

LA RELACIÓN PERSONA-SISTEMA EN EL SAIH PARA AYUDA A LA DECISIÓN EN TIEMPO REAL: UNA PROPUESTA SOPORTADA POR SISTEMAS BASADOS EN EL CONOCIMIENTO

José Cuenca.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Catedrático de la Computación e Inteligencia Artificial.

Universidad Politécnica de Madrid.

RESUMEN

La disponibilidad de un gran volumen de información en tiempo real, debido a la utilización de modernas tecnologías de comunicaciones, ha hecho posible mejorar la gestión de recursos hidráulicos con sistemas como SAIH pero también ha planteado la necesidad de incorporar nuevas funcionalidades a estos sistemas que mejoren su nivel de comunicación con el usuario proporcionando argumentos suficientes para asumir con responsabilidad sus conclusiones. Este mayor nivel de interacción ha de ser soportado por sistemas cuyo conocimiento sea comprensible y transmisible al usuario mediante modelos de conversación con capacidad para responder a las cuestiones informativas, predictivas o decisorias consideradas necesarias para adoptar una decisión. Este artículo presenta las características generales de entornos de software, con arquitecturas abiertas y modulares basadas en unidades cognitivas, capaz de dar respuesta a estas necesidades y su aplicación al mundo de la hidrología mediante el sistema SAIH. Se plantea el tipo de información que podría obtenerse del SAIH dirigida a mejorar la explotación de recursos hidráulicos y del sistema de información así como la gestión de emergencias en avenidas; y el tipo de modelo de conversación usuario-sistema necesario para dar respuestas y explicaciones a cada una de las posibles preguntas que podrían formularse en este dominio.

ABSTRACT

The availability of a great deal of real-time data from modern systems of communication has benefited the management of water resources through organizations such as the SAIH, but in addition it calls for better technological communication with users so that they may make use of the data. This interaction must depend on systems easily received and interpreted by the user for the decisions he must make with regard to the information. This article presents the type of software for an open system that would serve the purpose of this intercommunication in the hydrological sector with a view to improving the use of water and the management of emergencies. Examples are given of the type of user-system question and answer for every situation in the domain of water resources.

Se admiten
comentarios a este
artículo, que deberán
ser remitidos a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
marzo de 1996.

Recibido en ROP:
octubre de 1995

1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, el mundo de la hidrología ha funcionado con estadísticas off-line obtenidas por sistemas de medida y de recogida de datos en forma prácticamente manual, como eran los tradicionales aforos. El desarrollo de los sensores y de las telecomunicaciones hace que el panorama del entorno de estudios hidrológicos cambie drásticamente de forma que con las excepciones debidas a errores en la medida automatizada, en el momento actual se dispone de datos hidrológicos en tiempo real y, por tanto, además de poderse desarrollar los tradicionales estudios off-line en gabinete, típicos en la ingeniería hidráulica, orientados a definir decisiones para períodos de tiempo largos, sea posible una nueva modalidad de estudios que se realizan en tiempo real en diálogo con los sistemas de información que presentan imágenes de la situación en cada momento. Este es el caso del tratamiento de la explotación diaria de recursos y el tratamiento de emergencias de avenida. Cuando se trata de tomar decisiones en tiempo real, el operador humano se encuentra con un flujo de datos muy pormenorizado tanto en el tiempo como en el espacio y tiene que ser capaz de darse cuenta de su significado en términos de conceptos más agregados procedentes tanto de ámbitos teóricos como de criterios heurísticos representativos de valoraciones profesionales.

Dado que una persona es incapaz de interpretar los datos al ritmo que estos llegan, la solución adecuada es incluir entre el operador y los datos modelos que filtren la información de manera que identifiquen la presencia de situaciones problemáticas y que, al propio tiempo, recomienden actuaciones y expliquen en forma inteligible sus recomendaciones. Este tipo de modelos, al tener que incorporar el estado de conocimiento sobre el tema, no será determinista en su totalidad ya que en su contenido conceptual, además de incluirse modelística matemática cuyo comportamiento puede ser perfectamente determinista, se incluyen también conjeturas sobre valoración de situaciones y otros criterios heurísticos sobre tipos de decisiones recomendables que pueden ser objeto de revisión en función de la experiencia y que en muchos casos no son únicos, es decir, dada una situación, puede que el uso de este conocimiento dé lugar a recomendar varias opciones, unas preferentes sobre otras según diversos criterios que en cada momento deben ser valorados por los operadores humanos.

La necesidad de explicaciones convincentes a los operadores proviene de que los modelos recomiendan acciones de las que pueden derivarse responsabilidades personales y, por ello, es fundamental que la implementación de los modelos se haga de manera que las personas que tengan que asumir las decisiones recomendadas no las acepten en forma ciega sino en base a que, dialogando con el sistema, obtengan explicaciones de las decisiones que les permitan hacer suyas las recomendaciones sugeridas por dichos modelos.

Este planteamiento se encuadra, por tanto, en las modernas tendencias de HCI (Human Computer Interaction) cuyo objetivo es optimizar el rendimiento del par persona-sistema superando con ello disquisiciones ya clásicas sobre competencias entre personas y máquinas en donde, por un lado, determinados enfoques de automatismo total pretendían prescindir totalmente de las personas vía el mítico botón y, por otro lado, determinados pensadores se empeñaban en descalificar las posibilidades de las máquinas. Los sistemas ahorran trabajo pero nunca deben eliminar la responsabilidad humana en la toma de decisiones sobre aspectos que atañen a personas, por ello el diseño de los sistemas debe hacerse orientado a proporcionar un contexto de ayudas inteligibles y asumibles por personas que pueden aportar, a su vez, valoraciones morales, sociales y profesionales de manera que la integración de ambos genere el máximo valor añadido.

Las consideraciones anteriores hacen que el diseño informático de este tipo de modelos deba hacerse usando una arquitectura abierta en la cual, por un lado, puedan explicitarse los pasos con los que se llega a las diversas conclusiones en términos comprensibles por los responsables; para ello los procesos deben simular la forma de razonar expresando en cada paso qué piezas de conocimiento declarativo (teorías, juicios de valor) se usan para llegar a la conclusión del paso y, por otro lado, pueden introducirse total o parcialmente, modificaciones sobre el contenido conceptual de los modelos sin intervención de personas informáticas para reescribir código de programación, sino directamente por personas profesionales expertas en el tema. La respuesta a estas necesidades es dotar de la aplicación de una arquitectura basada en el conocimiento en la que, en formato utilizable por procesos que representen modelos de razonamiento, aparezca en forma inteligible por usuarios la formulación del conocimiento teórico y heurístico a incorporar en el modelo.

El presente artículo comenta las líneas generales del tipo de sistema a desarrollar y su relación con el usuario. De hecho, se plantea una forma de diseño basada en la especificación de esta relación persona-sistema.

2. IDEAS PARA UNA RELACIÓN PERSONA-SISTEMA EN LA TOMA DE DECISIONES

El diseño de este tipo de sistemas debe hacerse de forma que:

▼ Se pueda mantener una conversación en línea con los distintos niveles de operadores de manera que estén cubiertas sus necesidades para la toma de decisiones. Cabe considerar que haya operadores cuyas capacidades técnicas no puedan mantener una conversación profunda técnicamente o estratégicamente y habrá otros operadores con los cuales el sistema pueda dialogar con gran nivel de profundidad técnica. Habrá que definir, por tanto, distintos niveles de calidad técnica de operación y para cada uno de ellos se definirá un tipo de conversación.

▼ Se pueda conversar con el módulo de mantenimiento de las bases de conocimiento de un modelo de manera que sea posible:

- Introducir nuevos conceptos en su vocabulario conceptual (i.e. ¿de qué conceptos sabe el sistema?).
- Introducir nuevos elementos de la teoría del dominio que se modela (es decir, qué relaciones entre conceptos se verifican).
- Evaluar los efectos en distintas situaciones de operación de los cambios introducidos (es decir, qué impacto tiene en un conjunto de casos característicos los cambios introducidos en el modelo).

Una conversación usuario-sistema estará formada por una sucesión de preguntas, respuestas y explicaciones del sistema de manera que al final de la misma el usuario ha clarificado sus ideas en forma suficiente para adoptar una decisión. Fundamentalmente, los tipos de preguntas que forman parte de un modelo de conversación son los siguientes:

▼ Cuestiones informativas. Es decir, preguntas sobre valores de variables sobre las que se cuenta

con datos tanto en el momento de la consulta como a lo largo de un período predefinido por el operador. Este tipo de uso es el clásico de un sistema de información. Sin embargo, la simple obtención de datos primarios en tiempo real para soportar decisiones representa una contribución excesivamente elemental ya que se requiere mucha reflexión personal por parte del operador para interpretar si existen problemas; por ello es preciso que el sistema sea capaz de informar sobre conceptos más agregados que se construyen lógicamente a partir de la información sobre variables básicas disponibles en la base de datos en tiempo real. Así, por ejemplo, en una base de datos meteorológica no solamente es necesario conocer la lluvia en una serie de puntos sino que el sistema debe ser capaz de identificar conceptos de nivel superior tales como una situación de tormenta cuya ocurrencia puede inferirse de que un conjunto de datos de lluvia en determinados puntos rebasan determinados umbrales. Lo mismo ocurre en una fábrica cuyos conductos están sensorizados y en la que la conjunción de una serie de valores puede permitir inferir la ocurrencia de una situación de sobrepresión o de sobrecalentamiento que debe ser objeto de tratamiento. También es el caso de un sistema de control de tráfico que debe inferir, a partir de la información sobre velocidades, ocupaciones y flujos generada por una red de sensores, la ocurrencia de problemas de congestión en el viario sensorizado.

▼ Cuestiones predictivas. Este es el tipo de pregunta que ya no es tan usual en bases de datos sino que incluye los modelos capaces de hacer predicciones de valores de variables y de los conceptos agregados del tipo comentado anteriormente para corto plazo en hipótesis de futuro caracterizadas por dos tipos de parámetros:

- Escenarios de hipótesis de comportamiento del medio. Por ejemplo, cabe que las personas que tratan una situación de avenida se hagan preguntas en base a suponer que la situación de lluvia continúa creciendo o bien empieza a disminuir para estabilizarse en las próximas dos horas. La persona que está gestionando una instalación industrial puede hacer hipótesis de que una determinada situación de demanda de consumo va a mantenerse o va a evolucionar en algún sentido prefijado, etc.

-Escenarios de decisiones de control. Es decir, qué pasará si se mantienen las decisiones de

control sin cambios o qué pasará si se aplican determinados cambios tales como reducir determinada alimentación o abrir determinadas compuertas, válvulas, etc.

Ambos criterios se combinan creando escenarios de evolución del entorno del sistema que se controla que pueden ser objeto de pregunta por el operador que desee tomar una decisión a corto plazo. Así, por ejemplo, se pueden plantear preguntas como ¿Qué pasará si se abren las compuertas de los embalses A y B y se mantiene la intensidad de lluvia durante las próximas dos horas?

Tanto en este caso como en el caso anterior, estas preguntas deben ser contestadas por el sistema en términos de:

- qué situaciones se están dando o pueden darse a corto plazo,
- en función de qué razones se fundamentan las respuestas.

Se abunda en lo comentado en la introducción sobre el hecho de que el sistema puede contestar con varias respuestas factibles explicando cada una de ellas ya que en el caso general puede darse la circunstancia de que el nivel de conocimiento de un sistema contiene ambigüedades que impidan dar una respuesta determinista.

El razonamiento predictivo puede también utilizarse para diagnosticar problemas ya que si la evolución observada hasta el momento en un sistema físico no coincide con la predecible vía un modelo de simulación para el mismo momento en la hipótesis de funcionamiento correcto en los últimos *n* minutos, es que hay anomalías y, por tanto, puede dispararse un proceso de razonamiento que genere hipótesis de fallos posibles y tras simulación compruebe si la situación actual podría haberse generado a partir de esa hipótesis de fallo. Este proceso terminará proponiendo un conjunto más restringido de hipótesis de fallo que razonablemente justifican la evolución observada.

▼ **Cuestiones decisorias.** Dada una situación determinada con unos problemas identificados y diagnosticados por el propio sistema, el operador puede preguntar al sistema qué decisiones serían recomendables de manera que éste debe ser capaz de proveer planes de acciones que pueden contribuir a resolver o paliar los aspectos problemáticos planteados de forma que puedan explicarse al operador. Al propio tiempo el operador puede

plantear, al hilo de una propuesta del sistema, verificaciones basadas en cuestiones predictivas; por ejemplo, el sistema puede plantear un plan de acción con la correspondiente explicación y el operador no sentirse muy convencido y realizar una pregunta en términos de qué pasaría si se introducen determinados cambios en el plan propuesto por el propio sistema de forma que tras varios ensayos se llegue a un plan convincente para el responsable.

Un entorno de software que es capaz de contestar y explicar una gama de preguntas de las clases antedescritas para los distintos niveles de operación soporta conversaciones persona-sistema en las que el operador genera una secuencia de preguntas como reacción a una secuencia de respuestas explicadas; así, por ejemplo, un operador puede preguntar qué pasa, y el computador le contesta con una colección de problemas activos detectados. A continuación puede preguntar por qué, y el computador justifica la ocurrencia de los mismos en base a sus modelos internos y la información de estado de sensores. Seguidamente, con los problemas diagnosticados, el operador puede plantear qué convendría hacer, y a partir de las propuestas del sistema el operador puede plantear preguntas de simulación de variantes sobre las propuestas del sistema (qué pasaría si...) de forma que iterando sobre estas clases de preguntas el operador queda convencido finalmente de que lo más conveniente es aplicar una sucesión de acciones y que las mismas van a producir un cambio en la situación a un determinado horizonte temporal en una serie de aspectos que la caracterizan. Cabe también que el operador plantee directamente un plan generado por él y pregunte al sistema qué pasaría si se aplica.

Una vez definida la colección de preguntas de los distintos tipos a soportar por el sistema, corresponde el diseño del software que soporta, en condiciones aceptables, dichas preguntas. Como ya se ha comentado, el software a desarrollar debe ser capaz de proveer explicaciones, lo cual lleva a una organización del modelo basado en una clase de algoritmos que modelizan métodos de razonamiento comprensibles por los usuarios.

Este tipo de algoritmos se denomina métodos de solución de problemas y su característica principal es que se describen por una sucesión de pasos, cada uno de los cuales ejecuta una operación de uso de un determinado conocimiento. Así, por ejemplo, un paso de este tipo de métodos podría

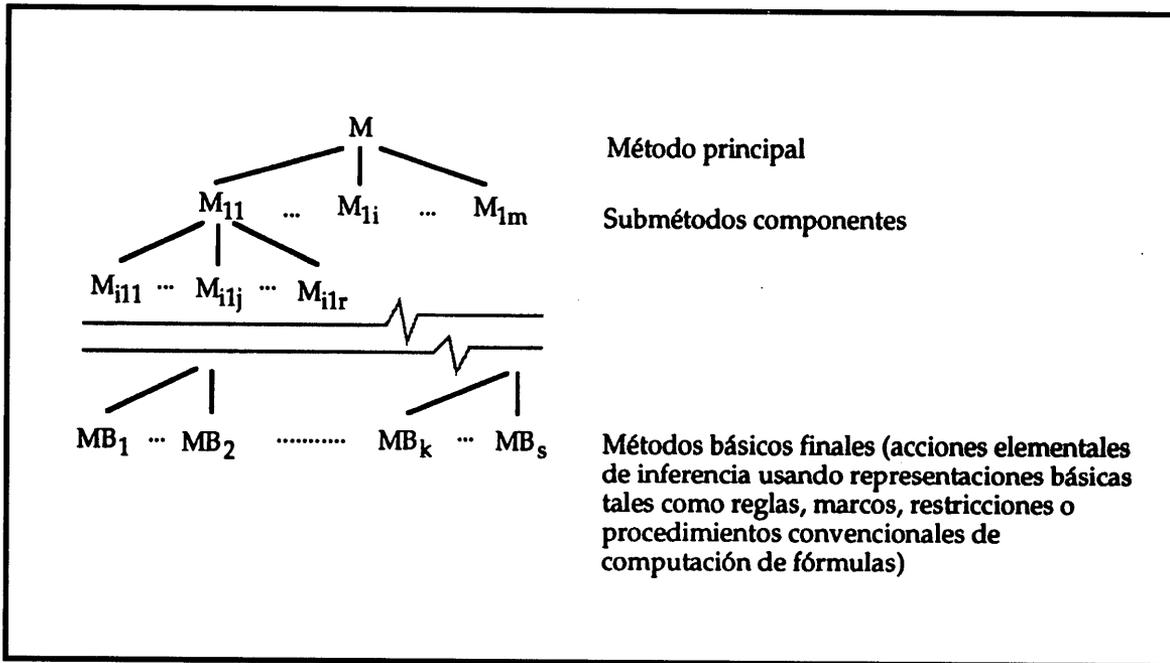


Figura 1. Arbol de relaciones jerárquicas entre métodos.

ser obtener una predicción de caudales usando el modelo de transporte de Muskingum.

A su vez, la realización de una predicción de transporte usando el método de Muskingum se puede descomponer en pasos que usan, en cada uno de ellos, el estado inicial de caudales y la descripción de un tramo de transporte de la red.

Un método de resolución de problemas, por tanto, se puede describir jerárquicamente en base a la aplicación de pasos que resuelven tareas intermedias y cada una de estas tareas, a su vez, usa un método que aplica otras sub tareas, etc, hasta las tareas de nivel básico que pueden ser bien un método de razonamiento que usa representaciones elementales tales como reglas o marcos o bien un modelo básico sin representación asociada como puede ser la aplicación de una secuencia de fórmulas por métodos de programación convencional (ver figura 1). Se hace notar que esta organización jerárquica de descomposición de métodos no implica que la estructura de un método sea la secuencia de aplicación de sus métodos componentes de izquierda a derecha. El método puede formularse vía secuencias de pasos de métodos componentes con repeticiones y con alternativas (if then else) como un proceso cualquiera.

Esta organización del conocimiento requiere un entorno de software en el cual puedan describirse los métodos utilizando operaciones de inferencia aportadas por otras piezas de conocimiento componentes. Existe una literatura en el campo de la ingeniería del conocimiento en la que se han defini-

do modelos conceptuales para manejar este concepto de representación. En España se ha puesto a punto el entorno KSM (Knowledge Structure Manager), desarrollado por el grupo de Sistemas Inteligentes de la Universidad Politécnica de Madrid y cuya base conceptual es la unidad cognitiva, entidad abstracta que en cierta manera sustituye al concepto de proceso u objeto en informática convencional, en la que coexisten, relativos a un tipo de problemas, tanto una colección de métodos para resolverlos como las piezas de conocimiento declarativo y procedimental que deben usar estos métodos para alcanzar sus objetivos. Es decir, el módulo de formulación de una aplicación, en lugar de ser el típico código de programa en el que se especifican estructuras de datos y algoritmos, incluye métodos que usan operaciones elementales de inferencia definidas en otras unidades cognitivas componentes (figura 2).

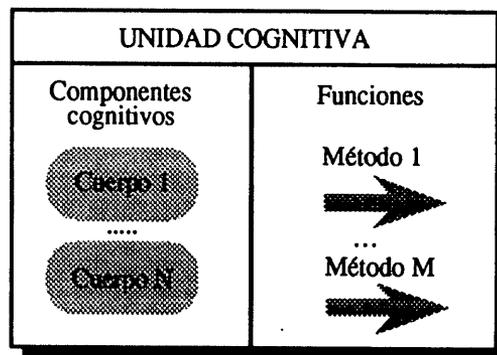
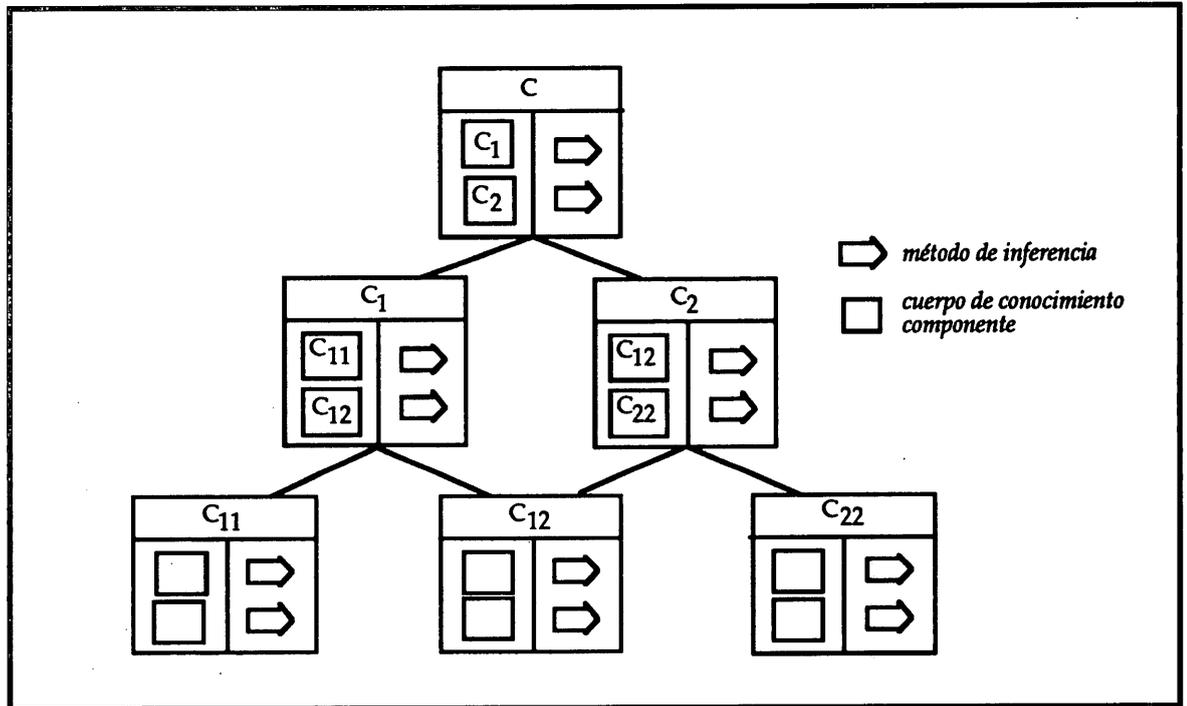


Figura 2: Formato de unidad cognitiva

Figura 3.
Grafo conceptual
como modelo de
una aplicación.



Los cuerpos de conocimiento componentes proveen la capacidad para desarrollar determinadas subtareas que sirvan de acciones de inferencia básicas para los métodos que en la unidad llevan a efecto las tareas 1... M.

Cada componente de conocimiento puede representarse a su vez por otra unidad cognitiva que incorpora a su vez otros subcomponentes que proveen capacidad para realizar otras subtareas más básicas.

Las tareas representan pares premisas-objetivos que se resuelven por el correspondiente método, pudiendo darse el caso de que en una misma unidad cognitiva se plantean varias tareas posibles y varios métodos para llevar a cabo la misma tarea; con ello la unidad cognitiva presenta una constelación de métodos para tratar diversas tareas usando el conjunto de cuerpos de conocimiento que se describen en su área de componentes.

Esta posibilidad de referir a otros componentes más básicos requiere definir cuales son los componentes elementales no referibles a otros. Se ha optado por definir como unidades cognitivas elementales aquellas que son representables por formas básicas de representación declarativa del conocimiento como son las reglas, los marcos y las restricciones, para cada una de las cuales pueden asociarse procedimientos, métodos de inferencia, para resolver problemas básicos tales como clasificación, planificación, diseño, etc. También cabe

considerar como unidad básica la formulación de un algoritmo sin conocimiento explícito como en las aplicaciones convencionales. En este caso el algoritmo provee un paso elemental de inferencia para el que no se dispondrá de explicación (cosa que sí es posible con las reglas, marcos y restricciones). En el caso general las personas expertas estarán suficientemente familiarizadas con la operación que realiza el algoritmo y, por tanto, no necesitarán la explicación.

Para soportar la formulación de los diversos modelos básicos es preciso proveer de vocabularios conceptuales que describan a qué objetos se refiere el modelo, qué atributos del mismo se van a considerar a efectos de representar propiedades y relaciones y los correspondientes dominios de valores (por ejemplo, para razonar sobre flujos se puede crear el concepto perfil con propiedades anchura, calado y rugosidad, con valores definidos en los dominios discretos tales como <nula, baja, media, alta> para esta última). Las unidades básicas y los métodos de las unidades compuestas usarían estos vocabularios. Un vocabulario puede soportar varias unidades cognitivas y puede haber vocabularios locales a unidades cognitivas.

En el grafo conceptual aparecen explícitas las distintas versiones del modelo a distintos niveles, con nodos unidades cognitivas y cuyos arcos expresan la relación forma parte de. En este grafo aparecen conjuntamente los roles de los distintos

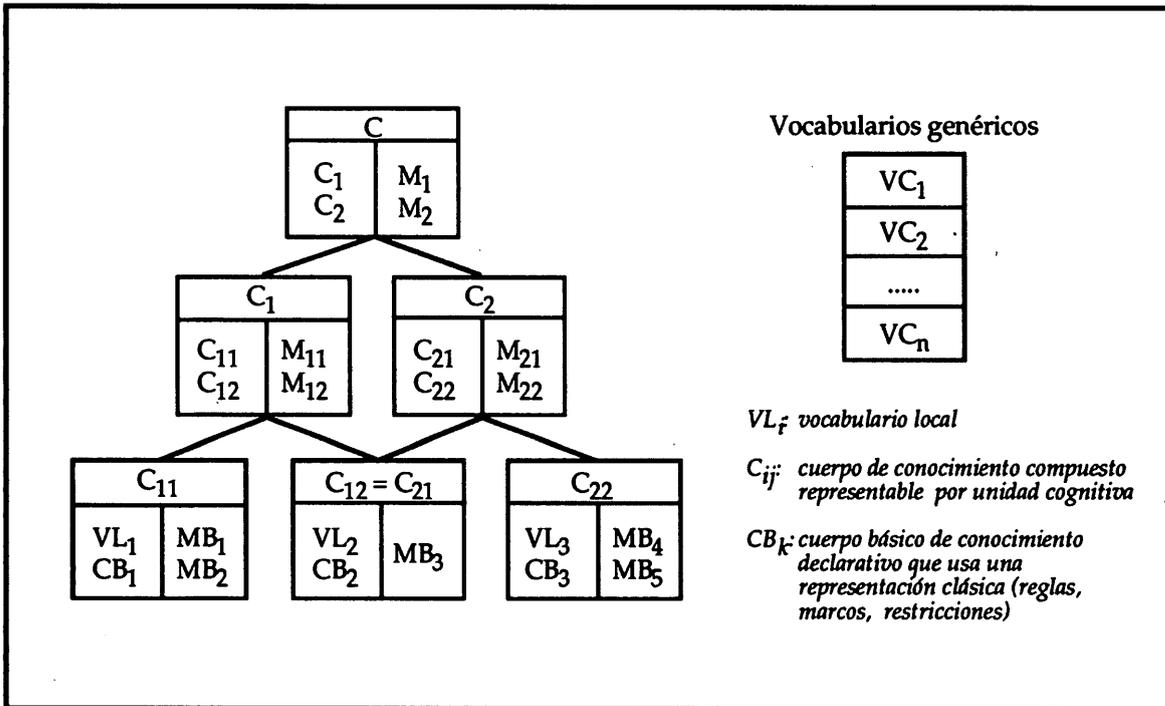


Figura 4. Grafo conceptual con explicitación de métodos y cuerpos de conocimiento.

cuerpos de conocimiento aplicables según distintos métodos. Así, puede darse el caso (ver figura 3) de una unidad cognitiva (la central en el nivel inferior) en la que hay varios métodos de inferencia que se usan como parte de varias unidades cognitivas de nivel superior. Con ello se pone de relieve cómo el mismo cuerpo de conocimiento puede jugar diversos papeles dentro del modelo de conocimiento representado por la estructura global: (Figura 3).

Al propio tiempo, esta estructura presenta de una manera sintética las múltiples funcionalidades de un determinado modelo cognitivo, ya que al existir diversas tareas y sus correspondientes métodos definidos a los diversos niveles, el modelo representa implícitamente diversas estructuras fun-

cionales. Así, si en la figura se supone que para cada tarea hay un método, el diagrama general de la figura podría etiquetarse en la forma indicada en la Figura 4.

Con ello, teniendo en cuenta que los métodos M_i pueden usar métodos de cuerpos de conocimiento componentes de su unidad, podrían plantearse tareas asociadas al grafo conceptual antes descrito del tipo indicado en la Figura 5, de los que podrían, obviamente, definirse varios. Como ya se ha comentado, este árbol de estructura de métodos no prejuzga la formulación específica de cada método que puede articular el uso de sus métodos componentes en una estructura arbitraria de repeticiones y alternativas. En el caso de KSM esta lógica de inferencia se formula mediante reglas de

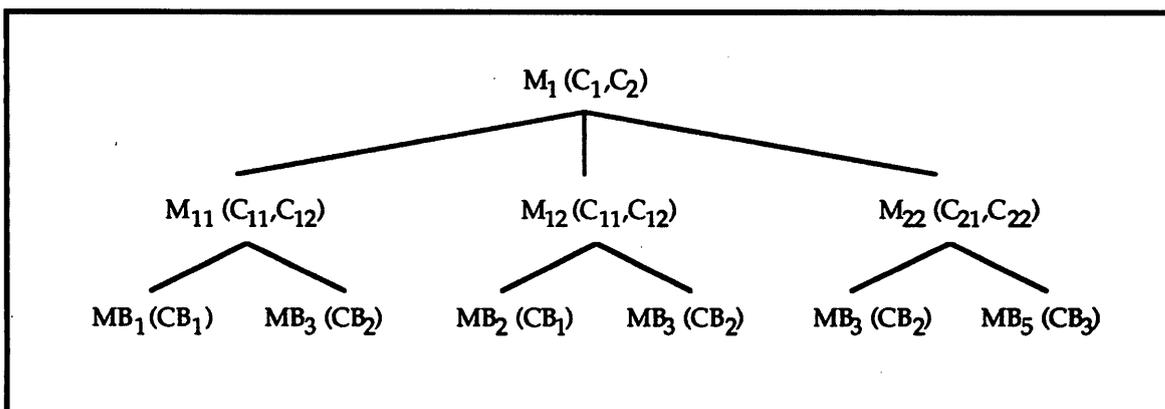


Figura 5. Un posible árbol de estructura de composición de métodos derivado del grafo conceptual de la figura 4.

producción cuya estructura permite formular tramos de proceso y sus precondiciones de aplicación con la estructura:

$$p_1, p_2, \dots, p_n \Rightarrow a_1, a_2, \dots, a_m$$

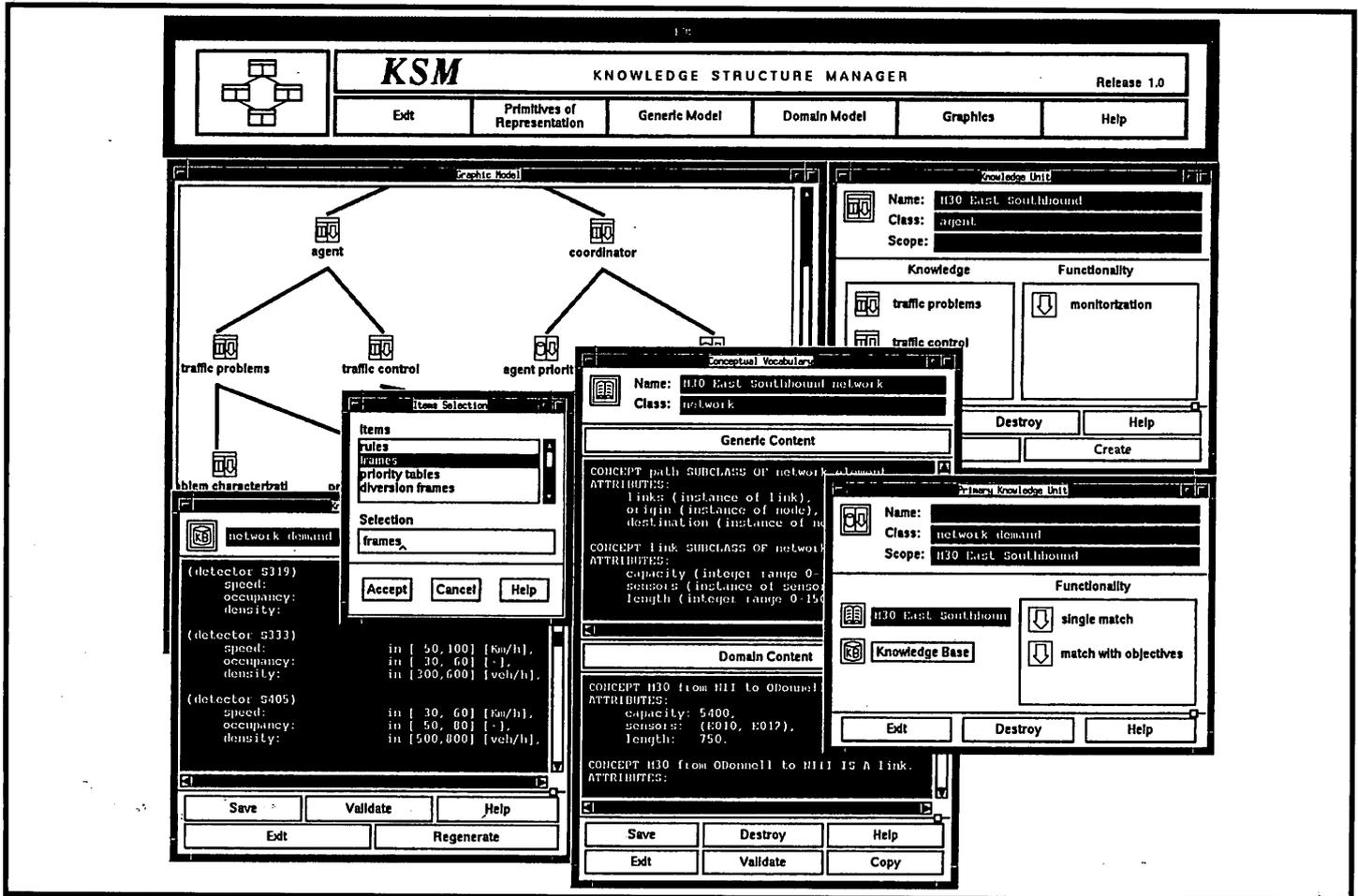
que se interpreta como: si el estado de la memoria cumple las condiciones p_1, \dots, p_n puede ejecutarse la secuencia de modificaciones de la misma a_1, a_2, \dots, a_m , pudiendo ser a_i la aplicación de algún método componente. Con una formulación de este tipo puede generarse una secuencia de acciones por encadenamiento sucesivo de reglas de esta clase. La ventaja de esta formulación es que a partir de unos datos de entrada pueden producirse varios encadenamientos posibles con lo que se pueden obtener varias respuestas de un método que, por tanto, puede representar comportamientos no deterministas.

El grafo conceptual constituye una formulación de una aplicación a imagen de la estructura del co-

nocimiento que se usa para resolver el problema. Esto representa un cambio significativo respecto de la estructura de los programas convencionales organizados en base a estructuras de datos y procesos en la que se diluye el modelo conceptual que dio origen a ellos. De ahí que la organización basada en la estructura conceptual pueda ser más inteligible por las personas expertas en el tema aunque no sean especialistas en informática, cosa que no ocurre con la organización tradicional.

El entorno KSM maneja la formulación de una aplicación como grafo conceptual de unidades cognitivas de forma que el usuario construye el grafo primero por inserción en el sitio correspondiente de las unidades cognitivas que diseña y, seguidamente, por formulación de su contenido. En la figura 6 se incluye un ejemplo de pantalla KSM para formulación de este tipo de modelos en la que aparece el gráfico conceptual y algunas pantallas de contenido de unidades obtenidas al pinchar

Figura 6. Pantalla de uso del entorno KSM.



sobre el grafo. Una vez seleccionadas pueden inspeccionarse o modificarse.

3. EL SOPORTE DE LA DECISIÓN EN TIEMPO REAL EN EL SAIH

En principio, el uso del SAIH es doble: (1) por un lado la información del sistema puede usarse para tomar decisiones de explotación de recursos hidráulicos y de explotación del propio sistema de información y (2) por otro lado, la información del sistema permita manejar emergencias en avenidas.

A continuación se comentan estos aspectos.

3.1. EXPLOTACIÓN DE RECURSOS

En el aspecto de explotación de recursos el entorno de conversación provisto por el sistema inteligente describirá, de acuerdo con las características anteriores, escenarios de problemas de explotación y la lógica para el tratamiento de los mismos. Habitualmente, debido a la menor urgencia de este tipo de problemas, cabe incluir criterios que se hayan generado previamente en gabinete por lo que la explotación en tiempo real se basa en rutinas que conocen de memoria los operadores para reaccionar ante un catálogo de situaciones que detecta el sistema y que son resultado de una simulación off line de las mismas que ha conducido a su formulación como las más convenientes. Sin embargo, el concepto más general antedescrito permitiría la construcción de modelos de explotación más adaptados a las circunstancias del día a día y, por tanto, permitiría una mejora de calidad notable. Por ejemplo, para la asignación de dotaciones de riego y la propia operación de distribución del riego se podrían diseñar sistemas que reaccionaran a distintos tipos de incidencias no deseables con decisiones basadas en criterios de sentido común pero incorporando los estudios técnicos que se considere oportuno aportados vía el modelo de conversación de la interfaz.

3.2. EXPLOTACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN

Uno de los problemas que condicionan la explotación de los sistemas de datos en tiempo real es la evaluación permanente de la calidad de los mismos. Para ello, es posible diseñar con este tipo de arquitecturas sistemas inteligentes de valoración de la calidad de datos [Conejo, 95], [Conejo et al, 95] en los que sea posible que el sistema iden-

tifique incongruencias en los datos recibidos en tiempo real, las diagnostique identificando qué datos son verosímilmente los erróneos generadores de la incongruencia y genere alternativas razonables a los valores detectados de los mismos. Las explicaciones de los errores pueden almacenarse en una agenda consultable por los operadores de manera que éste pueda conocer en todo momento el funcionamiento de su sistema de información y sus problemas pero, al propio tiempo, disponga de un entorno de información razonablemente corregido y en base al que puedan tomarse decisiones de control.

3.3. GESTIÓN DE EMERGENCIAS DE INUNDACIÓN

Los modelos de ayuda a la decisión en inundaciones tienen una doble vertiente:

▼ Caracterización y evaluación de la situación actual y predecible, para lo que puede diseñarse un entorno que soporte cuestiones informativas y predictivas del tipo antedescrito en el apartado anterior.

▼ Propuestas de decisiones, que en este caso son de dos tipos:

- Decisiones de control hidráulico de elementos de laminación de la avenida, fundamentalmente basados en manejos de compuertas y desagües de fondo de presas intercaladas en el proceso de circulación del agua.

- Decisiones de protección civil que tienen por objeto paliar los daños. Este es el caso en el que una vez realizadas todas las acciones de control se constata como inevitable la producción de determinados daños y ante ellos se reacciona tomando decisiones del tipo siguiente:

-Avisos a vecinos de localidades previsiblemente inundables para la evacuación de poblaciones o retirada de vehículos de calzadas, etc.

.-Avisos de daños en el sistema de transporte viario y ferroviario encendiendo paneles de desvío cuando son disponibles o bien enviando patrullas de autoridades (guardia civil...) que desvíen el tráfico por itinerarios alternativos a las rutas previsiblemente inundables.

- Planes de evacuación de población vía helicópteros cuando se prevea la inundación de poblaciones con un nivel importante de daños.

En esta línea se han construido en España sistemas que han servido para demostrar la viabilidad de esta tecnología. Por ejemplo, tal como ya se ha mencionado, se pueden citar las experiencias CY-RAH y SIRAH [Alonso et al. 90], [Garrote, 90], [Cue- na et al. 91], [Alonso et al. 92], construidos para la Confederación Hidrográfica del Júcar.

Para definir un sistema de software que soporte el tipo de servicio antedescrito será preciso identificar cómo soportar cada una de las posibles preguntas que deben contestarse para llegar a este tipo de respuesta. A continuación se sugieren diversas propuestas de tipo general a ser aplicadas en el campo de la explotación hidráulica o del manejo de emergencias en inundaciones. Para su descripción se utiliza el formato general basado en métodos de razonamiento expresando las características generales del método y el tipo de conocimiento declarativo que lo soporta.

3.3.1. Cuestiones informativas

Para contestar cuestiones informativas es preciso definir, adicionalmente a los modelos de recuperación de información típicos de los sistemas de bases de datos, métodos que exploren la ocurrencia de conceptos representativos de situaciones problemáticas a partir de los datos primarios servidos por el sistema de información. La base de conocimiento declarativa estará formada, por tanto, por una colección de prototipos predefinidos de situaciones que se caracterizan como una estructura de datos, que en Inteligencia Artificial se denomina marco o frame, en la cual se incluyen los valores por defecto que caracterizan la clase de evento que el modelo debe discriminar. Así, por ejemplo, cabe que se tipifiquen las situaciones meteorológicas según la situación actual y evolución reciente a corto en una serie de puntos de control de manera que, según los distintos rangos de valores que tome la situación en cualquiera de esos puntos, se pueda afirmar la clase de tormenta que se presenta. El modelo de razonamiento aplicable en estos casos es el de evaluación del nivel de ajuste de una determinada situación real caracterizada por un conjunto de datos extraídos del sistema de información con cada uno de los patrones predefinidos de situaciones problemáticas, y seleccionar como más verosímiles aquellos que tengan mayor nivel de ajuste.

El criterio para decidir el nivel de ajuste depende del tipo de método que se aplique. En general,

para identificar si una situación pertenece a un prototipo determinado se realiza un paso de inferencia desde el nivel de ajuste de características aisladas de los datos al nivel de ajuste del prototipo, por ejemplo, de que encajen los niveles de lluvia observados en varios puntos de una situación prototípica se puede inferir que toda la situación va a evolucionar de acuerdo con las otras características incluidas en el prototipo, de las que no hay datos.

Si se construyen varias bases de conocimiento incorporando conceptos clasificativos agregados para cualificar a alto nivel una situación desde las distintas perspectivas que son de interés para los responsables, puede incrementarse el nivel informativo de los operadores que podrán, por tanto, disponer no sólo de datos básicos sino de datos entendidos desde las diferentes perspectivas de cualificación que usan los expertos. (Por ejemplo, un experto en auditoría puede proveer con bases de conocimiento de problemas de tesorería, de balance, de descapitalización, de estafas de distinto tipo..., de manera que conectado con la base de datos de contabilidad debidamente estructurada se pueden obtener no sólo cifras y ratios sino valoraciones cualitativas y diagnósticos desde distintas perspectivas. La ventaja de la organización abierta y la estructura de la base de conocimiento, similar a las de una base de datos de conceptos, es que el propio experto puede consultarla y modificarla).

3.3.2. Cuestiones predictivas

Para las cuestiones predictivas es preciso utilizar modelos de comportamiento de subconjuntos de las variables provistas por el sistema de información. Este es un campo en el que existe gran tradición en hidrología de manera que se dispone de una batería de modelos de referencia que oscilan desde las simples cajas negras basadas en modelos de regresión (autorregresivos o explicativos de unas variables a partir de otras) hasta los modelos de comportamiento físico por todos conocidos como son el hidrograma unitario instantáneo o los modelos de propagación de caudales en barrancos como son el modelo Muskingum o el modelo basado en cascadas o los modelos más complejos basados en modelización numérica de las ecuaciones diferenciales de Saint Venant.

Este tipo de modelos también es susceptible de representación en base a declaraciones sobre el dominio y métodos de razonamiento en forma separada. En efecto, un simulador tiene como ob-

jetivo, para un período de tiempo dado, partir de unos datos de estado inicial, y dos bases de conocimiento:

▼ Una descriptiva de los conceptos para predicción a corto de evolución del entorno de acciones externas no controladas por los gestores.

▼ Otra descriptiva del conocimiento sobre la morfología y comportamiento. Este tipo de conocimiento permite inferir los parámetros que habitualmente son objeto de calibración. Usualmente los modelos se calibran en base a la verificación con varios casos de prueba, que suelen ser incompletos con lo que la conclusión real de este proceso no es realmente un conjunto de valores de los parámetros sino un conjunto de juicios razonables sobre sus valores consistentes con las pruebas de calibración posibles cuya representación real debe ser un conjunto de reglas, o restricciones sobre los valores y no la asunción arbitraria de unos valores numéricos que se hace en muchos casos. El mismo problema se presenta al utilizar una descripción de la estructura física, en donde en algunos casos es difícil por limitaciones de recursos contar con una descripción fiable y detallada (por ejemplo, áreas receptoras de lluvia drenan de acuerdo con hipótesis razonables y las secciones transversales y pendientes de tramos de ríos y barrancos se estiman en base a un conjunto de juicios que pueden también formularse vía reglas y restricciones). En ambos casos el uso de modelos de morfología y comportamiento (i.e. las rugosidades o coeficientes de estrechamiento) permite su refinamiento en función de la experiencia de los hidrólogos.

En el diseño de este tipo de modelos, por tanto, cabe que una misma función de respuesta predictiva esté soportada por una gama de modelos alternativos con distinta profundidad y detalle. Este concepto es plenamente representable en el contexto de sistemas basados en el conocimiento ya que puede contarse con una unidad cognitiva que dispone de diversas primitivas de conocimiento, cada una correspondiente al tipo de modelo y unos métodos de razonamiento que utilizan alternativamente unos y otros niveles de modelización.

3.3.3. Cuestiones decisorias

El soporte de las cuestiones decisorias implica el manejo de dos tipos de modelos:

▼ Un modelo de generación de decisiones que se basaría en conjuntos de reglas que a partir de

las características de la situación problemática y su explicación recomiendan diversos subplanes y otras reglas que integran cada uno de estos subplanes en forma consistente.

▼ Un modelo de verificación en donde los distintos planes generados por el escalón anterior, son evaluados utilizando modelos de simulación de los mismos en diversos escenarios de manera que este paso permite descartar aquellos con evaluación más desfavorable y seleccionar aquellos con evaluación más conveniente. Como en el caso anterior, cabe discernir diversos niveles de modelización de los procesos que se usen para evaluar.

Cada tipo de pregunta puede soportarse mediante una colección de modelos de ambos tipos.

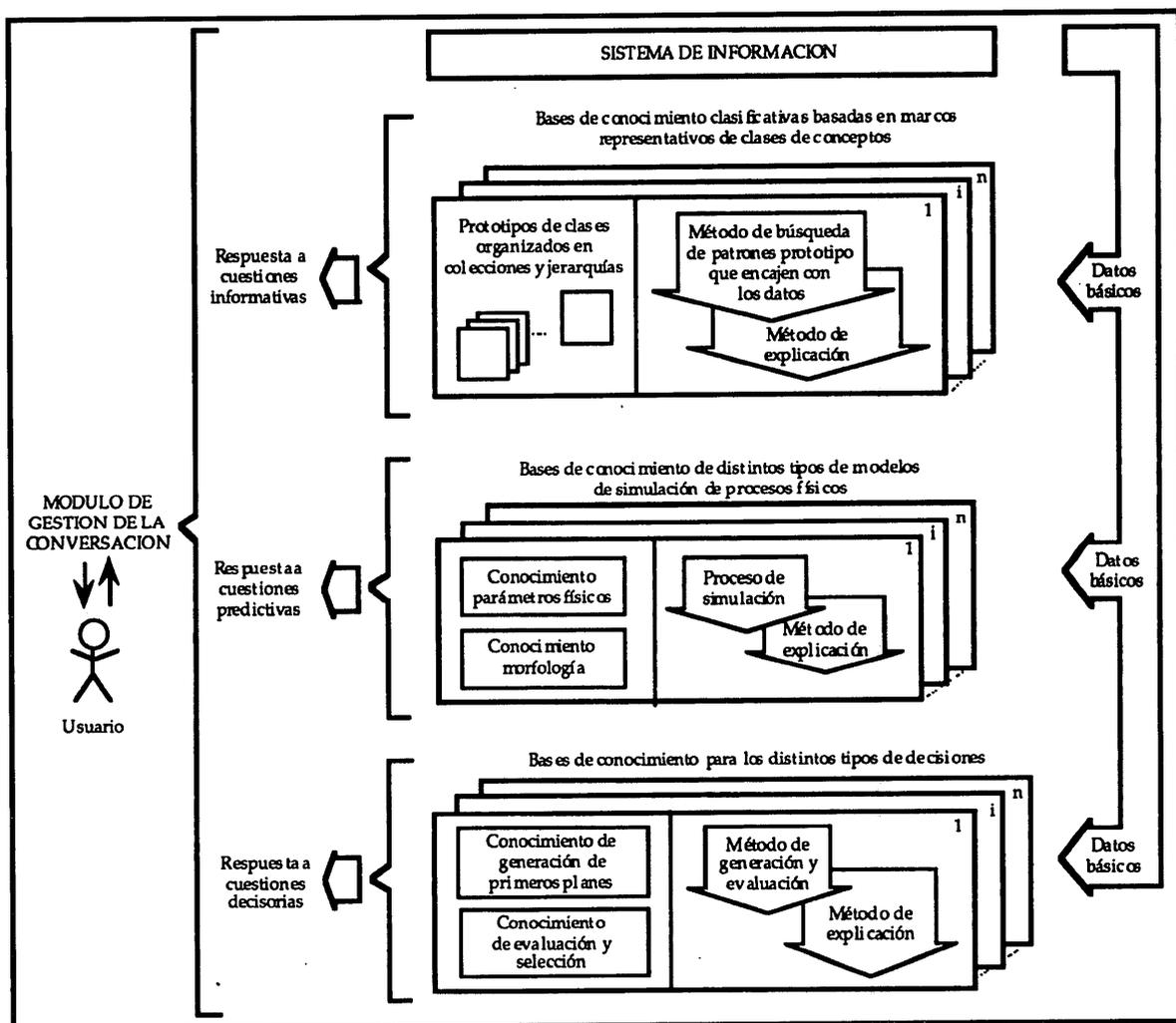
El conjunto del posible entorno de software para soportar una relación hombre-máquina se sintetiza en la figura 7, en la que el sistema de información provee de datos primarios para los tres tipos de modelos (informativos, predictivos y decisorios) que a su vez proveen de respuestas y explicaciones a los distintos tipos de preguntas que configuran la relación hombre-máquina vía un módulo de gestión de la conversación.

El módulo de gestión de la conversación puede plantearse en base a una serie de preguntas con formato estructurado o bien en base a un modelo de comprensión de lenguaje natural en donde el operador habla usando formas coloquiales menos estructuradas y el módulo de gestión de la conversación vía su conocimiento de tipo léxico, que le permite identificar palabras y sus sinónimos, y de tipo sintáctico y semántico que le permite detectar frases y su significado genera la versión estructurada de las frases coloquiales provistas por el operador. El desarrollo actual de la tecnología en el campo del procesamiento del lenguaje natural permite ofrecer esta funcionalidad siempre que se trate, como en este caso, de un dominio suficientemente delimitado, especializado, de conocimiento.

4. CONCLUSIONES

Los comentarios anteriores constituyen un panorama de las funcionalidades exigibles a los sistemas de ayuda a la decisión del SAIH basadas en la relación con el usuario así como de las líneas generales de las soluciones que únicamente los sistemas basados en el conocimiento pueden aportar para satisfacer tales funcionalidades. Este enfoque

Figura 7.
Estructura general de un modelo basado en el conocimiento para una interfaz de ayuda a la decisión en tiempo real.



puede hoy día usarse para aplicaciones prácticas ya que su base técnica está suficientemente experimentada.

REFERENCIAS

- [Alonso et al. 90] **Alonso M., Cuena J., Molina M.:** "SIRAH: An Architecture for a Professional Intelligence". Proc.9th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'90). Pitman, 1990.
- [Alonso et al. 92] **Alonso M., Cuena J., Reig B.:** "SIRAH: A Software Environment for Advanced Knowledge Based Models for Flood Management" formando parte de Hydraulic Engineering Software HYDROSOFT'92. Computational Mechanics Publications. Wessex Institute of Technology, 1992.
- [Conejo et al. 95] **Conejo R., Cuena J., Molina M.:** "El Papel de los Sistemas Basados en el Conocimiento en los Sistemas de Información Hidrológica" Jornadas sobre el SAIH en la Gestión Hídrica. Confederación Hidrográfica del Ebro, Dirección General de Obras Hidráulicas. Zaragoza, Abril 1995.
- [Conejo, 95] **Conejo R.:** "Sistemas Basados en el Conocimiento Aplicados a la Validación de Información Hidrológica en Tiempo Real". Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1995.
- [Cuena et al, 91] **Cuena J., Molina M., Garrote L.:** "An Architecture for Cooperation of Knowledge Bases and Quantitative Models: The CYRAH Environment". XI International Workshop on Expert Systems. Special conference on Second Generation Expert Systems. Avignon'91. EC2, 1991.
- [Garrote, 90] **Garrote L.:** "Modelos Hidrológicos de Ayuda a la Decisión en Tiempo Real Basados en Técnicas de Inteligencia Artificial" Tesis doctoral presentada en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid. 1990. ●