8.B. Funciones de valor lineal: creciente y decreciente

Este tipo de función de valor se utiliza en aquellos indicadores en los que un aumento para funciones crecientes o disminución para funciones decrecientes de la cuantificación del indicador supone un aumento de satisfacción igual sin que influya la posición de la abscisa. De hecho, este tipo de función, podría considerarse que es como la función en S eliminando la parte inicial y final de la función, es decir la zona donde la función tiene una forma cóncava y convexa más marcada.

A1.5 ASIGNACIÓN DE PESOS

En la decisión multicriterio es corriente que unos aspectos tengan para el decisor más relevancia que otros. Por circunstancias diversas, el decisor puede considerar más o menos importante a un aspecto que a los restantes. Se denominan pesos (o ponderaciones) a esta medida de la importancia relativa de los diferentes aspectos.

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 pasa 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 A1.2 (árbol de toma de decisión). El conjunto de pesos de un grupo de aspectos homogéneos se denomina vector de pesos y se representa como $\vec{w} = w_1, w_2, \dots, w_n$.

Una forma de asignar los pesos de los requerimientos, criterios e indicadores es mediante una puntuación directa. Es decir, sin ningún cálculo previo, asignar el porcentaje de importancia relativa a cada uno de los aspectos. Esta forma de asignar pesos se realiza cuando existen pocos elementos del grupo de comparación o si se tienen claros los pesos de cada uno ellos, por ejemplo, cuando la importancia de cada uno de ellos es la misma. En caso que el peso no se pueda determinar de forma directa, existen otras metodologías para calcularlo. Una de ellas es el método de las proporciones y otra forma de asignar los pesos es mediante la metodología AHP (Analitical Hierarchy Process – Proceso Analítico Jerárquico) (Saaty, 1980).

A1.5.1 Método de las proporciones

La asignación del peso se realiza comparando la importancia de cada aspecto con otro considerado de referencia. Es decir, la comparación que se realiza es respecto a uno de los aspectos evaluados. Esta metodología es muy cómoda y apta para usar cuando existe un aspecto de referencia que sea fácil de comparar con los restantes. Cuando existen

ciertos aspectos que no pueden compararse con el de referencia, es mejor usar metodologías alternativas.

La metodología general es la siguiente: si existen n aspectos, se trata, de compararlos todos ellos con uno, siendo éste el de referencia (aspecto r). La formulación de esta metodología es la siguiente:

$$\text{Importancia aspecto } r \text{ (considerado de referencia)} = I_r = 1 \quad [\text{A1.5}]$$

$$\text{Importancia aspecto } i \text{ respecto } r = I_i \quad [\text{A1.6}]$$

$$\text{Peso aspecto } i = w_i = \frac{I_i}{\sum_{i=1}^n I_i} \quad [\text{A1.8}]$$

Un caso particular de esta metodología, es la asignación directa por ratios (ratio method, desarrollado por Winterfeldt y Edwards, (1986)). Consiste en pedir al decisor que evalúe la importancia relativa de los aspectos con relación al menos importante de ellos.

A1.5.2 Analytical Hierarchy Process – AHP

El proceso analítico jerárquico (Analytical Hierachy Process – AHP) (Saaty, 1980) se basa en una comparación por pares de todos los elementos entre ellos. Esta comparación se hace de acuerdo con una escala propuesta por Saaty (1980), en la que se admiten las situaciones intermedias y los inversos (tabla A1.2):

Importancia del aspecto i respecto j (a_{ij})	Importancia del aspecto j respecto i (a_{ji})
1: Igual importancia	1: Igual importancia
3: Ligeramente más importante o preferido	$\frac{1}{3}$: Ligeramente menos importante o preferido
5: Más importante o preferido	$\frac{1}{5}$: Menos importante o preferido
7: Mucho más importante o preferido	$\frac{1}{7}$: Mucho menos importante o preferido
9: Absolutamente o extremadamente más preferido	$\frac{1}{9}$: Absolutamente o extremadamente menos preferido

Tabla A1.2. Escala de comparación propuesta por Saaty

Una vez realizada la comparación de todos los aspectos de un mismo grupo entre ellos se obtiene una matriz de comparación como la de la tabla A1.3 cuyas características son:

- Matriz diagonal con valor 1 en toda ella como consecuencia de que cuando se compara la importancia de un elemento consigo mismo el resultado, evidentemente, es que tendrá igual importancia.
- El elemento simétrico 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 $\frac{1}{4}$.

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

Tabla A1.3. Matriz genérica "A" de comparación por pares

Es importante que el usuario se acostumbre a este tipo de evaluación. No se trata de valorar absolutos sino de valorar la importancia relativa que un aspecto representa sobre otro. Por ejemplo, una marca en los 100 metros libres de 13 segundos es 1 segundo mejor que otra de 14 segundos pero las 2 son marcas muy discretas y de una importancia relativa parecida. Por el contrario, la diferencia entre una marca de 9,83 segundos y 9,58 segundos es de sólo 0,25 segundos pero la marca de 9,58 es muchísimo mejor que la de 9,83 puesto que supone batir un récord mundial.

También es importante saber que si al comparar la importancia relativa de un aspecto respecto otro se le da un valor de k , implícitamente el decisor está expresando que el peso del primer aspecto es k veces mayor al del segundo.

Cálculo del vector pesos

De cada matriz de comparaciones resultante de cada bloque homogéneo (requerimientos, criterios e indicadores), el vector propio de esta matriz (tabla A1.3) define los pesos de cada uno de los requerimientos, criterios e indicadores utilizados (valor de \vec{w} en la ecuación [A1.9]); definido como vector $\vec{w} = w_1, w_2, \dots, w_n$.

$$[A] \vec{w} = \lambda_{\text{máximo}} \vec{w} [Id]^{-1} \quad [A1.9]$$

El vector propio es una medida del peso de cada aspecto en el caso que éste se calcule a partir de las diferentes comparaciones por pares realizadas. Es decir, el peso del aspecto 1 se puede obtener partiendo del peso de cualquier otro aspecto multiplicado por la importancia relativa que tiene el aspecto 1 respecto el aspecto del cual se conoce o se presupone conocer su peso. Por ejemplo, el peso del aspecto 1 se puede obtener a partir de la ecuación [A1.10], [A1.11], [A1.12] y a partir de todas las demás relaciones que se obtengan de la matriz genérica "A" de comparación por pares (tabla A1.3).

$$w_1 = a_{1i} w_i \quad [A1.10]$$

$$w_1 = a_{1i} \times a_{ij} \times w_j \quad [A1.11]$$

$$w_1 = a_{1i} \times a_{ij} \times a_{jk} w_k \quad [A1.12]$$

De hecho, el cálculo del vector propio asociado al autovector máximo, 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. Alternativamente al cálculo del vector propio, se pueden emplear métodos aproximados:

- Un primer método es aproximar el autovalor máximo de A mediante la ecuación [A1.13]. El autovector propio asociado a este autovalor máximo se puede aproximar a partir de la ecuación [A1.14]. El peso de cada aspecto calculado a partir de la ecuación [A1.14] representa 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.

$$\lambda_{\text{máximo}} \approx \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^n a_{ik} \right) \times \left(\frac{\sum_{j=1}^n \frac{a_{kj}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}}{n} \right) \quad [A1.13]$$

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

$$\rightarrow w = w_1, w_2, \dots, w_n ; w_k = \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{kj}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \right) ; k = 1, \dots, n \quad [A1.14]$$

- Un método de aproximación del autovector asociado al autovalor máximo de la matriz [A] de la tabla A1.3 es el siguiente (Ferrís, 2008):
 - Sumar los valores de cada fila de [A] y obtener un vector, con la misma dirección que el anterior pero que sus componentes sumen 1.
 - Elevar la matriz [A] al cuadrado y repetir el proceso anterior.
 - Comparar el vector obtenido a partir de la matriz [A] respecto el vector obtenido a partir de la matriz [A] x [A]. Si la diferencia es grande para la precisión deseada, elevar la matriz al cubo y así sucesivamente hasta que la diferencia sea despreciable.
 - Cuando los valores converjan entonces se pueden tomar como aproximación del autovector principal buscado.

Consistencia de la matriz de decisión

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 ($\lambda_{\text{máx.}}$ de la ecuación [A1.9]) de la matriz de comparación es una medida de la consistencia de todos los juicios realizados.

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 inconsistencia. Ferrís (2008). 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 (A1.15):

$$C.I. = \frac{\lambda_{\text{máx.}} - n}{n - 1} \quad [A1.15]$$

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 A1.4. Para calcular dicho índice deben realizarse todas las combinaciones posibles de la matriz genérica "A" de comparación por pares de la tabla A1.3., calcular el valor de C.I. (ecuación [A1.15]) y realizar la media de todos los valores de C.I. Obviamente el número de combinaciones posibles es función de n y toma el valor de $17^{\frac{n(n-1)}{2}}$. Para un valor de n = 3, el número de posibles matrices de combinación por pares es de $17^3 = 4913$. El número 17 son los valores que puede tener cualquier casilla de la matriz de comparación que no se encuentre en la diagonal (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{7}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{9}$) y 3 es el número de cifras que se tienen que facilitar para que quede definida la matriz de comparación por pares 3 x 3. Si n fuese 4 el número de posibles matrices de comparación por pares sería de $17^6 = 24.137.569$.

n	RI	n	RI	n	RI
1	0	6	1,252	11	1,513
2	0	7	1,341	12	1,535
3	0,525	8	1,404	13	1,555
4	0,882	9	1,452	14	1,570
5	1,115	10	1,484	15	1,583

Tabla A1.4. Índice de consistencia aleatorio (R.I.)

Para calcular la consistencia o no de la matriz de comparación, la relación de consistencia (ecuación [A1.16]) debe ser menor de 0,1. La relación de consistencia es la relación entre la consistencia de la matriz de comparación y la media de las consistencias de todas las matrices de comparación posibles de orden n x n. El valor de CI depende del autovalor de la matriz de comparación (ecuación [A1.15]) y el valor de R.I. aparece en la tabla A1.4 y depende del tamaño de la matriz, es decir, de n:

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} < 0,1 \quad [A1.16]$$

donde:

C.R. = Relación de consistencia (Consistency ratio) (ecuación [A1.16]).

C.I. = Índice de consistencia (Consistency index) (ecuación [A1.15]).

R.I. = Índice de consistencia aleatoria (Random Index) (tabla A1.4).

El hecho que C.R. sea mayor de 0,1 significa que las comparaciones no son consistentes y se debe repetir todo el proceso. El valor de 0,1 representa que la inconsistencia de la matriz de decisión "A" debe ser como máximo un 10 % de la inconsistencia media obtenida a partir de todas las posibles matrices de comparación por pares existentes.

A1.6 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 casos, es posible que las alternativas estén prefijadas al inicio de la toma de decisión y por ello no deba realizarse esta fase. Por ejemplo, en el caso que se utilice la metodología de toma de decisión para ordenar de mejor a peor los elementos de un mismo grupo como podría ser: departamentos de universidad (Villegas, 2009), proveedores de una empresa, trabajadores, sucursales de un banco, etc.

En otros casos, puede que ya esté definida previamente alguna de todas las posibles alternativas del problema de toma de decisión. Un ejemplo puede ser el de realizar una nueva carretera para comunicar mejor dos o más poblaciones. En este caso, es habitual que existan alternativas ya definidas. De todos modos, es importante que exista cierto grado de creatividad y aportar nuevas soluciones o alternativas al problema planteado. Estas soluciones pueden ser alternativas totalmente diferentes a las iniciales como por ejemplo trazados de carretera alternativos o pueden ser pequeñas modificaciones de las alternativas ya existentes como por ejemplo, modificaciones en la calzada de alguno de los trazados prefijados. También puede existir un proceso de retroalimentación, es decir, una vez valoradas todas las alternativas, se pueden definir y valorar de nuevas si se observa que ninguna de ellas cumple las expectativas según el punto de vista del decisor.

Uno de los aspectos más importantes de la metodología MIVES es que las alternativas (en el caso que no estén prefijadas al inicio) y su valoración, son posteriores a la creación del árbol de toma de decisión, las funciones de valor y la asignación de pesos. Este hecho, permite que el decisor, tome la decisión al inicio del proceso. Es decir, cuando se crea el modelo de valoración. La ventaja de este planteamiento es que la toma de decisión se realiza sin que exista alguna influencia de las valoraciones de las alternativas evitando que se produzca cualquier tipo de subjetividad frente alguna de las alternativas.

A1.7 ÍNDICE DE VALOR DE LAS ALTERNATIVAS

Para obtener el índice de valor de las alternativas se debe, anteriormente, valorar los indicadores. Los indicadores son los únicos aspectos que son valorados directamente a través de la función de valor. Posteriormente, se obtiene el valor de los criterios y de los requerimientos. Finalmente, se obtiene el índice de valor de cada alternativa. La forma como se consigue el valor de los indicadores, criterios y requerimientos, se muestra gráficamente en la figura A1.9.

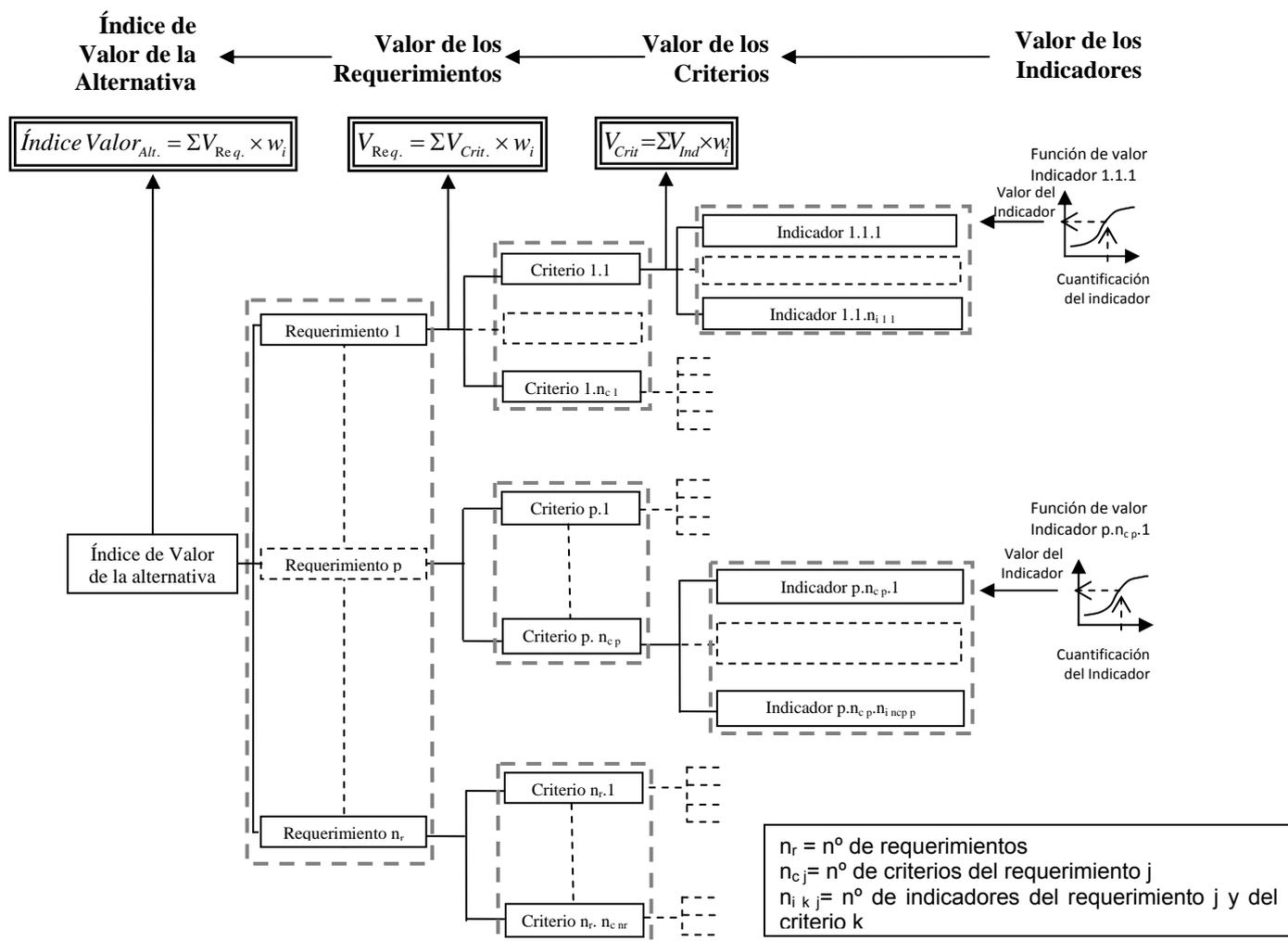


Figura A1.9. Obtención del índice de valr de las alternativas

- *Valor de los indicadores:* el valor de los indicadores se obtiene a partir de la función de valor y la cuantificación del indicador para cada alternativa. Tal como se muestra en la

figura A1.10, la cuantificación de la alternativa es la abscisa del punto de la función de valor, cuya ordenada, es el valor del indicador para la alternativa estudiada.

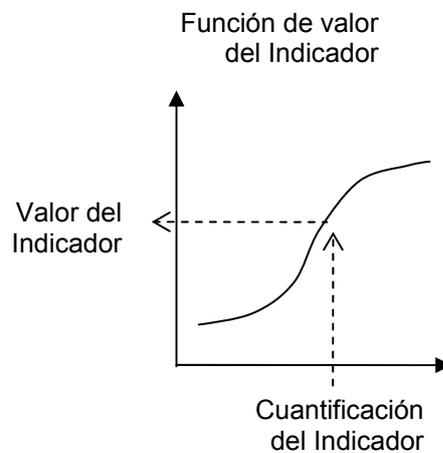


Figura A1.10. Valor del indicador

- *Valor de los criterios:* tal como se muestra en la figura A1.9 y en la ecuación [A1.17], el valor de los criterios se obtiene a partir del valor de los indicadores pertenecientes a ese mismo criterio multiplicado por sus respectivos pesos.

$$V_{\text{Criterio}} = \sum_{i=1}^n V_{\text{indicador}_i} \times W_i \quad [\text{A1.17}]$$

donde n el número de indicadores pertenecientes al criterio valorado.

- *Valor de los requerimientos:* de forma similar a lo explicado para obtener el valor de los criterios se consigue el valor de los requerimientos (figura A1.9 y ecuación [A1.18]). El valor de los requerimientos es el sumatorio de los valores de los criterios pertenecientes a ese mismo requerimiento multiplicado por sus pesos.

$$V_{\text{Requerimiento}} = \sum_{i=1}^n V_{\text{Criterio}_i} \times W_i \quad [\text{A1.18}]$$

donde n el número de criterios pertenecientes al requerimiento valorado.

- *Índice de valor de las alternativas:* el índice de valor de las alternativas se obtiene sumando el valor de los requerimientos multiplicados por sus pesos (figura A1.9 y ecuación [A1.19]).

$$\text{Índice de Valor}_{\text{Alternativa}} = \sum_{i=1}^n V_{\text{Requerimiento}_i} \times W_i \quad [\text{A1.19}]$$

donde n es el número de requerimientos.

A1.8 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Como se explica al inicio de este anejo (apartado A1.2 en quién toma la decisión) no existe una alternativa que sea la mejor en cada uno de los aspectos evaluados. La mejor alternativa depende de quién toma la decisión, respondiendo a sus intereses, claramente definidos. Por ello, es interesante, realizar un análisis de sensibilidad en el que se varíen las preferencias del decisor para evaluar si cambia mucho el índice de valor de cada una de las alternativas. Esta fase de la metodología MIVES no debe realizarse siempre y depende del tipo de toma de decisión y de si existen varios puntos de vista.

El análisis de sensibilidad se utiliza para conocer la influencia de los distintos parámetros sobre el índice de valor obtenido para cada alternativa. Para ello se analizan dos aspectos:

- Sensibilidad respecto al modelo. Se examinan las variaciones de pesos a nivel de requerimientos. Normalmente no se tiene en cuenta las modificaciones de pesos a nivel de criterios o indicadores pues la influencia sobre la alternativa no acostumbra a ser significativa. Adicionalmente se analiza el efecto de la variación de los parámetros de la función de valor (P , K , C , $X_{máx.}$, $X_{mín.}$) en cada uno de los indicadores.
- Sensibilidad respecto a las alternativas. En muchos casos, cuando se realiza una toma de decisión para ver qué alternativa puede ser la mejor, algunos datos no se pueden conocer con total exactitud. Por ejemplo, en el caso que se realice una obra y existan varias alternativas de proyecto, muchas veces, el plazo, coste, etc. son estimaciones. Por ello, es importante examinar cómo puede variar el índice de valor de las alternativas en caso que varíen las cuantificaciones de los indicadores.

A1.9 CONTRASTE DE RESULTADOS

Esta es la última fase de la toma de decisión y al igual que la anterior fase no es obligatorio realizarla. Su objetivo se centra en verificar todos los aspectos que se han ido llevando a cabo en todas las fases.

En el caso que se utilice la metodología para ordenar de mejor a peor los diferentes elementos de un grupo, el modelo de valoración, puede servir para valorar de forma periódica estos elementos. Por ejemplo, si se clasifican los departamentos de universidad, el modelo puede usarse para valorar estos departamentos de forma periódica cada año. De esta forma, se puede estudiar si los diferentes departamentos tienen cierta mejora o no a lo largo del tiempo. En tal caso, cuando el modelo se usa para valorar periódicamente los

diferentes elementos de un grupo es interesante verificar que el modelo de valoración sigue siendo el correcto. Habrá que contrastar que el árbol de toma de decisión, las funciones de valor y los pesos siguen representando de forma fiel las preferencias del decisor. Este contraste de resultados tiene un carácter iterativo e implica, en una visión global, una retroalimentación de las enseñanzas obtenidas. Dichas enseñanzas serán introducidas en el siguiente ciclo (o decisión), lo que constituye un proceso de mejora continua. Es decir, es posible que en futuras tomas de decisión, se varíe el modelo de valoración para que se adapte a las nuevas preferencias del decisor.

En el caso que se realice una toma de decisión para conocer que alternativa es mejor realizar, como se ha comentado anteriormente, muchas de las cuantificaciones de los indicadores no son valores deterministas y son estimaciones o cálculos aproximados. Como por ejemplo, el coste o plazo de diferentes alternativas. En tal caso, se debe contrastar que los datos que se habían presupuesto sean los correctos. Este contraste de las cuantificaciones del indicador reduce el riesgo de que no se cumplan las previsiones realizadas, en la cuantificación de los indicadores para la alternativa escogida.

A1.10 PROGRAMA INFORMÁTICO

En este apartado se presenta un marco informático amigable desarrollado para la valoración de alternativas en una toma de decisión multicriterio. 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 es donde se realiza la generación del modelo. Es decir, se introducen todas las variables necesarias para crear el modelo de valoración. En primer lugar, se identifica la toma de decisión definiendo todos los componentes y ciclo de vida. Posteriormente, se introduce el árbol de toma de decisión con las funciones de valor de cada indicador y por último se asignan los pesos a los indicadores, criterios y requerimientos.
- Módulo usuario. Este módulo es la aplicación del modelo de valoración. En éste se introducen las cuantificaciones de todos los indicadores de las alternativas estudiadas.

- Módulo reporte. Este módulo es en el que se analizan los resultados. Es decir, se obtienen los índices de valor de cada una de las alternativas. Además, pueden obtenerse, los valores de todos los indicadores, criterios y requerimientos con gráficos comparativos del tipo: pastel, barras o tabla.

A1.10.1. Entorno Web

En este apartado se explica el funcionamiento del portal web MIVES desde el que deben hacerse muchas gestiones para realizar el estudio de toma de decisión. También se explican los diferentes tipos de extensiones de archivos con los que se tiene que trabajar en los diferentes módulos del programa MIVES.

El portal web MIVES es un espacio donde se pueden descargar el módulo programador, módulo usuario y se pueden realizar otro tipo de gestiones: subir modelos de valoración, obtener el informe de resultados, descargar publicaciones relacionadas con MIVES, etc. 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 A1.11), posteriormente se deberán rellenar una serie de datos del tipo username, contraseña, etc. El ser usuario del portal mives permite descargarse el módulo programador, módulo usuario y realizar el reporte a través del portal web.



Figura A1.11. Página principal del portal web MIVES

En el módulo programador se trabaja con archivos con extensión .mpt, una vez compilado este archivo en el módulo programador se obtiene un archivo con extensión .mip. Para utilizar el módulo usuario con el modelo anteriormente creado se debe abrir, desde este módulo el archivo .mip y directamente el módulo usuario crea un archivo .mut

que estará vacío y con el que se deberá trabajar. Por último, una vez introducidos los datos en el módulo usuario y compilado el archivo .mut se crea un archivo de extensión .miu que se utilizará en el modelo reporte.

Una vez introducidos todos los datos del archivo de extensión .mpt en el módulo programador 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 A1.12).



Figura A1.12. Creación ficheros mip

El fichero de extensión .mip deberá subirse al portal MIVES si quieren obtenerse los ficheros de resultados. Para ello debe clicarse la pestaña de listado de modelos o modelos propios. Posteriormente aparece una pantalla como la de la figura A1.13. y en ésta se debe clicar donde pone publicación nuevos modelos.

TÍTULO	FECHA	ACCESO	ESTADO	MIP	ACCIONES
Modelo valoración tuberías saneamiento 2000 mm	2008-10-16	Acceso privado	Activo (Publicado)	[Icono MIP]	[Icono Comentar] [Icono Descargar] [Icono Ver] [Icono Editar]
Modelo valoración tuberías saneamiento 1200 mm	2008-10-16	Acceso privado	Activo (Publicado)	[Icono MIP]	[Icono Comentar] [Icono Descargar] [Icono Ver] [Icono Editar]
Valoración museos	2008-08-18	Acceso exclusivo	Pendiente aprobación	[Icono MIP]	[Icono Comentar] [Icono Descargar] [Icono Ver] [Icono Editar]
Grado sostenibilidad tuberías saneamiento - 400 mm diámetro	2008-07-23	Acceso exclusivo	Pendiente aprobación	[Icono MIP]	[Icono Comentar] [Icono Descargar] [Icono Ver] [Icono Editar]
Modelo Sencillo de Prueba	2008-05-21	Acceso público	Activo (Publicado)	[Icono MIP]	[Icono Comentar] [Icono Descargar] [Icono Ver] [Icono Editar]

Leyenda

- Muestra descripción corta
- Acceso al fichero MIP
- Acceso público
- Acceso privado
- Acceso exclusivo
- Pendiente aprobación
- Activo (Publicado)

Figura A1.13. Introducción ficheros .mip en la web

Al subir el fichero de extensión .mip al portal web MIVES, 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.

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 A1.14).



Figura A1.14. Creación de ficheros .miu

En el módulo usuario, se introducen todas las cuantificaciones de los indicadores para 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, se debe esperar a que el administrador del portal web MIVES valide el modelo. Posteriormente, se puede subir el archivo .miu asociado al archivo .mip que ha sido validado. Cuando se ha subido el archivo .miu al entorno web MIVES ya es posible realizar el informe de resultados de dicha toma de decisión. Como se comenta anteriormente, clicando la pestaña de modelos aparece una pantalla parecida a la de la figura A1.13. En la figura A1.15 aparece la misma pantalla, pero en ella se señala la leyenda que es la que nos explica que significa cada icono. Estos iconos permiten conocer el estado de cada uno de los estudios de toma de decisión colgados en el portal web MIVES. En la figura A1.15 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 en cada uno de ellos.

TÍTULO	DESCRIPCIÓN	CREACIÓN	ACCESO	ESTADO	MIP	ACCIONES
Modelo valoración tuberías saneamiento 2000 mm		2008-10-16				
Modelo valoración tuberías saneamiento 1200 mm		2008-10-16				
Valoración museos		2008-08-18				
Grado sostenibilidad tuberías saneamiento - 400 mm. diámetro		2008-07-23				
Modelo Sencillo de Prueba		2008-05-21				

Leyenda

- Muestra descripción corta
- Acceso al fichero MIP
- Acceso público
- Acceso privado
- Acceso exclusivo
- Pendiente de aprobación
- Activo (Publicado)
- Inactivo (No publicado)
- Ver información completa
- Añadir proyecto (MIU)
- Generar informe MIVES
- Editar

Figura A1.15. Portal Web – Zona modelos propios

La leyenda situada en la zona inferior izquierda de la figura A1.15 explica el significado de cada icono. Las tareas más importantes que se pueden realizar son:

- Tener acceso o no 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 que ha realizado dicho modelo.

A1.10.2. 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 A1.16). Posteriormente, en el caso que sea nuevo, se deben introducir todos los datos de partida (figura A1.17).



Figura A1.16. Página inicial módulo Programador

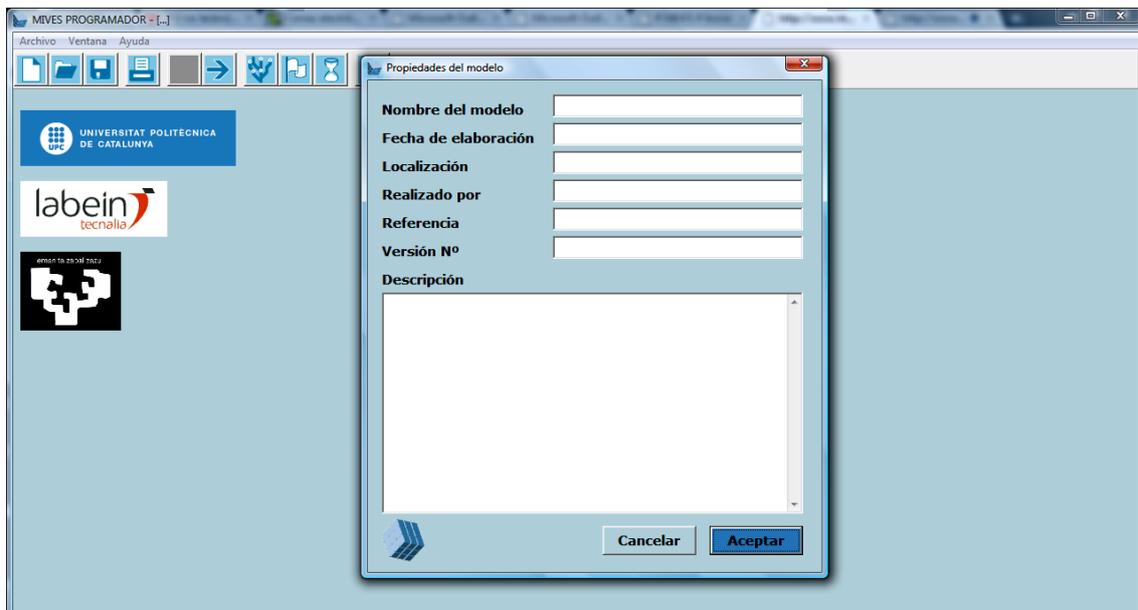


Figura A1.17. Módulo programador – Descripción modelo

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 mediante el método de las proporciones 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 A1.18. De todas formas, en la tabla A1.5 se presentan las opciones más comunes que deberán ser utilizadas en el módulo programador.

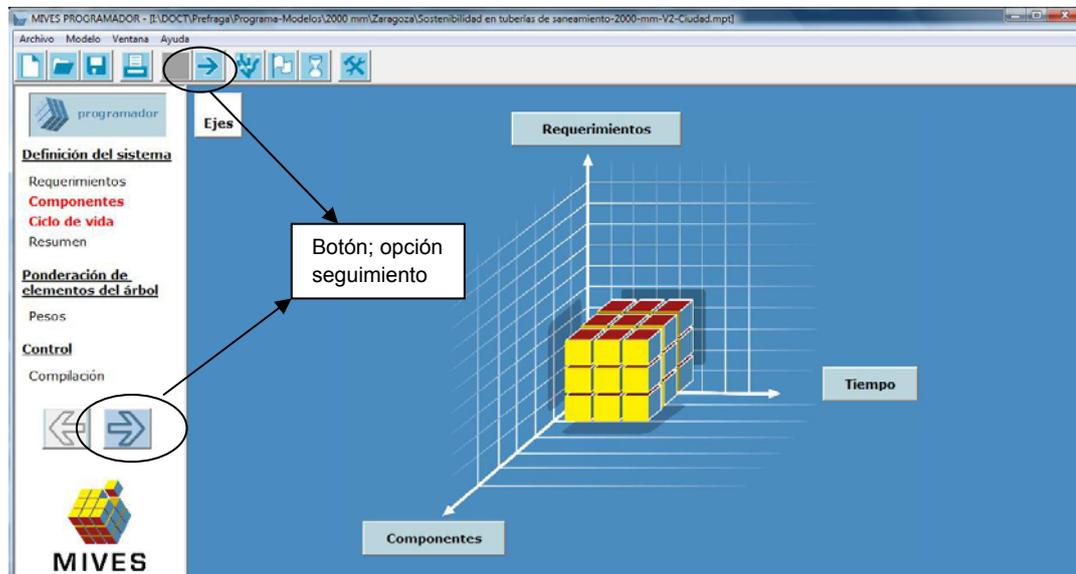


Figura A1.18. Módulo programador – Límites del sistema

Iconos del módulo 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 A1.18)
	Icono utilizado para introducir el árbol de toma de decisión
	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 A1.5. Principales iconos utilizados en el módulo programador

Los elementos que aparecen en la columna izquierda de la figura A1.18 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 de extensión .mpt mediante el icono de la última fila de la tabla A1.5. Cuando se realiza la compilación, el módulo programador avisa de los posibles errores existentes. Una vez compilado este archivo se crea el archivo de extensión .mip que deberá subirse al portal web mives y esperar que lo valide el administrador (apartado A1.10.1). Posteriormente se podrá subir el archivo de extensión .miu que crea el módulo usuario para poder obtener el informe de resultados.

A1.10.2.1. 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 A1.5. Inmediatamente aparecerán unos cuadros de diálogo para poder introducir esta descomposición.

A1.10.2.2. Árbol de toma de decisión

Para introducir el árbol de toma de decisión se puede clicar el icono de la figura A1.18 que pone requerimientos o directamente el icono que sale en la parte izquierda superior de la pantalla y que se define en la tabla A1.5. 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.

A1.10.2.3. 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 continúa, escalón o puntuación. En los tres casos, la primera opción existente es definir los límites máximo y mínimo del rango de validez de cada uno de los indicadores si es que los tuviera.

En el caso que la función de valor sea del tipo continúa. Tal y como se ha estudiado en este anejo 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 , ordenada del punto de inflexión y abscisa del punto de inflexión (figura A1.19).

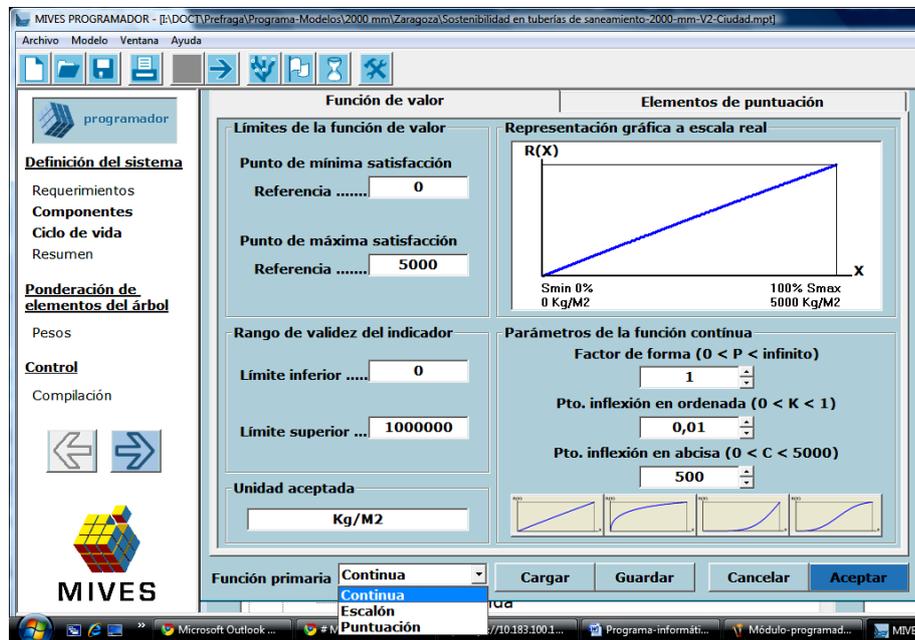


Figura A1.19. Introducción de la función de valor

En el caso que los indicadores se cuantifiquen a través de atributos, además de la función de valor se deberá seleccionar la pestaña de elementos de puntuación (figura A1.19) para introducir las diferentes puntuaciones. Las puntuaciones pueden introducirse mediante elementos booleanos en que se da una puntuación dependiendo de si la repuesta 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.

A1.10.2.4. Asignación de pesos

Para la asignación de pesos se debe ir a la columna de la izquierda de la figura A1.18 y clicar donde pone asignar pesos. En esta fase se puede utilizar la metodología AHP o realizar el método de las proporciones. 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.

En la figura A1.20 se observa que una vez se clicca uno de los indicadores, los indicadores a los cuáles deben asignarse los pesos quedan resaltados en color azul. Aparece un cuadro de diálogo como el que se muestra en la figura A1.20 para asignar de forma directa (método de las proporciones) o mediante AHP los pesos de los diferentes indicadores. El proceso para realizar la asignación de pesos a los criterios y requerimientos es el mismo que en el caso de los indicadores.

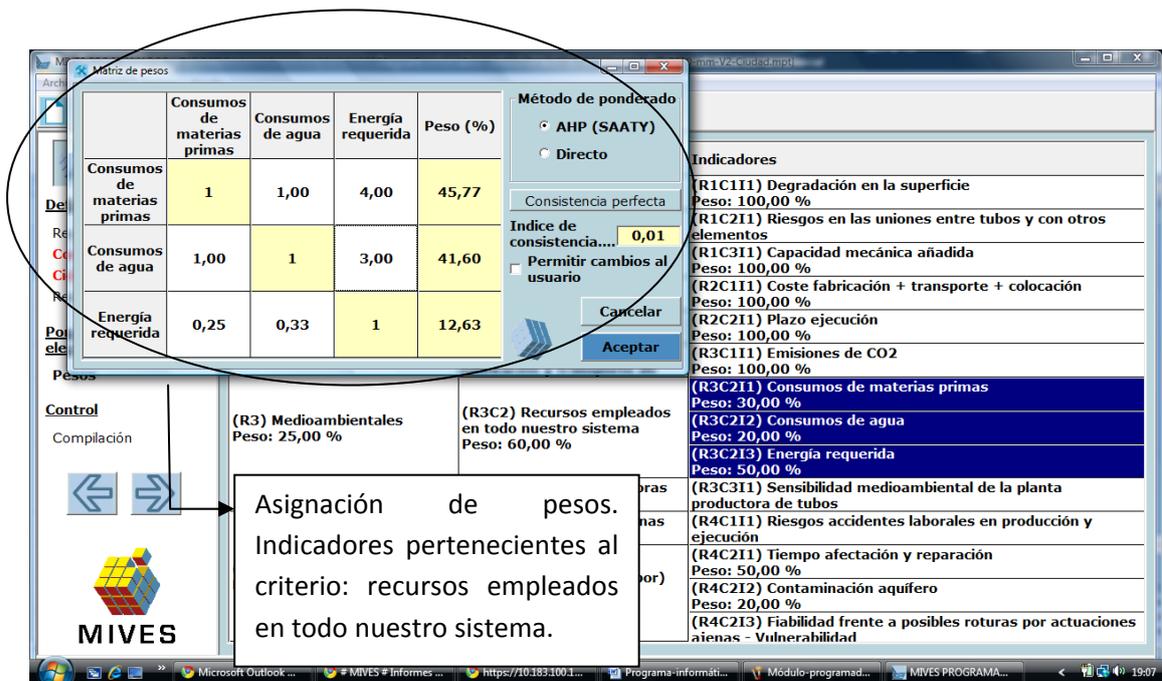


Figura A1.20. Asignación de pesos

A1.10.3. 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 A1.14).

En un archivo de extensión .mut nuevo, lo primero que debe especificarse, son el número de alternativas. Posteriormente aparece una pantalla parecida a la de la figura A1.21. Aquí es donde se introducirán todas las cuantificaciones de los indicadores para cada una de las alternativas.

Si se observa la figura A1.21, los rectángulos en rosa se refieren a indicadores en los cuales aún no se han colocado sus cuantificaciones. Los rectángulos en blanco se refieren a indicadores que ya han sido cuantificados para la alternativa estudiada.

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	
(R2) Económicos	(C1R2) Costes	(I1C1R2) Costes de fabricación + transporte + instalación - (Adimensional)	420,9
		(I1C1R3) Emisiones de CO2 - (Kg CO2/ml tubo)	7
(R3) Medioambientales	(C2R3) Recursos empleados en todo nuestro sistema	(I1C2R3) Consumo de materias primas - (Tabla)	<puntuación>
		(I3C2R3) Energía requerida - (MJ/ml tubo)	44,5
	(C3R3) Medidas correctoras de tipo	(I1C3R3) Sensibilidad medioambiental planta productora de tubos - (Adimensional)	<puntuación>
(R4) Social	(C1R4) Seguridad personas implicadas	(I1C1R4) Riesgos accidentes la producción y eiección - (Adimensional)	7,75
		(I1C2R4) Tiempo afectación y reparación - (Adimensional)	7
	(C2R4) Afectación a (o por) terceros	(I2C2R4) Contaminación acuífero - (Adimensional)	4,94
		(I3C2R4) Fiabilidad frente a posibles roturas por actuaciones ajenas - Vulnerabilidad -	2,88

Figura A1.21. Módulo usuario – Introducción cuantificaciones alternativas

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 A1.21). Inmediatamente aparecerá un cuadro de diálogo a rellenar tipo como el que aparece en la figura A1.22. 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.

Una vez introducidas todas las cuantificaciones, se puede compilar el archivo de extensión .mut y crear un archivo de extensión .miu. Este último archivo es con el que se trabajará en el módulo usuario.

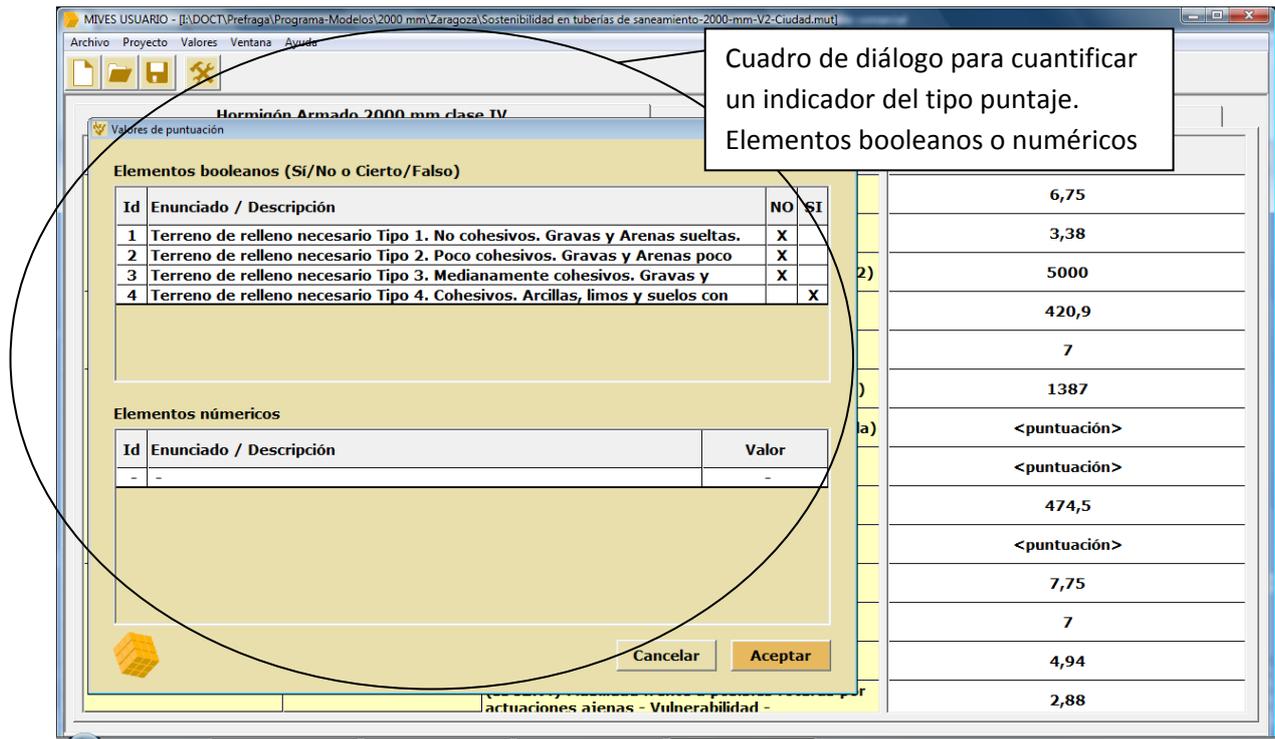


Figura A1.22. Módulo usuario – Indicadores con puntuación

A1.10.4. Módulo reporte

Como se comentó anteriormente, para poder realizar el informe de resultados a través del portal web MIVES, se tiene que haber subido el archivo de extensión .mpt, este archivo tiene que haber sido validado por el administrador y posteriormente, se debe subir el archivo de extensión .miu que crea el módulo usuario.

En el módulo reporte, se obtienen los índices de valor de las diferentes alternativas o los valores de los indicadores, criterios y requerimientos. Las principales opciones en este módulo se observan en la figura A1.23. Señalado con un 1 se visualiza la zona que indica si en el fichero de resultados aparecerá el valor 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. De esta forma, se evita, en el caso de necesitar el valor de todos los indicadores, criterios o requerimientos tenerlos que señalar uno a uno. 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.

En la figura A1.24 y la tabla A1.6 se pueden ver dos ejemplos de los posibles gráficos o tablas que se pueden obtener con el módulo reporte. El tamaño del pastel de la figura A1.24 es proporcional al índice de valor de cada alternativa. Si el usuario quisiera realizar otro tipo de gráficos, puede obtener los índices de valor o los valores de requerimientos,

critérios e indicadores mediante un arquivo de extensión .csv y trabajar con el programa Excel u otro similar.

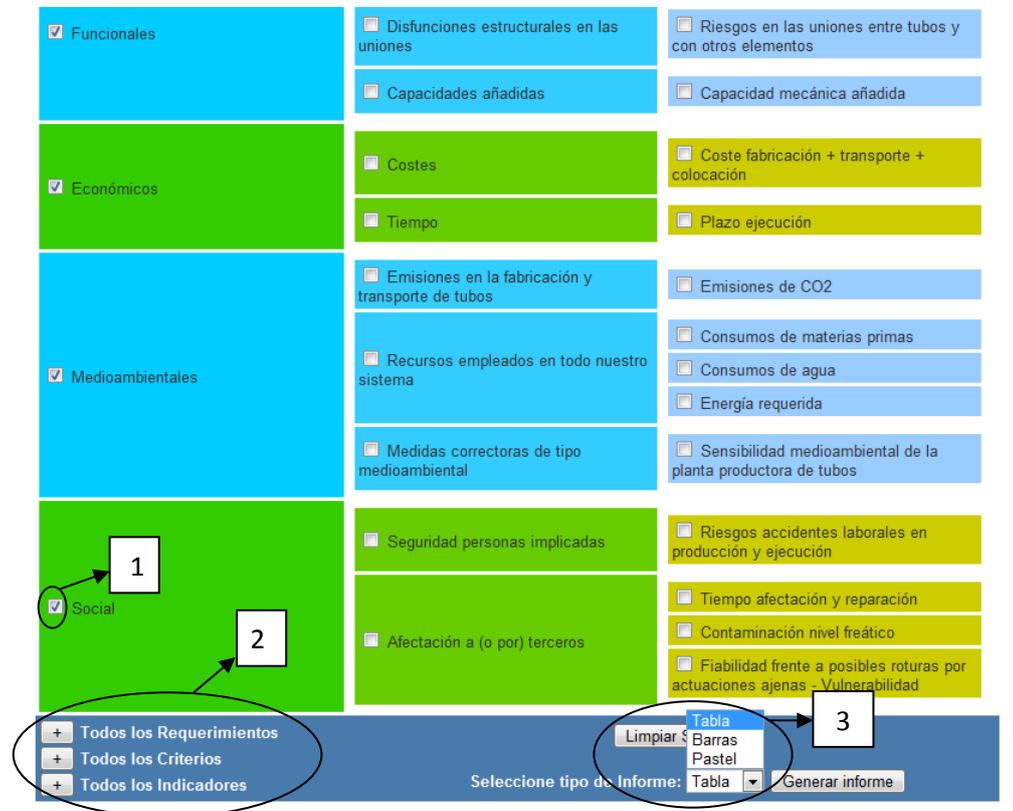


Figura A1.23. Pantalla principal del Módulo reporte

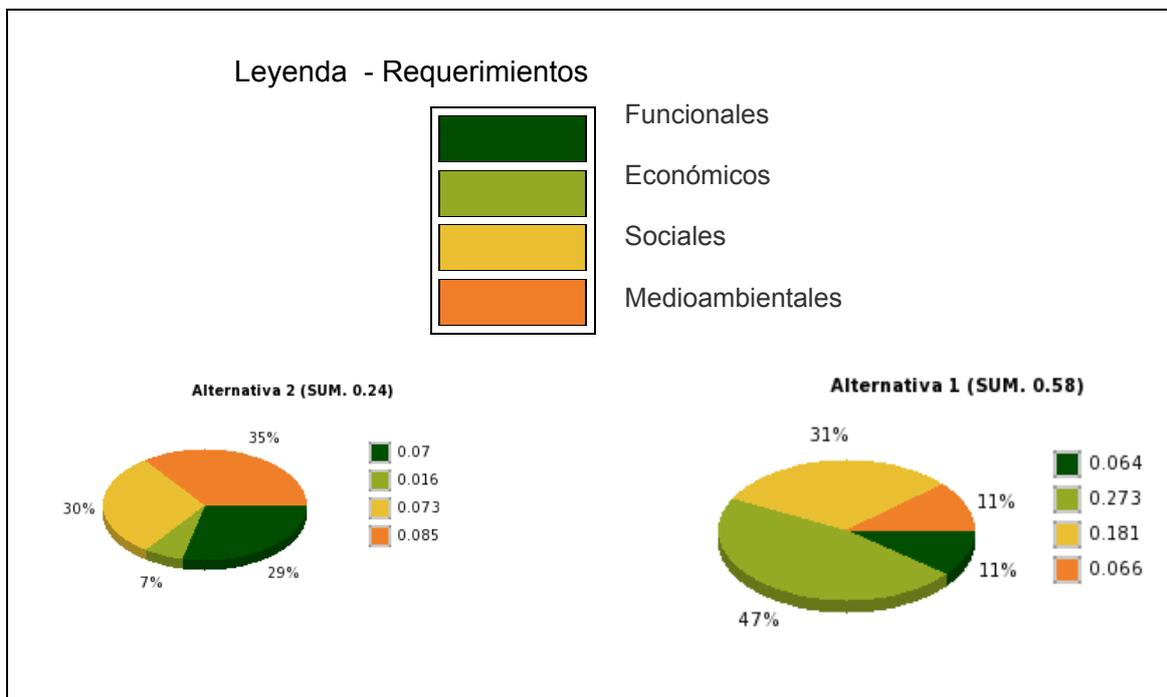


Figura A1.24. Informe de resultados – Gráfico pastel

Valor de los indicadores	Alternativa 1	Alternativa 2
1- Degradación en la superficie	0.006	0.026
2 - Riesgos en las uniones entre tubos y con otros elementos	0.021	0.024
3 - Capacidad mecánica añadida	0.037	0.02
4 - Coste fabricación + transporte + colocación	0.265	0
5 - Plazo ejecución	0.008	0.016
6 - Emisiones de CO ₂	0.000	0.066
7 - Consumos de materias primas	0.067	0.067
8 - Consumos de agua	0.034	0.051
9 - Energía requerida	0.067	0.000
10 - Sensibilidad medioambiental de la planta productora de tubos	0.013	0.007
11 - Riesgos accidentes laborales en producción y ejecución	0.002	0.039
12 - Tiempo afectación y reparación	0.007	0.013
13 - Contaminación nivel freático	0.021	0.015
14 - Fiabilidad frente a posibles roturas por actuaciones ajenas - Vulnerabilidad	0.036	0.017
SUMATORIO	0.58	0.36

Tabla A1.6. Informe de resultados

El valor de los indicadores que aparece en el informe de resultados es el valor 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, el valor del indicador por los pesos en cascada.

El valor de los criterios que aparece en el informe no es más que la suma de los valores de los indicadores pertenecientes a ese mismo criterio por sus pesos en cascada. El valor de uno de los requerimientos es la suma de los valores de los indicadores pertenecientes a ese mismo requerimiento por sus pesos en cascada.