

# Tarea genérica de decisión y método heurístico multiatributo

## 1. Estructura de la tarea de decisión y del método heurístico multiatributo

### 1.1 Definición de la tarea

El propósito de una *tarea de decisión* es elegir un medio de alcanzar un *estado diana* desde un *estado problemático*, de entre un conjunto de *alternativas* disponibles o identificadas como *viabes*, en función de unos recursos disponibles sometidos a ciertas restricciones de uso, en un entorno posiblemente no determinista. El concepto de *alternativa viable* puede particularizarse en un curso de acción, un objeto físico, un mensaje, una propiedad, etc.. El conocimiento previo de un conjunto de opciones o alternativas de elección supone un caso particular de esta tarea, identificable con la inferencia *select* descrita en CommonKADS. Asimismo, una secuencia de tareas de decisión se articula a través de una *tarea de planificación*.

A continuación se describe la tarea de decisión utilizando el lenguaje de semiformalización CML.

```
Task decision;
  Task definition
    goal: Elección de un medio de alcanzar un estado objetivo partiendo de un
          estado problemático.
    input:
      Definición del problema:
        Recursos
        Restricciones
        Estado diana
        Estado problemático

    output:
      Decisión
  Task-body
    Type: Composite
    Problem-solving method: Método heurístico multiatributo
Task end.
```

### 1.2 Decomposición de la tarea via el Método Heurístico Multiatributo

Dado un problema identificado como *tarea de decisión*, el *método de decisión heurístico* consiste en el *diseño* y posterior *evaluación* sistemática de un conjunto de *alternativas*, en un entorno posiblemente no determinista, contrapesando juicios relativos a la incertidumbre con preferencias por las posibles *consecuencias* de tales elecciones con el

fin de *seleccionar* la *alternativa* idónea (*decisión*) de acuerdo a un conjunto previamente priorizado de *objetivos*.

Se define una *consecuencia* como un pronóstico sobre el conjunto de implicaciones de adoptar una decisión. Las consecuencias pueden clasificarse de acuerdo a dos criterios: certidumbre y dimensionalidad. Una consecuencia es “cierta” cuando su conexión a una alternativa es determinista e “incierta” cuando cada opción de decisión tiene asociado un conjunto posible de consecuencias, cada una de ellas con una probabilidad de ocurrencia. Por otro lado, una consecuencia es unidimensional cuando la decisión es función de un objetivo único, cuya medida de satisfacción caracteriza la consecuencia. Una consecuencia es multidimensional (o *multiatributo*) cuando existe más de un descriptor de las consecuencias.

El análisis del problema de decisión de consecuencias ciertas y unidimensionales es claro, al menos conceptualmente: se escoge la alternativa factible que maximice una medida objetiva única. En la práctica, si las alternativas son numerosas y las restricciones pueden formularse matemáticamente, encontrar el máximo implicará el empleo de todo un rango de técnicas matemáticas, pero aún el problema es conceptualmente directo. El caso multidimensional supone un análisis complejo orientado a establecer un orden en un conjunto de consecuencias, donde cada consecuencia se describe en términos de un conjunto de *atributos*, características que evalúan (o predicen) el grado de satisfacción de un conjunto de objetivos.

En este trabajo no trataremos la evaluación de incertidumbres, considerando que las consecuencias están ligadas determinísticamente a las acciones.

En general, admitirán el método de solución que describimos aquellos problemas de decisión individual donde las consecuencias de una acción pueden describirse en términos de medidas de coste y beneficio, tales como: decisiones privadas o análisis coste-beneficio individuales (en la elección de un trabajo, una casa, un coche, un tratamiento médico, etc), decisiones que afecten a los costes y beneficios de distintos individuos u organizaciones (salud pública, urbanismo, etc), análisis económicos o de mercado tipo coste-efectividad y coste-beneficio, etc. La figura 1 muestra una primera descomposición de la tarea de decisión según el método HM (heurístico multiatributo).

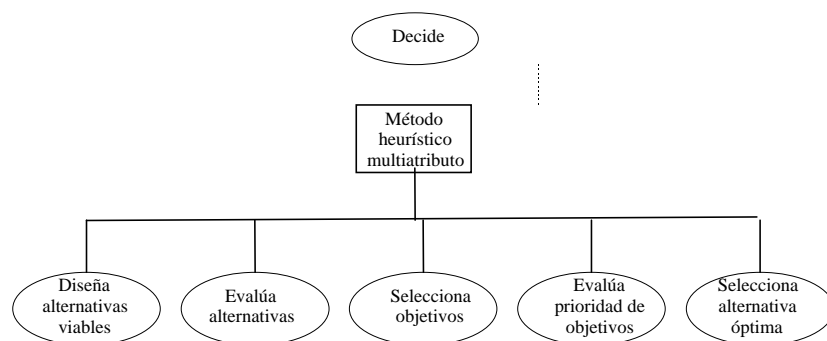


Fig. 1. Estructura de tareas. En la notación gráfica utilizada los rectángulos denotan métodos de descomposición de tareas, mientras que las elipses denotan tareas.

Usamos de nuevo el lenguaje CML para la descripción del método:

```
PSM: Método heurístico multiatributo
  input:
    Definición del problema:
      Recursos
      Restricciones
      Estado diana
      Estado problemático
  output: Decisión
  static-roles:
    Objetivos
    Modelo de decisión
      Modelos de evaluación de alternativas
      Procedimientos de conversión de escala
      Modelo de optimización
      Modelo de priorización
  Sub-tasks:
    Diseña alternativas viables
    Selecciona objetivos
    Evalúa prioridad de objetivos
    Evalúa alternativas
    Selecciona alternativa óptima
  additional-roles:
    Alternativas viables
    Objetivos seleccionados
    Prioridades de los objetivos
    Consecuencias
```

Añadimos finalmente el conocimiento de control:

```
control-structure-template:

REPEAT
  Diseña alternativas viables(Definición del problema → Alternativas viables)
  Evalúa alternativas (Objetivos seleccionados, Alternativas viables, Modelos de evaluación de alternativas → Consecuencias)
  Selecciona objetivos(Objetivos, Alternativas viables, Modelos de evaluación de alternativas → Objetivos seleccionados)
  Evalúa prioridad de objetivos (Estado problemático, Objetivos seleccionados, Consecuencias, Modelo de priorización → Prioridades de los objetivos)
  Selecciona alternativa óptima (Consecuencias, Alternativas viables, Prioridades de los objetivos, Procedimientos de conversión de escala, Modelo de optimización → Decisión)
UNTIL obtener Decisión
```

La figura 2 muestra las inferencias y papeles que intervienen en el método de decisión heurística multiatributo.

A continuación se describen brevemente las subtareas identificadas, llamando la atención sobre el alto grado de genericidad que inevitablemente tienen las descripciones proporcionadas, dada la extensa aplicabilidad del método propuesto. *Selecciona alternativa*

*óptima*, la tarea más característica del proceso de toma de decisiones, se excluye de esta sección por ser tratada en detalle en la sección 1.4.

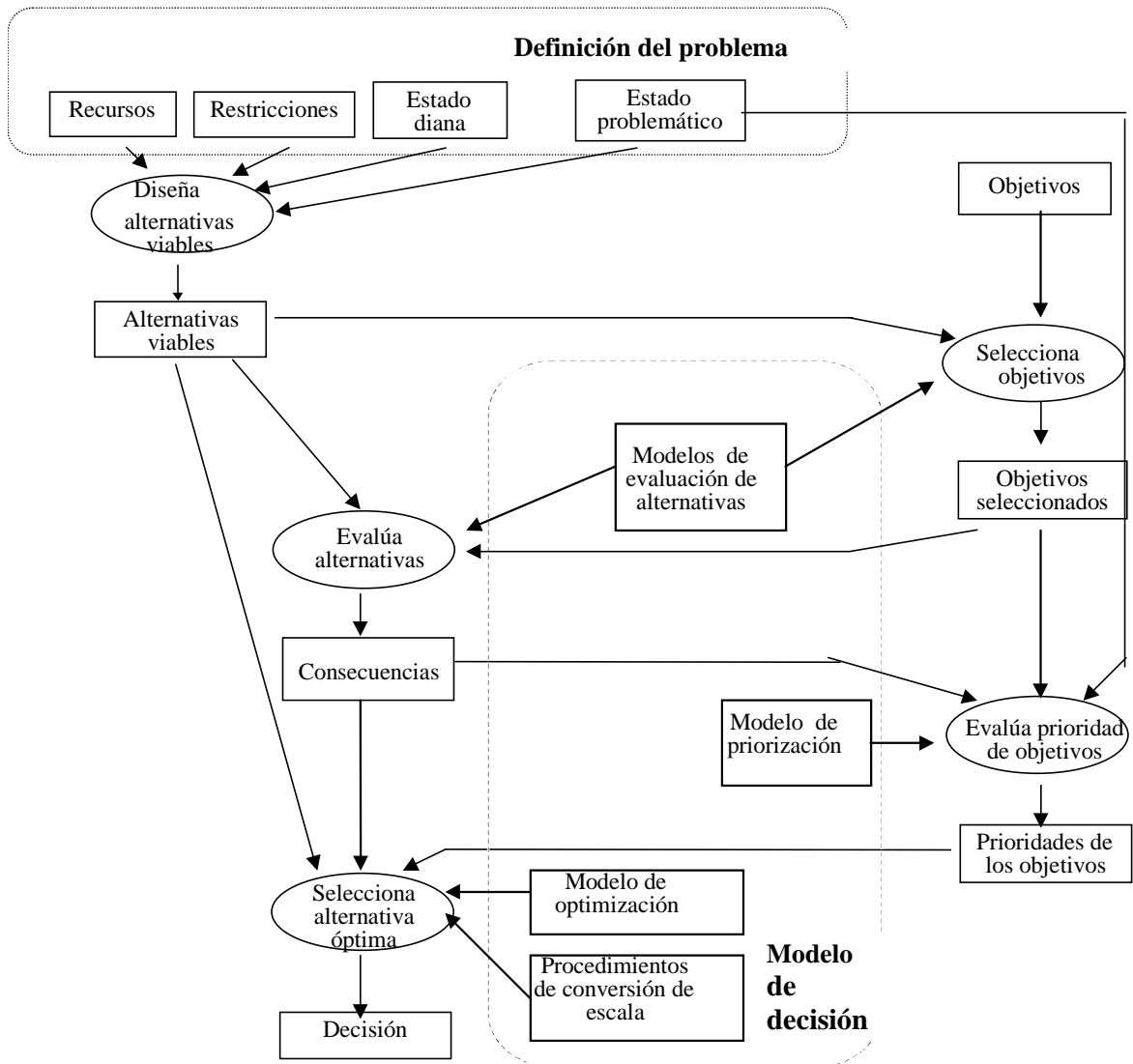


Fig. 2. Estructura funcional del método de decisión heurística multicriterio.

### Diseña alternativas viables

Especificación de las *alternativas viables*, en términos de sus componentes y estructura (temporal, espacial o funcional), que constituyen un medio de evolucionar desde un *Estado problemático* hacia un *Estado diana*, considerando los *recursos* disponibles y las *restricciones* de su uso. En el caso más general se lleva a cabo mediante un método de *diseño* (puesto que no existe un conjunto de alternativas previo se requiere su diseño a partir de componentes), y en los casos más sencillos mediante una *selección bajo criterios* de entre un conjunto pre-especificado, donde los criterios evalúan la factibilidad y conveniencia de adoptar tales opciones. Otro método aplicable es la identificación de alternativas por *Razonamiento Basado en Casos*: se seleccionarán aquellas opciones que ante problemas equivalentes constituyeron soluciones satisfactorias en experiencias

pasadas almacenadas en una base de casos. En este último caso la subtaska se descompone a su vez en una taska de *clasificación* - abstracción de la formulación del problema y equiparación con una categoría de casos - seguida de una *selección* de las decisiones adoptadas en los casos registrados pertenecientes a la clase identificada.

Como taska genérica de diseño, esta inferencia debería considerar dos papeles de entrada: las *especificaciones de diseño* y los *recursos disponibles*. Orientados hacia la *decisión*, desglosamos cada uno de ellos en dos, las especificaciones en *estado problemático* y *estado diana* (estados inicial y final en un análisis medios-fines), y los recursos en *recursos* y *restricciones*.

#### Selecciona objetivos

Inferencia de *selección* que utiliza como criterios la mensurabilidad de los *objetivos* sobre las *alternativas viables*, según el conocimiento requerido por los *modelos de evaluación*, y el nivel de descomposición considerado en la estructura global de agregación de los *objetivos* (precisión en la valoración de las alternativas de decisión, que usualmente se incrementa en las sucesivas iteraciones del primer bucle identificado en la estructura de control).

#### Evalúa alternativas.

Asocia un conjunto de valores de utilidad (*atributos*) a cada *alternativa viable*, denominado *consecuencia* de la alternativa. Cada *atributo* es una media de cumplimiento de un criterio (especificado por un *objetivo*). Coincide con una taska de *evaluación* en CommonKADS, que en algunos casos implicará una subtaska de predicción.

#### Evalúa prioridad de objetivos.

Asocia a los *objetivos seleccionados* valores que reflejan la preferencia relativa (*prioridad*) entre ellos. Se trata de una taska de “*evaluación comparativa*”, no descrita en la literatura, donde la evaluación de un *objetivo* se ve condicionada por las características del conjunto global de objetivos. Los criterios de asignación de *prioridades* pueden ser la relevancia de los *objetivos*, la fiabilidad de su medida u otros más complejos función de los valores concretos asociados a los *atributos* en las *consecuencias* de las *alternativas*.

Finalmente, las tablas de las figuras 3 y 4 incluyen la descripción de algunos papeles del dominio, así como asunciones acerca de los conceptos del dominio de aplicación que están implícitos en tales papeles, haciendo referencia a los ejemplos de la sección 2. Asimismo, en el análisis de esta taska hemos querido hacer reflexionar al alumno sobre cómo los papeles globales del método se concretan en roles particulares desempeñados en cada subtaska o inferencia. Así, en las citadas tablas hemos especificado los roles concretos asumidos en las distintas inferencias.

ESTADO PROBLEMÁTICO
<p><b>Asunciones</b>  Instancia del conjunto de variables que caracteriza un sistema</p> <p><b>Papel</b>  <i>Diseña alternativas viables</i> <math>\Rightarrow</math> estado inicial en un análisis medios-fines  <i>Evalúa prioridad de objetivos</i> <math>\Rightarrow</math> variables que condicionan la asignación de <i>prioridades</i></p> <p><b>Enlace con el dominio</b>  Estado actualmente ocupado por el sistema afectado por la decisión, percibido como “problemático” o “indeseable” (modelo del decisor, contexto de decisión, etc)  ♦ Ej: características objetivas (currículum) y subjetivas (test de preferencias) del solicitante de empleo.</p>
ESTADO DIANA
<p><b>Asunciones</b>  Condiciones sobre variables que definen un conjunto de estados</p> <p><b>Papel</b>  <i>Diseña alternativas viables</i> <math>\Rightarrow</math> Criterios que especifican un estado final, en un análisis medios-fines</p> <p><b>Enlace con el dominio</b>  Condiciones satisfechas por un estado “no problemático” (definición de un conjunto de estados previo análisis de objetivos igualmente deseables)  ♦ Ej: situación laboral activa</p>
RECURSOS
<p><b>Asunciones</b>  Conjunto heterogéneo de elementos caracterizados por descriptores (estructurados en marcos), cuyas relaciones mutuas permiten componer estructuras más complejas.</p> <p><b>Papel</b>  <i>Diseña alternativas viables</i> <math>\Rightarrow</math> Componentes a partir de los cuales se especifica un diseño.</p> <p><b>Enlace con el dominio</b>  En el caso más sencillo, conjunto de alternativas potenciales. En general, recursos disponibles para el diseño de alternativas de decisión.  ♦ Ej: Ofertas de empleo disponibles</p>
RESTRICCIONES
<p><b>Asunciones</b>  Condiciones que establecen ligaduras sobre variables</p> <p><b>Papel</b>  <i>Diseña alternativas viables</i> <math>\Rightarrow</math> restricciones sobre los elementos utilizados en el diseño en forma de ligaduras con las variables del <i>estado problemático</i></p> <p><b>Enlace con el dominio</b>  Limitaciones en la utilización de los elementos disponibles para el diseño que determinan la viabilidad de una alternativa de decisión en un contexto dado  ♦ Ej: Condiciones del trabajador exigidas para el desempeño de un tipo de empleo (experiencia requerida, titulación, edad, etc).</p>

Figura 3. Descripción de los papeles *Estado problemático*, *Estado diana*, *Recursos* y *Restricciones*, el role específico que desempeñan en las inferencias y asunciones sobre su correspondencia con los conceptos de un dominio de decisión.

OBJETIVOS	
<b>Asunciones</b>	Conjunto heterogéneo estructurado en un grafo que refleja distintas relaciones (jerárquicas: herencia, composición, y no jerárquicas: preferencia, cooperación, competición, influencia, compromiso...). La información exclusiva de cada elemento se estructura en un marco. Algunos de estos elementos tienen un modelo de evaluación asociado.
<b>Papel</b>	<i>Selecciona objetivos</i> $\Rightarrow$ Conjunto donde tiene lugar la selección (dependiendo de la etapa de iteración en la decisión se considera un nivel en la jerarquía de agregación)
<b>Enlace con el dominio</b>	Factores orientativos de la decisión, cuyo grado de satisfacción se utiliza para evaluar las alternativas. La jerarquía de agregación refleja su división de <i>objetivos</i> en niveles inferiores de detalle (subobjetivos). Los de bajo nivel pueden verse como un medio para un fin último: el objetivo de más alto nivel, demasiado vago para propósitos operacionales. Cada nivel supone una precisión diferente en la estimación de dicho objetivo. ♦Ej: En el nivel de descomposición del objetivo “buenas perspectivas a largo plazo”: planificación de carrera, variedad, interés técnico
ALTERNATIVAS VIABLES	
<b>Asunciones</b>	Conjunto heterogéneo (discreto o continuo, finito o infinito) de elementos estructurados en un marco
<b>Papel</b>	<i>Diseña alternativas viables</i> $\Rightarrow$ Resultados del diseño, que verifican la exclusividad mutua (ningún otro diseño intermedio o combinado era posible y cualquiera es igualmente válido) <i>Selecciona objetivos</i> $\Rightarrow$ Información analizada con objeto de identificar los criterios según los cuales es posible su evaluación, utilizando algún método disponible (analizando la asociación entre sus descriptores y las variables de entrada de los métodos de evaluación). <i>Evalúa alternativas</i> $\Rightarrow$ Información evaluada bajo los criterios especificados por el conjunto de <i>objetivos seleccionados</i> y mediante los métodos parametrizados en los <i>modelos de evaluación de alternativas</i> <i>Selecciona alternativa óptima</i> $\Rightarrow$ Conjunto donde tiene lugar la selección en función de sus evaluadas <i>consecuencias</i> .
<b>Enlace con el dominio</b>	Conceptos muy diversos en naturaleza y no sólo cuantitativamente, dada la extensa aplicabilidad de las tareas de decisión. La información disponible permite su evaluación de acuerdo a al menos uno de los objetivos pre-especificados, mediante un método disponible. En el caso continuo con frecuencia coinciden con un punto en el espacio N-dimensional de objetivos $(x_1, \dots, x_n)$ , $x_i \in E_i$ , $x_i$ grado de satisfacción del objetivo $i$ si se adopta como decisión la alternativa descrita; $E_i$ escala de medida. Si el conjunto <i>alternativas viables</i> es también continuo, se describe mediante restricciones $\{R(x_1, \dots, x_n)\}_{i=1, \dots, m}$ ♦Ej: Conjunto de ofertas de empleo cuyos requisitos no eliminan al solicitante.

Figura 4. Descripción de los papeles *Objetivos* y *Alternativas viables*

La tabla de la figura 5 refleja algunas asunciones añadidas, referidas a propiedades de los mencionados conceptos del dominio. En realidad este tipo de asunciones podría resumirse estableciendo que la aplicación de un método de decisión heurístico multiatributo exige disponer de un modelo de dominio formalizado para la evaluación sistemática de



decisiones en el marco de la teoría de decisión, mediante razonables costes computacionales. Ejemplificamos no obstante las implicaciones concretas de este supuesto en algunos casos.

ASUNCIONES DE PROPIEDADES SOBRE EL MODELO DEL DOMINIO	
<b>Recursos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permiten al menos un diseño válido</li> </ul>
<b>Objetivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los criterios negativos (riesgos) se expresan como “negación de <i>objetivos</i>”, por simplificar</li> <li>• Todas las facetas de un <i>objetivo</i> de nivel superior son consideradas en alguno de sus subobjetivos.</li> <li>• Constituyen un conjunto completo y mínimo, sin entrar en consideraciones no significativas</li> <li>• La jerarquía puede no ser única, ni en nivel de detalle ni en los propios objetivos identificados</li> <li>• Las relaciones de competitividad e influencia no existen (independencia de <i>objetivos</i>) o no son muy complejas, de forma que se expresan con precisión en el marco del modelo</li> <li>• La jerarquía encierra conocimiento requerido por <i>Selecciona objetivos</i>, <i>Evalúa prioridad de objetivos</i> y <i>Selecciona alternativa óptima</i>. Cada método particular de descomposición de estas subtareas supone asunciones adicionales sobre la jerarquía que condicionan su aplicabilidad</li> </ul>
<b>Modelos de evaluación de alternativas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La medida de satisfacción de <i>objetivos</i> deben ser tan objetiva como sea posible.</li> </ul>
<b>Consecuencias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los impactos no relacionados con <i>objetivos</i> no figuran en la descripción</li> <li>• No necesariamente se asocian atributos a cada <i>objetivo</i>: no obstante la jerarquía total es útil para estimar preferencias aunque éstas no se cuantifiquen hasta el último nivel de detalle.</li> <li>• La generación de un conjunto apropiado de <i>atributos</i> no es única</li> <li>• Los <i>atributos</i> son: significativos, medibles, objetivos, operacionales, descomponibles, no redundantes y constituyen un conjunto mínimo y completo</li> </ul>
<b>Asunciones pragmáticas:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su evaluación no implica costes computacionales en complejidad espacial y temporal desorbitados.</li> <li>• El número de atributos es moderado, no da lugar a una explosión combinatoria en los cálculos.</li> </ul> <p>.....</p>

Figura 5. Asunciones adicionales sobre propiedades de las instancias de algunos papeles

### 1.3 Conocimiento del dominio

En este apartado se modela la ontología de un dominio de decisión utilizando la notación UML. El resultado proporciona una librería de clases y relaciones genéricas, punto de partida de un diseño de tarea de decisión por instanciación en el dominio específico, mediante el mecanismo de la herencia, añadiendo nuevos atributos y relaciones - quizá también nuevas clases - a los que aquí se definen. Dada la genericidad del análisis, las clases definidas cuentan con pocos o ningún atributo, según los casos.

La notación UML es una evolución de la notación OMT. No se pretende que el alumno conozca las particularidades de esta notación. Basta con que aprenda a identificar clases de conceptos, propiedades de estos conceptos y relaciones de herencia y composición, además de otras relaciones específicas de un dominio determinado. Mostramos la representación

completa de clases en UML para ilustrar una vez más el uso de notaciones semiformales para la descripción del conocimiento de un dominio.

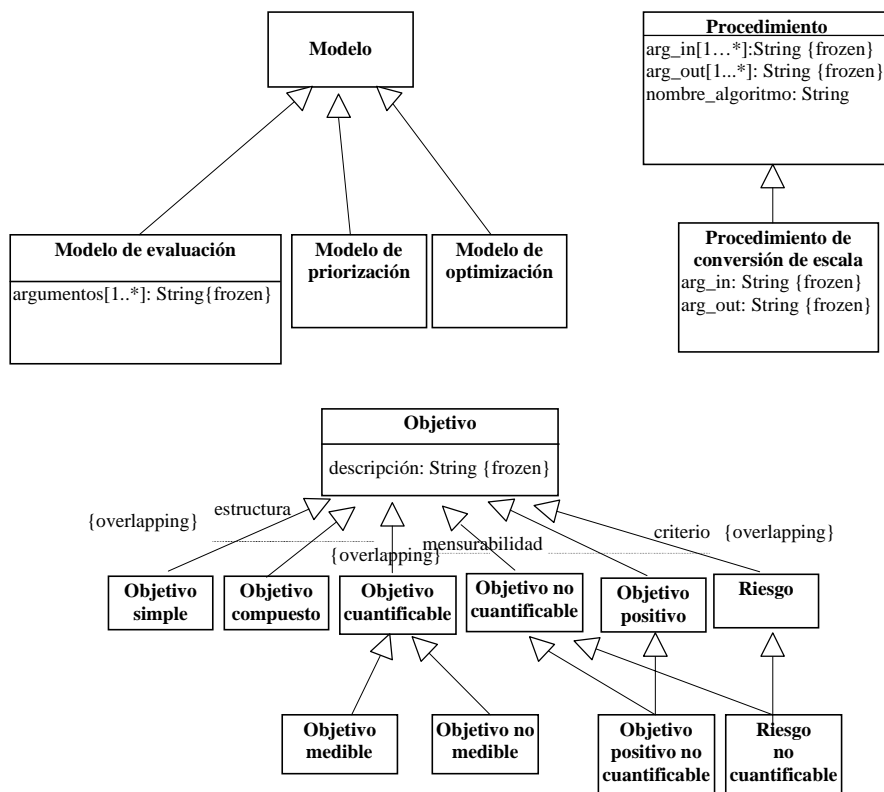


Figura 6. Clases relacionadas en jerarquías de herencia

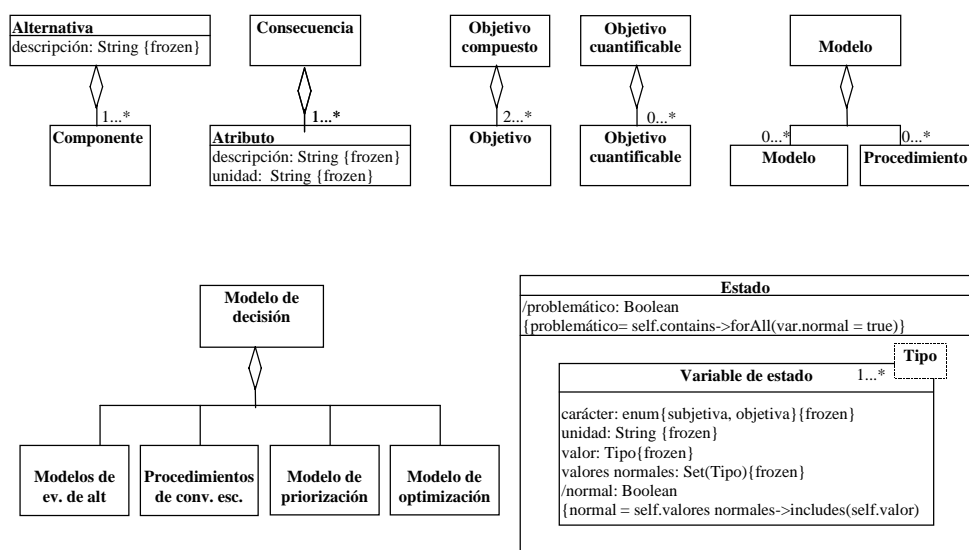


Figura 7. Clases relacionadas en jerarquías de composición (entre Estado y las Variables de estado) y agregación (el resto de las relaciones). La relación de agregación es una relación más débil que la relación de

composición: los componentes de una relación de agregación pueden participar simultáneamente en diferentes relaciones de agregación, lo que no ocurre con los componentes de una relación de composición.

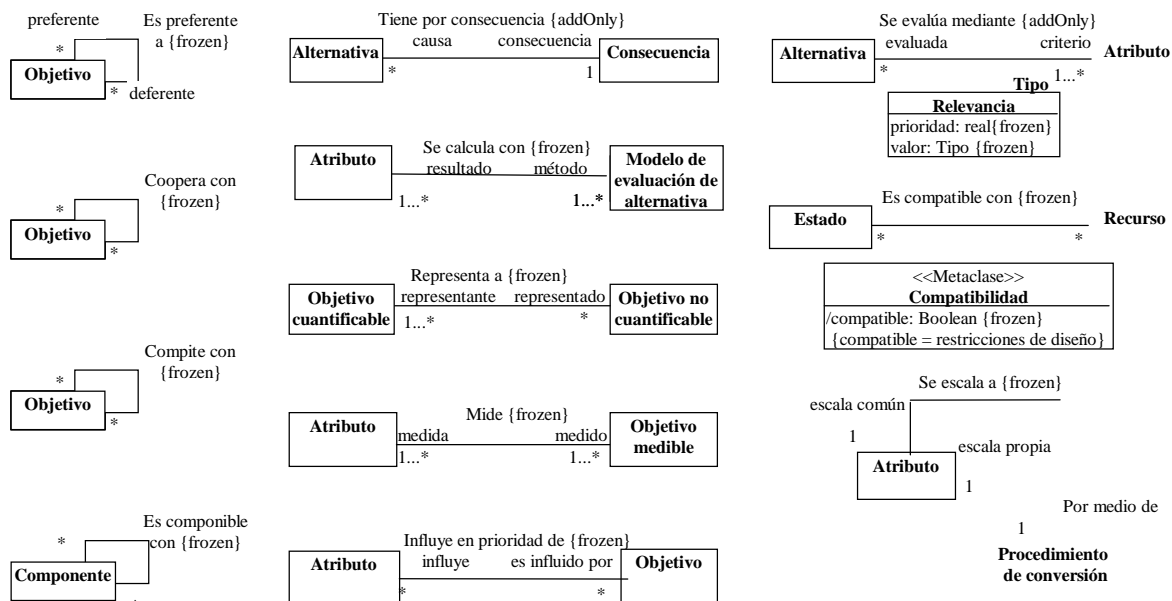


Figura 8. Otras relaciones entre clases

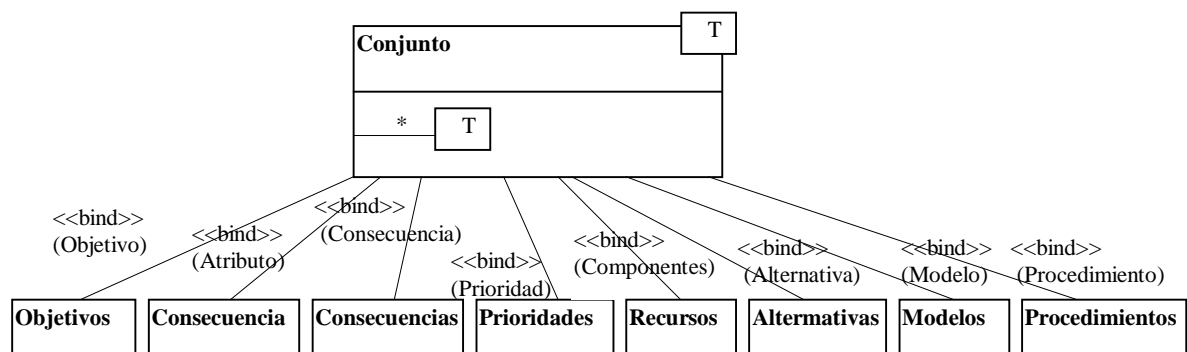


Figura 9. Particularización de clases utilizando la clase parametrizada Conjunto

La tabla de la figura 10 muestra la correspondencia entre los papeles del dominio definidos en el método HM y las clases y relaciones anteriores.

<b>Subtarea</b>	<b>Papeles de entrada (utilizados)</b>	<b>Papeles de salida (creados)</b>	<b>Papeles de soporte (utilizados)</b>	<b>Conocimiento implícito</b>
<b>Diseña alternativas viables</b>	<i>Recursos:</i> Componentes Componible con <i>Restricciones:</i> restricciones de diseño <i>Estado problem.:</i> Estado <i>Estado diana:</i> Set(valores normales)	<i>Alternativas viables:</i> Alternativas Es agregación de		
<b>Selecciona objetivos</b>	<i>Alternativas viables:</i> Alternativas	<i>Objetivos selecc.:</i> Objetivos Se evalúa mediante	<i>Objetivos:</i> Objetivos <i>Modelos eval. alt.:</i> Mod. eval. alt.	Es agregación de Representa a Mide
<b>Evalúa alternativas</b>	<i>Alternativas viables:</i> Alternativas <i>Objetivos selecc.:</i> Objetivos Se evalúa mediante	<i>Consecuencias:</i> Consecuencias Tiene por consec.	<i>Mod. eval.alt.:</i> Mod. eval. alt	Se calcula con
<b>Evalúa prioridad de objetivos</b>	<i>Estado problemat.:</i> Estado <i>Consecuencias:</i> Consecuencias <i>Objetivos selecc.:</i> Objetivos	<i>Prioridades de obs.:</i> Set(prioridades)	<i>Modelo de .priori.:</i> Modelo prioriz	Influye en priorid. Es preferente a
<b>Selecciona alternativa óptima</b>	<i>Alternativas viables:</i> Alternativas <i>Consecuencias:</i> Tiene por consec. Consecuencias <i>Prioridades de los obs.:</i> Set(prioridades)	<i>Decisión:</i> Alternativa	<i>Modelo opt.:</i> Modelo. opt. <i>Proc.conv.esc.:</i> Proc.conv.esc	Coopera con Compite con Se escala a

Figura 10 Correspondencia entre los papeles definidos en el método HM (en cursiva) y las categorías ontológicas (clases, atributos y relaciones) de un problema de decisión. La última columna contiene las relaciones que constituyen el conocimiento estático implícitamente utilizado por las respectivas subtareas

#### 1.4 Refinamiento de la subtarea *Selecciona alternativa óptima*

Cualquiera de las subtareas descritas en la sección 1.2 admite un conjunto de métodos de descomposición alternativos. En el caso de la subtarea *Selecciona alternativa óptima*, se han identificado tres métodos comunes, en términos de inferencias “básicas” en la terminología de KADS y CommonKads (Figura 11). En el siguiente apartado se analiza el método *Optimización de función de bienestar*, ilustrado en el ejemplo de la última sección, señalando algunas de sus asunciones específicas y describiendo los papeles del dominio adicionales que surgen en la nueva descomposición.

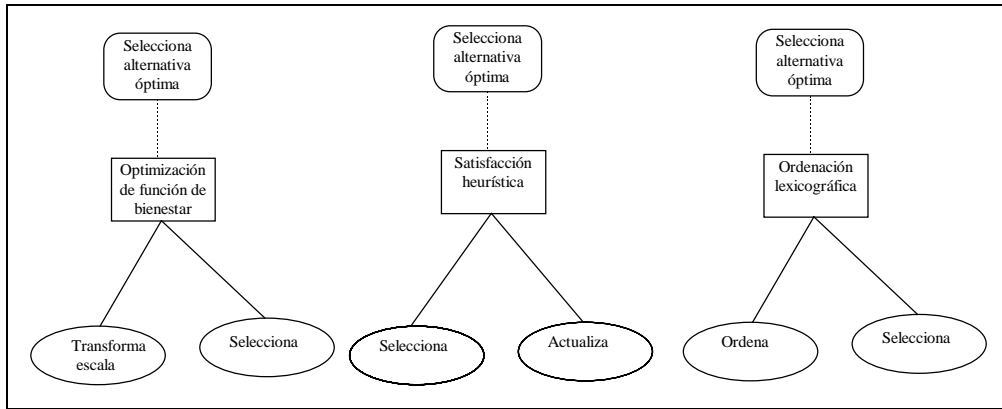


Figura 11 Estructuras de inferencias alternativas de la subtask *Selecciona alternativa óptima*.

#### 1.4.1 Método de optimización de una función de bienestar (análisis coste - efectividad)

El diagrama de inferencias de la tarea *Selecciona alternativa óptima* según el método *Optimización de una función de bienestar* se describe en la figura 12.

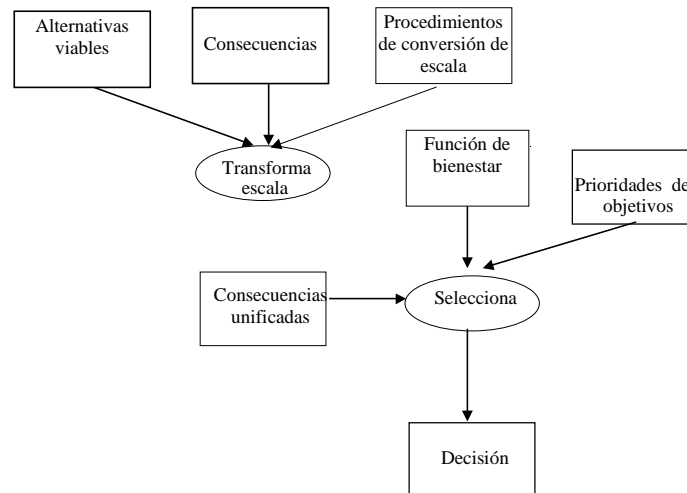


Figura 12 Diagrama de inferencias de la tarea *Selecciona alternativa óptima* según el método *Optimización de una función de bienestar*

CONSECUENCIAS	
<b>Asunciones</b>	Conjunto indexado de tuplas de medidas .
<b>Papel</b>	<i>Transforma escala</i> $\Rightarrow$ Conjunto de medidas multidimensionales, cuyas componentes, en principio incommensurables, se transforman a una escala común, haciendo uso de los <i>Procedimientos de conversión de escala</i> .
<b>Enlace con el dominio</b>	Modelan el impacto de asumir una alternativa como decisión, en lo que respecta a la satisfacción de los objetivos. Puntos en el espacio N-dimensional de objetivos: $(x_1, \dots, x_n)$ , $x_i \in E_i$ , $x_i$ grado de satisfacción del objetivo i (atributo i) si se adopta la alternativa; $E_i$ escala de medida del objetivo. ♦ Ej: {interés técnico (valoración subjetiva en [0,10]), salario inicial aceptable (salario mensual en pts), plan de jubilación (binario), buenas perspectivas de promoción (personas a cargo de un trabajador después de 5 años) , ... }
CONSECUENCIAS UNIFICADAS	
<b>Asunciones</b>	Conjunto de tuplas de medidas commensurables (escala común en R).
<b>Papel</b>	<i>Transforma escala</i> $\Rightarrow$ Resultados de la conversión de escala <i>Selecciona</i> $\Rightarrow$ Evaluaciones multidimensionales commensurables, asociadas a las alternativas, que se analizan para determinar la alternativa óptima, mediante cierto procedimiento de optimización de la <i>Función de bienestar</i>
<b>Enlace con el dominio</b>	Vector de consecuencias con atributos expresados en una escala tal que sus valores pueden condensarse en una medida única representada por una <i>Función de bienestar</i> . ♦ Ej: Vector de componentes en el intervalo [0,100]
PRIORIDADES DE OBJETIVOS	
<b>Asunciones</b>	Conjunto de conjuntos de números reales (ambos indexados) a menudo en [0,1].
<b>Papel</b>	<i>Selecciona</i> $\Rightarrow$ Parámetros que instancian argumentos de la <i>Función de bienestar</i> .
<b>Enlace con el dominio</b>	Cuantificación de preferencias relativas por los objetivos, necesaria si no se pueden simultáneamente maximizar beneficios y minimizar costes asociados a las alternativas. ♦ Ej: 0.3, 0.3, 0.1, 0.3 (para los objetivos previamente citados)
DECISIÓN	
<b>Asunciones</b>	Datos estructurados en un marco
<b>Papel</b>	<i>Selecciona</i> $\Rightarrow$ Alternativa seleccionada del conjunto <i>Alternativas viables</i> , resultado del procedimiento de optimización de la <i>Función de bienestar</i>
<b>Enlace con el dominio</b>	Alternativa de decisión que se ha juzgado tiene el mejor conjunto de consecuencias asociadas. ♦ Ej: Analista software, en la empresa AMPER DATOS, contrato en prácticas.

Figura 13 Descripción de los papeles involucrados en el método *Optimización de una función de bienestar* y de su role en la subtaska *Selecciona alternativa óptima*

En las tablas de las figuras 13, 14 y 15 se describen los papeles e inferencias identificados en la descomposición. En la tabla de la figura 15 se exponen algunas asunciones adicionales.

PROCEDIMIENTOS DE CONVERSIÓN DE ESCALA	
<b>Asunciones</b>	Conjunto de procedimientos, con espacios de entrada y salida unidimensionales, junto con la especificación de las unidades de medida en estos espacios y los parámetros del algoritmo susceptibles de sintonización.
<b>Papel</b>	<i>Transforma escala</i> $\Rightarrow$ Conjunto de algoritmos de donde se selecciona un subconjunto que transforma el conjunto de atributos que definen cada <i>Consecuencia</i> a una escala común.
<b>Enlace con el dominio</b>	Conjunto de algoritmos que transforman los atributos a distintas unidades de medida. La transformación preserva la métrica y las relaciones de orden. ♦Ej: El objetivo <i>Mujeres en puestos directivos</i> se mide mediante la expresión $\frac{\% M}{\% H + \% H}$ , donde %M y %H son, respectivamente, los porcentajes de mujeres y hombres empleados que ocupan puestos directivos. La transformación, en este caso por interpolación, a una escala de referencia [0,100] se realiza multiplicando por 100 el factor anterior.
FUNCIÓN DE BIENESTAR	
<b>Asunciones</b>	Función de variables reales
<b>Papel</b>	<i>Selecciona</i> $\Rightarrow$ Criterio de selección: expresión funcional, cuyos argumentos se hacen corresponder con <i>Prioridades de objetivos</i> y <i>Consecuencias</i> , que se busca optimizar sobre el conjunto restringido de parámetros correspondiente a las <i>Consecuencias</i> de las <i>Alternativas Viabiles</i> .
<b>Enlace con el dominio</b>	Expresión funcional que codifica las preferencias del decisor por las consecuencias de las distintas alternativas. Combina en una única medida de beneficios y costes los atributos que miden los distintos objetivos y las prioridades relativas de estos. ♦Ej:, $\sum_i w_i At(Al)_i$ (modelo aditivo ponderado) $w_i$ : prioridad del objetivo i. $At(Al)_i$ : atributo del objetivo i en la escala común, medido sobre la alternativa Al

Figura 14. Papeles estáticos en el método *Optimización de una función de bienestar*

TRANSFORMA ESCALA
Selecciona el subconjunto de <i>Procedimientos de conversión de escala</i> que unifica los <i>Atributos</i> que describen cada <i>Consecuencia</i> , y genera las respectivas conversiones en <i>Consecuencias unificadas</i> .
SELECCIONA
<p>Inferencia de selección bajo criterios, donde el criterio es la optimización de la <i>Función de bienestar</i>. Se distinguen dos casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conjunto <i>Alternativas viables</i> finito y discreto. La figura 17 muestra una descomposición adicional (método <i>Selecciona por inspección</i>) aplicable cuando la dimensión es moderada y la <i>Función de bienestar</i> no conlleva excesivos costes computacionales. La optimización consiste en el cálculo exhaustivo (<i>Beneficios globales</i>) y la selección de la alternativa que proporcione el máximo valor.</li> <li>• Conjunto <i>Alternativas viables</i> infinito (o demasiado elevado) o continuo. Los métodos aplicables son técnicas de optimización funcional. Pocos problemas de optimización se resuelven analíticamente, es decir, mediante una fórmula explícita. En la mayoría de los casos prácticos deben usarse técnicas computacionales de optimización tales como: programación lineal (las relaciones de restricción y la función de bienestar son lineales), programación no lineal, entera, estocástica o probabilística (parámetros aleatorios), etc. Otras posibles soluciones pasan por la discretización de los atributos. El problema puede complicarse considerando un conjunto de <i>Funciones de bienestar</i> a optimizar.</li> </ul>

Figura 15. Descripción de las inferencias del método *Optimización de una función de bienestar*

ASUNCIONES DE PROPIEDADES SOBRE EL MODELO DEL DOMINIO
<p><b>Consecuencias</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El método exige la comensurabilidad de los atributos en una escala común.</li> <li>• El determinismo impone la correspondencia uno a uno <i>Alternativas</i> / evaluaciones (<i>Consecuencias</i>).</li> <li>• La distinción entre <i>Consecuencias</i> que contribuyen positivamente a la consecución de los <i>Objetivos</i> (beneficios) y las que se desea evitar o minimizar (costes) se refleja exclusivamente en los valores de los <i>Atributos</i> correspondientes (en la escala real, p.e., signo + o -)</li> </ul>
<p><b>Prioridades de objetivos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestran la estructura relacional entre objetivos en caso de “independencia preferencial” (ausencia de relaciones de influencia). De otro modo, ésta ha de matizarse en <i>Selecciona de alternativa óptima</i>.</li> </ul>
<p><b>Función de bienestar</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La asunción de independencia preferencial se traduce en linealidad en términos funcionales de un único atributo. De otro modo la articulación de objetivos se expresa mediante términos cruzados.</li> </ul>
<p><b>Decisión</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Generalmente se asume que una única alternativa proporciona el máximo de la <i>Función de bienestar</i>. En otro caso el método no proporciona la decisión y se itera el primer bucle de la tarea principal buscando nuevos conjuntos de <i>Objetivos</i> o <i>Alternativas</i>. Heurísticas complementarias permiten refinar la selección, o bien el criterio se enriquece con restricciones (ligaduras adicionales entre los valores de los atributos) que restringen previamente el conjunto de alternativas (ej: <i>Umbral de costes</i>).</li> </ul>

Figura 16 Asunciones adicionales sobre algunas papeles del dominio del método *Optimización de una función de bienestar*



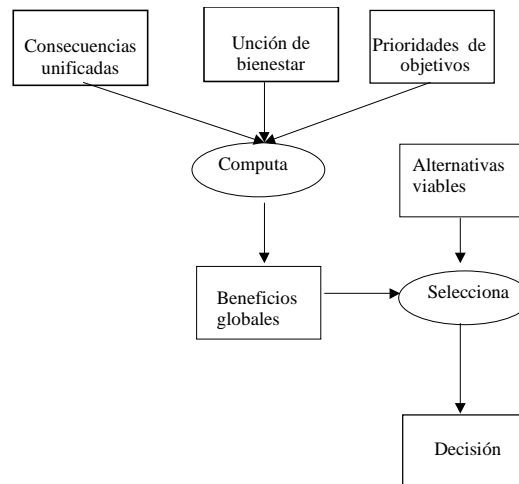


Figura 17 Descomposición de la inferencia *Selecciona* según el método *Selecciona por inspección*

El control de ejecución de la tarea se describe de nuevo utilizando el lenguaje CML:

```

Task Selecciona alternativa óptima;
  Task definition
    goal: Obtener la alternativa óptima
    input:
      Alternativas
      Consecuencias
      Prioridades de objetivos
      Función de bienestar
      Procedimientos de conversión de escala
    output:
      Decisión
  Task-body
    Type: Simple
    Problem-solving method: Optimización de una función de bienestar
Task end.

```

```

PSM: Optimización de una función de bienestar (análisis coste-efectividad)
input:
  Alternativas
  Consecuencias
  Prioridades de objetivos
output: Decisión
static-roles:
  Función de bienestar
  Procedimientos de conversión de escala
additional-roles:
  Consecuencias unificadas
control-structure-template:
  Transforma escala(Alternativas viables, Consecuencias, Procedimientos de
    conversión de escala → Consecuencias unificadas)
  Selecciona(Consecuencias unificadas, Prioridades de objetivos, Función de
    bienestar → Decisión)

```

Finalmente, figura 18 muestra ejemplos comunes de funciones de bienestar

---


$$\begin{aligned}
& \sum_i w_i At(AL)_i \text{ (modelo aditivo ponderado)} \\
& \sum_{At(AL)_i < 0} w_i At(AL)_i \text{ (estrategia de mínimo riesgo)} \\
& \sum_{At(AL)_i > 0} w_i At(AL)_i \\
& \prod_i (At(AL)_i)^{\alpha_i} \text{ con } \alpha_i > 0 \forall i \\
& \sum_i w_i At(AL)_i + \prod_i (At(AL)_i - b_i)^{\alpha_i} \\
& At(AL)_i \text{ con } w_i = \text{máximo}(\{w_i\})
\end{aligned}$$


---

Figura 18. Ejemplos de instancias específicas de funciones de bienestar, donde  $w_i$  es la prioridad del objetivo  $i$ ,  $At(AL)_i$  el atributo que mide el objetivo  $i$  sobre la alternativa  $AL$  y  $\alpha_i, b_i$  parámetros del modelo de decisión

## 2. Tarea de elección de un empleo

En esta sección se ilustra brevemente la particularización de la tarea y método analizados al caso de una tarea de *Elección de un empleo*. Esta tarea tiene su aplicación en el diseño de un sistema experto que proporcione asistencia para la elección de un empleo, utilizable, p.e., en una agencia de empleo, cuyos requisitos podría resumir el siguiente texto:

*“ El sistema debería, en primer lugar, tener acceso a una lista de ofertas de empleo, donde cada oferta aparecería descrita en términos de características relevantes para la selección, esencialmente datos de la empresa contratante y características del puesto ofertado (función a desempeñar, titulación exigida, requisitos de viajes, condiciones salariales, otros beneficios al margen, ...). Los solicitantes de empleo habrían proporcionado asimismo sus datos personales, tanto objetivos (curriculum vitae) como subjetivos (preferencias en cuanto al tipo de trabajo: técnico o de gestión, dedicación diversificada, formación continua, trabajo individual o en grupo, interés por los viajes, etc).*

*Para cada solicitante, la primera tarea del sistema consistiría en determinar a qué empleos puede optar, por satisfacer los requisitos exigidos. Una vez seleccionado el subconjunto de empleos compatibles con el perfil del trabajador, el sistema evaluaría una a una las ofertas, con el fin de identificar la alternativa óptima. Este proceso de evaluación consideraría factores tales como condiciones económicas, interés del solicitante por el puesto de trabajo, proximidad del centro de trabajo y la residencia habitual, etc, estimados a partir de los datos disponibles del sistema sobre las empresas contratantes y sobre los datos del trabajador y sus preferencias.”*

Como ya se ha indicado, sólo ilustraremos algunos aspectos del proceso de desarrollo de tal sistema, mostrando cómo se reutilizan la tarea de decisión, el método heurístico multiatributo y el modelo de un dominio genérico de decisión.

Las figuras 19 y 20 muestran algunas clases características del dominio considerado, heredadas de las clases genéricas de un dominio de decisión, descritas en la sección anterior.

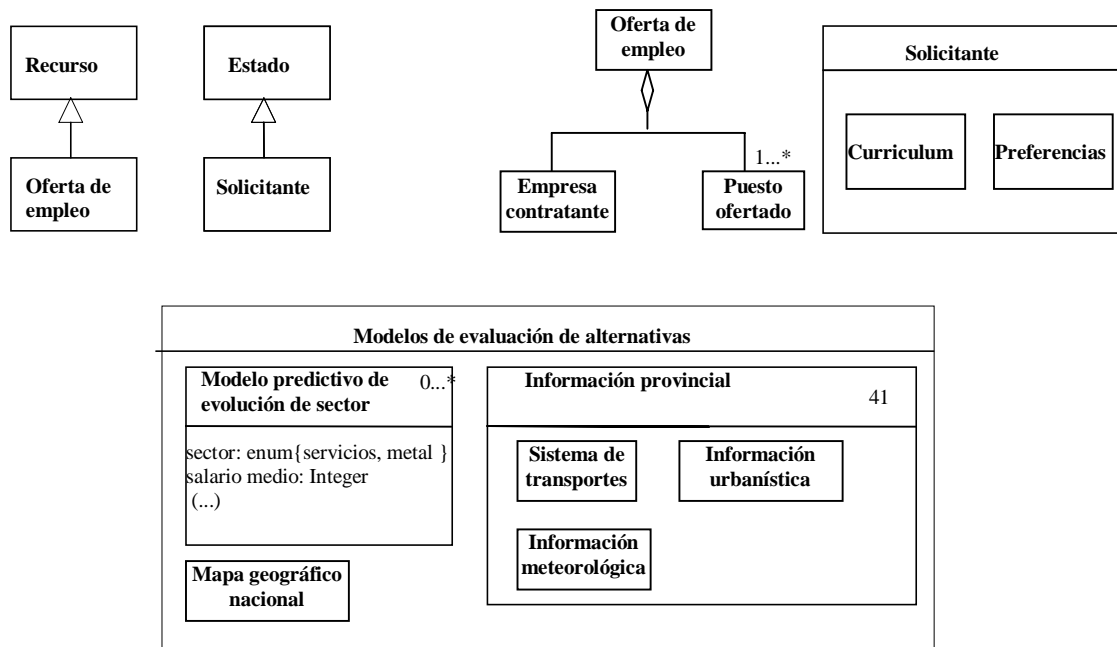


Figura 19. Descripción de algunas clases en el dominio Elección de un empleo, mediante la notación UML.

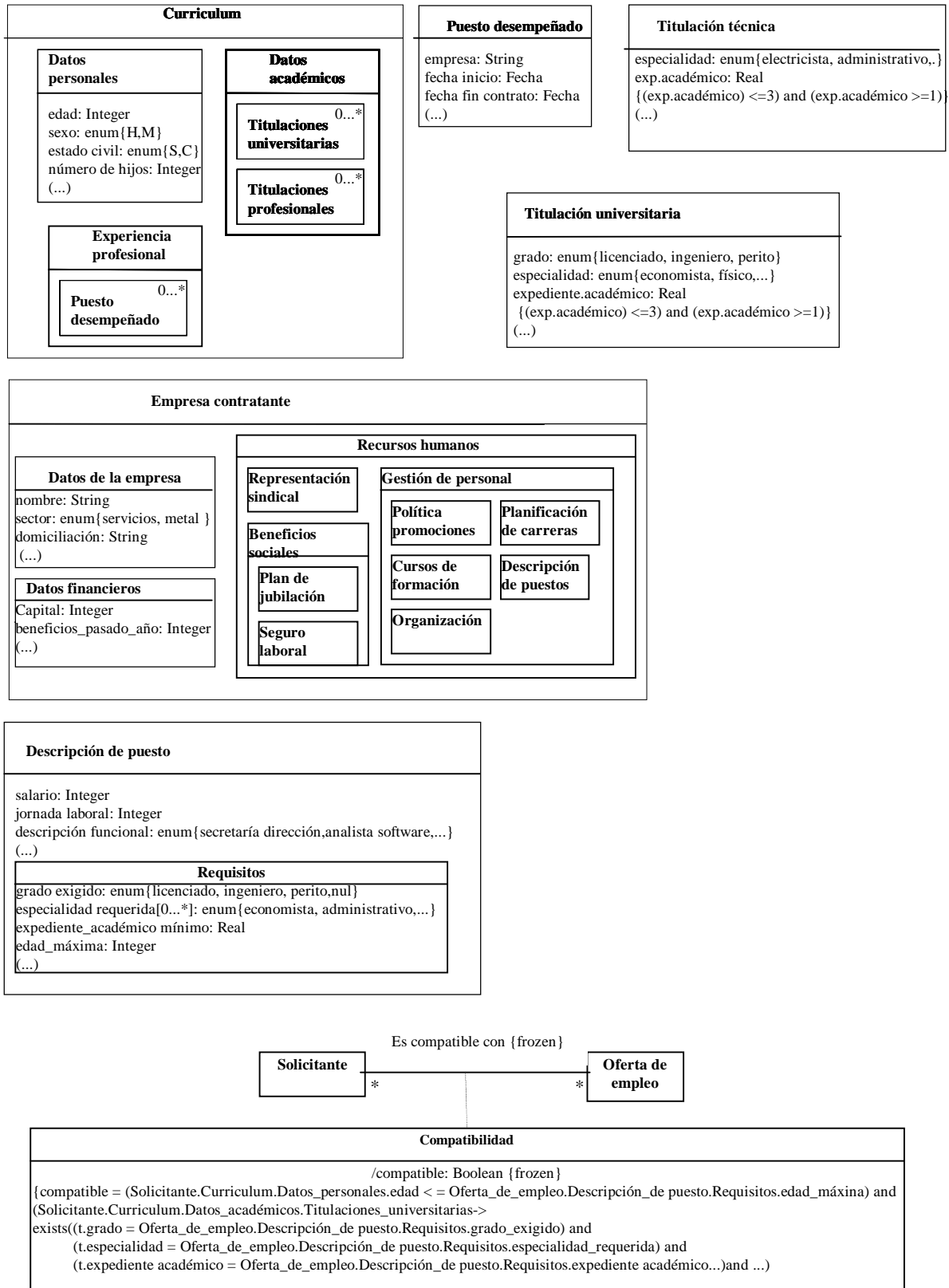


Figura 20. Refinamiento de las clases Oferta de empleo y Solicitante, en el dominio Elección de un empleo

Las figuras 21 y 22 muestran, respectivamente, una posible jerarquía de objetivos y la descripción de algunos atributos asociados a objetivos del nivel inferior (relación *Mide*).

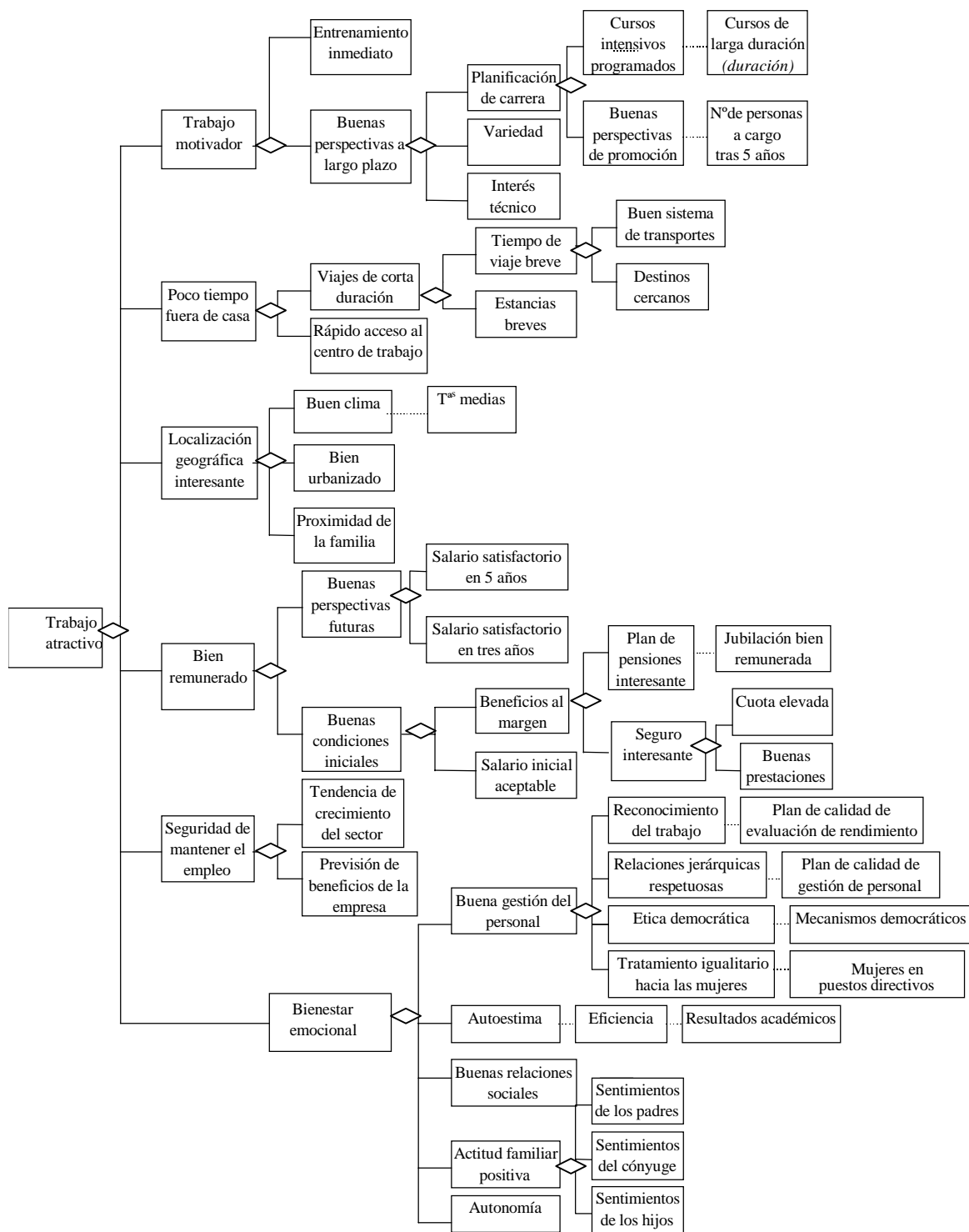


Figura 21. Jerarquía de composición de objetivos en el dominio Elección de un empleo. Los segmentos punteados indican asociaciones entre *Objetivos proxy* (relación *Representa a*)

<b>Atributo</b>	<b>Objetivo</b>
descripción: Porcentaje de tiempo anual en misiones de servicio unidad: sin unidades	Estancias breves
descripción: $1/ 25^\circ - T^a \text{ anual promedio} $ unidad: $1/T^a$	T <sup>as</sup> medias
descripción: Cuota mensual (unidad monetaria) unidad: sin unidades	Cuota elevada
descripción: Duración media de los cursos unidad: meses	Cursos de larga duración
descripción: Valoración por regiones del sistema de transportes público y red de carreteras (información del Minist.Obras públicas) unidad: índice de valoración.	Buen sistema de transportes
descripción: $\frac{\% M}{\% H + \% H}$ <span style="float: right;">%M:</span> Porcentaje de mujeres empleadas que ocupan puestos directivos %H: Porcentaje de hombres empleados que ocupan puestos directivos unidades: sin unidades	Mujeres en puestos directivos

Figura 22. Instancias de atributos y objetivos asociados por la relación *Mide*

En la tabla de la figura 24 se describen brevemente las subtareas implicadas y sus métodos de solución respectivos. Nótese cómo se trata de casos particulares de las subtareas identificadas en el método genérico de decisión. El esquema inferencial del método se hereda sin que sea necesaria ninguna adaptación.

Subtareas	Método de solución
Diseña alternativas viables	Selecciona de una base de datos con ofertas de empleo (correlacional, una lista de elementos de la clase empleo), aquellos empleos cuyas restricciones satisface el solicitante (selección por campos a partir de su curriculum)
Evalúa prioridad de objetivos	A partir del curriculum y de test de preferencias cumplimentado, evalúa factores de preferencia y posteriormente prioridades por el método de evaluación condicionada (ver figura 12).
Evalúa alternativas	Evalúa secuencialmente las consecuencias de cada alternativa utilizando los métodos de evaluación correspondientes
Selecciona alternativa óptima	Evalúa la función de bienestar <i>suma ponderada</i> para cada alternativa y selecciona el máximo

Figura 23. Métodos de solución de las subtareas.

Las figuras 25 y 26 ilustran algunos resultados de implementación, obtenidos utilizando la herramienta de desarrollo KAPPA<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Kappa-PC. Ver 2.4. Intellicorp Inc. Headquartered in 1975. El Camino Real West. Mountain View, CA 94040-2216. [www.intellicorp.com](http://www.intellicorp.com)

*How much do you value each of these Factors? (please give a score between -10 and +10):*

<b>Motivating job</b>	<input type="text" value="7"/>
<b>Short business trip</b>	<input type="text" value="5"/>
<b>Good work location</b>	<input type="text" value="4"/>
<b>Well-paid</b>	<input type="text" value="3"/>
<b>Job security</b>	<input type="text" value="10"/>
<b>Emotional well-being</b>	<input type="text" value="5"/>
<b>Good working conditions</b>	<input type="text" value="6"/>
<b>Social benefits</b>	<input type="text" value="6"/>

*Concerning Motivating job, how much do you value each of these Factors? (please give a score between -10 and +10):*

<b>Learn new skills</b>	<input type="text" value="5"/>
<b>Long-term perspectives</b>	<input type="text" value="4"/>

*Concerning Long-term perspectives, how much do you value each of these Factors? (please give a score between -10 and +10):*

<b>Career plan</b>	<input type="text"/>
<b>Variety</b>	<input type="text"/>
<b>Interest sustained</b>	<input type="text"/>

Figure 11. Pantalla de entrada de datos para la elicitación de preferencias del solicitante (por el contexto en que se desarrolló la aplicación ilustrada, el texto que figura en las pantallas está escrito en lengua inglesa).



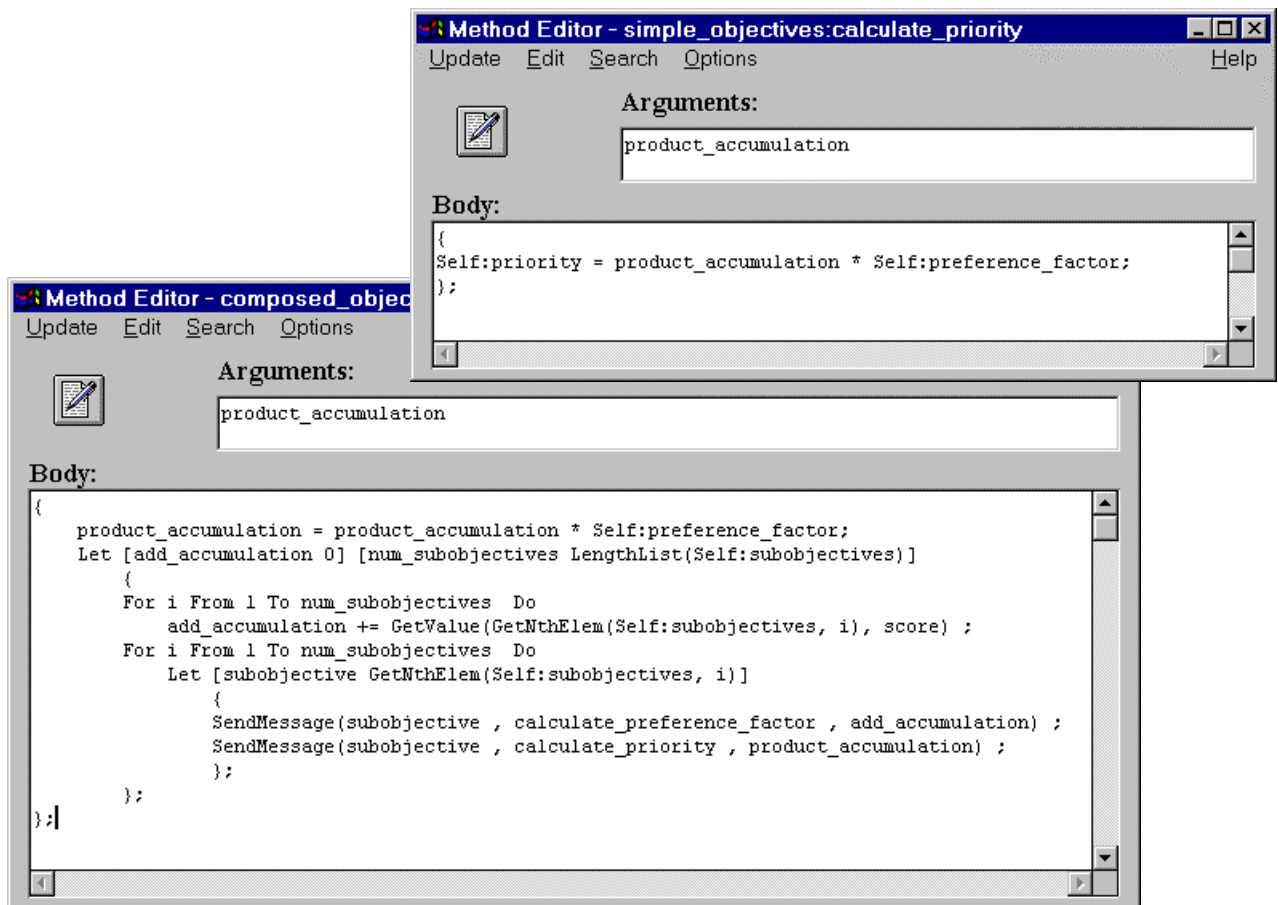


Figura 12. Ejemplo de algoritmo de resolución de la inferencia *Evalúa prioridad de objetivos* por el método de *evaluación condicionada*, implementado en el lenguaje de Kappa