



## Generación de resúmenes de comportamiento de un sistema dinámico a partir de información no-textual y conocimiento del dominio

Víctor Flores

Departamento de Informática, Automática y Robótica. Universidad Europea de Madrid. Calle del Tajo s/n, 28670. Madrid- España.

victor.flores@uem.es, vfloresf@gmail.com.

**Abstract** This article describes a knowledge-based method for generating multimedia descriptions that summarize the behavior of dynamic systems. The method has been designed to use by users who monitor the behavior of a dynamic system with the help of sensor networks and make decisions according to prefixed management goals. This method generates presentations using different modes such as text in natural language, 2D graphics, etc. The method uses a qualitative representation of the dynamic system based on hierarchies of components and causal influences. The method includes an abstraction generator that uses the system representation to find and aggregate relevant data at an appropriate level of abstraction. Also, the method includes a hierarchical planner to generate presentations using a model with discourse patterns. The method has been validated on hydrological domain and evaluated its practical utility by developing several models for an application that worked in continuous real time operation for more than one year, summarizing sensor data of a national hydrologic information system in Spain.

**Resumen** Este documento describe un método basado en conocimiento del dominio para generar de forma automática presentaciones multimedia de resúmenes de comportamiento de sistemas dinámicos. Este método se diseñó para ser usado en la monitorización del comportamiento de sistemas dinámicos medidos por redes de sensores, para ayudar en la toma de decisiones según objetivos prefijados. El método genera presentaciones combinando varias formas de presentación como texto en lenguaje natural, gráficos 2D, etc. El método usa representación cualitativa basada en jerarquía de componentes e influencias causales entre los componentes. El proceso incluye un método de generación de abstracciones que usa el método de representación para seleccionar el nivel apropiado de abstracción. Este método general se validó en el dominio hidrológico, constatando su utilidad operativa mediante la construcción que recibe datos de sensores y genera resúmenes de comportamiento de Cuencas hidrográficas de España en tiempo real.

**Palabras Clave:** Generación automática de resúmenes de comportamiento de Sistemas Dinámicos, Planificación, Representación cualitativa y semi-cualitativa de sistemas físicos, Generación de Resúmenes Multimedia.

### 1 Introduction

La generación de resúmenes dentro de la Inteligencia Artificial es un campo cuya finalidad puede resumirse en dos tareas, la primera de generar síntesis de información que puede ser extensa o difícil de interpretar, y la segunda de presentar dicha información en formas de presentación diversa como texto, gráficos o combinaciones de éstas. Los procesos de generación de resúmenes, suelen tener entradas de fuentes textuales o no-textuales, otra característica es que los datos de entrada pueden ser abundantes o difíciles de filtrar e interpretar. Las salidas de los procesos de generación de resúmenes que son de interés en este trabajo, son resúmenes comprensibles para las personas. Estos resúmenes deben tener características como: una narración (discurso) coherente, cubrir lo más

importante de la fuente, estar disponible en el momento oportuno y tener una finalidad concreta. El caso de sistemas en el dominio medioambiental, una finalidad frecuente de estos resúmenes es dar soporte a tareas de toma de decisión para la gestión de los recursos de los sistemas.

Una herramienta de generación automática de resúmenes puede entenderse como un sistema software cuyo objetivo es producir un resumen de una fuente, de forma que sea entendible para las personas [15] o de utilidad para otra aplicación software. En el caso particular de destinatarios humanos y dependiendo de factores como el tipo de fuente, el tipo de forma de presentación elegido para la salida, etc. se han generado clasificaciones diversas de los métodos que realizan esta tarea. Por ejemplo, están los métodos que a partir de fuentes textuales o no-textuales generan resúmenes en texto. También están los que a partir de las mismas fuentes y con conocimiento del dominio generan interpretaciones que explican el estado del sistema, por ejemplo en forma de abstracciones de eventos.

Una vez generado el resumen es necesario mostrarlo al usuario humano. En los últimos años, la investigación en generación de síntesis destinada a humanos ha estado acompañada por la investigación en formas de presentación de información. Uno de los objetivos de la investigación en formas de presentación de información, es lograr transmitir de la mejor manera la información a los destinatarios en forma de sumarios. En este sentido, una técnica de interés es la generación de presentaciones multimedia. La generación de presentaciones multimedia consiste en combinar formas de presentación para mostrar la mayor cantidad de información y de la mejor manera posible, con el fin de alcanzar más fácilmente objetivos comunicativos.

Actualmente, existe un interés creciente en aplicaciones software que presentan de forma multimedia resúmenes generados a partir de fuentes textuales, no-textuales o combinaciones de éstas. Ejemplos ya frecuentes son aplicaciones web que resumen información relacionada a ciertos contenidos (un caso concreto es WikiSeer Keynote<sup>1</sup>) o herramientas software que resumen los cambios de estados en sistemas concretos con un alto nivel de incertidumbre sobre la ocurrencia de eventos que ocasionan dichos cambios. En el área médica por ejemplo, sistemas de generación de explicaciones de eventos pueden estar empotrados en los denominados sistemas de soporte a decisiones clínicas (Clinical decision support systems-CDSS), para ayudar a explicar la evolución o el estado de un paciente [22].

En los casos antes citados, además de disponer de datos de comportamiento, es necesario disponer de información del dominio para poder generar resúmenes lo suficientemente ricos como para que puedan dar soporte a tareas como la toma de decisiones [10]. Sin embargo, la representación de un conocimiento suficiente para esta tarea es actualmente un problema latente, dada la frecuente complejidad estructural y funcional de los sistemas dinámicos. Estas particularidades restringen las propuestas actuales al funcionamiento exclusivo en el dominio del problema y frecuentemente exclusivamente para el sistema específico para el que se han desarrollado.

En este documento se describe la investigación realizada en las áreas de generación de resúmenes, generación de presentaciones multimedia y representación del conocimiento de sistemas dinámicos complejos para aportar una solución a la tarea de generación de resúmenes de comportamiento de un tipo de sistemas dinámicos, de forma que dichos sumarios sean de utilidad para tareas concretas como la toma de decisiones en la gestión de estos sistemas. En los próximos apartados se describe también la propuesta software de solución, su validación y aporte original a la solución de este tipo de problema.

El resto del documento contiene los siguientes apartados: en el apartado 1.1 se hace un breve recorrido por algunos antecedentes en generación automática de resúmenes y campos de investigación relacionados, en el apartado 1.2 se realiza algo similar en el campo de la presentación de información de información en sistemas dinámicos. Seguidamente, en el apartado 1.3 se describen las características del dominio hidrológico como campo tipo de aplicación del modelo propuesto y posteriormente (en el apartado 1.4) la descripción de la necesidad identificada.

En el apartado 2 se describen las piezas de la propuesta: el método de generación de abstracciones de comportamiento y los modelos en que se basa, el método de generación de presentaciones multimedia y el método de inferencia. El apartado 3 describe la validación del método propuesto en el dominio Medioambiental, y el 4 contiene una breve discusión, las aportaciones y posibles líneas de trabajos futuros. Finalmente se presentan las referencias.

## 1.1 Generación de resúmenes

Los métodos de generación automática de resúmenes, en el campo de la Inteligencia Artificial, han evolucionado en los últimos años adaptándose a medios como la Web. Las primeras propuestas de generación de

---

<sup>1</sup> <http://www.ghacks.net/2010/09/28/create-automatic-page-summaries-with-wikiseer-keynotes/> (última consulta: Enero-2012).

resúmenes estaban centradas en manejar como entrada fuentes textuales y generar salidas en la misma forma de presentación. De acuerdo con [12], el proceso de generar un resumen involucra las tareas de identificación de la fuente, generar interpretaciones y generar el sumario. Los métodos más actuales pueden combinar tanto fuentes textuales como no-textuales para generar resúmenes en formas de presentación diversas (gráficos, texto, imágenes, etc.) o combinaciones de estas formas de una única presentación (presentaciones multimedia).

Hoy por hoy, la separación entre propuestas software de generación automática de resumen de información y otras en campos de estudio cercanos está algo difusa, dados los resultados que brindan y la forma de procesar las fuentes de datos. Entre estos campos relacionados se pueden destacar los siguientes:

Extracción de información que básicamente consiste en elegir elementos de una fuente (como por ejemplo términos, valores, etc.) según ciertos patrones de extracción para usarlos en, por ejemplo, generación de nuevos documentos. Estos segmentos claves pueden usarse también para completar formas como plantillas o tablas generando así frases de lenguaje natural. En trabajos recientes como por ejemplo [21] se combinan técnicas de extracción de información con otras como clasificación semántica de información, para generar patrones de extracción con mayor calidad semántica, que aplicados a fuentes textuales ayudan a obtener textos más apropiados (semánticamente hablando).

Recuperación de documentos (document retrieval) que puede entenderse como la búsqueda y rescate de documentos de repositorios, según ciertos criterios o necesidades de usuarios, para ser usados en tareas diversas. Este proceso normalmente no implica condensación del contenido de los documentos, sino la identificación de ciertos descriptores clave para que algunos de estos documentos sean recuperados. En trabajos recientes de generación automática de información se usan algunos de estos principios.

Minería de documentos (text mining) cuyos métodos están destinados a inferir conocimiento o información de relevancia en grandes repositorios donde dicha información no se dispone de forma explícita.

Estos métodos pueden usarse en tareas como identificación de patrones, elementos clave, etc. para soportar técnicas de generación automática de resúmenes. Un ejemplo de esto es el trabajo planteado en [3], que incorpora algoritmos de minería de documentos para tratar información de ediciones digitales de periódicos en la Web e identificar por ejemplo noticias más leídas, imágenes más vistas, etc.

Áreas de trabajo como las mencionadas anteriormente aportan técnicas a la de generación de resúmenes, y han servido de base para entender la generación de resúmenes de formas diversas, como por ejemplo: “Proceso de filtrado a partir de abundante información de menor interés, relacionada con uno o varios sucesos, para generar información de más alto nivel, que resulte útil al usuario en la realización de tareas posteriores” [15] o “Proceso destinado a presentar información resumida relacionada con eventos que ocurren en un momento determinado en un sistema” [18].

El enriquecimiento descrito, permite contar actualmente con un amplio abanico de técnicas como por ejemplo de gestión de diálogo persona-ordenador o interfaces multimedia interactivas, implementadas con el propósito de asistir a los usuarios en tareas como análisis de grandes series de datos de comportamiento de un sistema dinámico o el análisis de relaciones costos-tiempo en tareas distribuidas de forma compleja en espacio/tiempo, un ejemplo puede ser el trabajo RoadSave presentado en [13] que genera descripciones en texto del estado meteorológico medido por sensores en una región. [23].

También existen propuesta que brindan soporte en tareas de toma de decisiones y que suponen trabajar con importantes volúmenes de datos relacionados (dataset). Gracias a los avances en áreas tecnológicas relacionadas, estos dataset son cada vez más precisos y seguros desde el punto de vista de su adquisición mediante grandes redes de sensores, telecomunicaciones o Internet. Un ejemplo de estos dataset puede ser los datos obtenidos por dispositivos GPS y usados mediante dispositivos diversos (como por ejemplo teléfonos móviles).

Estos datos pueden usarse en muchas tareas como puede ser: análisis de datos de misiones en escenarios militares (reales o simulados), detección de cambios en el comportamiento de un sistema, planificación y/o análisis de patrones de rutas de transporte, etc. Otro ejemplo significativo, son las redes de distribución geográfica de sensores para medir comportamiento de sistemas físicos. Estas infraestructuras demandan cada vez más tecnologías vanguardistas en áreas como las telecomunicaciones, velocidad y ancho de banda de Internet, sistemas de video-vigilancia, etc.

Particularmente en el ámbito de la comunicación de un resumen generado de forma automática a un usuario humano, se nota una rápida y eficiente evolución de las propuestas de generación de resúmenes, gracias a la utilización de técnicas como las presentaciones multimedia. Éstas son útiles para acercar los resúmenes a los interesados mejorando la comprensión e interpretación de sus contenidos. Sin embargo, las herramientas existentes tienen en común limitaciones como:

Estas herramientas son generalmente diseñadas para resumir fuentes en dominios específicos, lo que les hace poco reusables o adaptables a diferentes dominios [25].

En su funcionamiento, estas herramientas generan explicaciones que incluyen descripciones de eventos, que pueden no estar ordenados cronológicamente o no tener relación directa entre ellos [1]. Esto hace difícil de comprender los resúmenes (para las personas), además que desde el punto de vista de la coherencia o la relevancia, los resúmenes suponen elevados costes computacionales al tener que incorporar técnicas como la teoría Estructura Retórica [17] para mejorar la estructura de los discursos. En ocasiones es necesario también incorporar conocimiento de relevancia (por ejemplo en forma de reglas) a los métodos de generación de resúmenes para asegurar que sean de interés para las personas.

## 1.2 Presentación de comportamiento en sistemas dinámicos

Para presentar información resumida del comportamiento de un sistema dinámico es necesario contemplar algunas particularidades, como por ejemplo que dicho resumen combine muchos datos y cumpla con objetivos comunicativos prefijados. En este sentido, las presentaciones multimedia están resultando una solución adecuada. Una presentación multimedia combina formas de presentación como texto, gráfico o sonido en una misma interfaz, con propósitos de: alcanzar objetivos comunicativos, mejorar las posibilidades de interpretación de la información o aumentar la cantidad/calidad de los datos mostrados.

Otro aspecto relevante es la coherencia de la información contenida en el resumen. Una tarea importante en la generación de presentaciones multimedia que muestran información de sistemas dinámicos es la construcción del discurso [16]. Existen varias formas de concebir un discurso para sistemas donde existe un patrón de qué informar, por ejemplo, un reportero puede estandarizar la forma de contar sucesos como movimientos telúricos, incendios, mareas, lluvias y sus efectos en poblaciones, siembras, etc. Computacionalmente el discurso se puede realizar en un modelo de presentación. El modelo de presentación reúne los criterios que permiten construir automáticamente una presentación que muestra de forma resumida información correspondiente al comportamiento espacio-temporal del sistema dinámico.

Para describir el comportamiento de sistemas complejos se suele usar formas de presentación como las siguientes: (1) Texto en lenguaje natural para expresar de una manera uniforme los contenidos principales en los resúmenes de comportamiento. Esta forma de expresión resulta muy conveniente, además, para ser difundida a través de diversos medios tales como Internet (por ejemplo con mensajes de correo electrónico), móviles (con mensajes SMS o mensajes de voz), etc. (2) Elementos gráficos para detallar los contenidos y mejorar el entendimiento de la estructura y comportamiento de los elementos del sistema. Por ejemplo, gráficos con evoluciones temporales para expresar de forma detallada los valores numéricos (instantáneos o series temporales) de variables asociadas a componentes, mapas geográficos, vídeos, fotografías, etc. para una mejor localización de lugares, etc.

Es destacable, en las aplicaciones que generan presentaciones de información de forma multimedia, la dificultad que supone la combinación adecuada de las formas de presentación y el coste computacional de estas presentaciones. Esto se debe principalmente a la propia naturaleza de los sistemas dinámicos que imposibilitan contar con textos y gráficos pre-establecidos para combinar y presentar.

## 1.3 El dominio hidrológico

El interés de este trabajo son los sistemas medioambientales monitorizados mediante redes de sensores y gestionados por operadores humanos para lograr objetivos de gestión prefijados. Concretamente, el dominio de trabajo son los sistemas formado por cuencas hidrográficas que a su vez contiene elementos como ríos, áreas de lluvia, embalses y otros más básicos como son puntos de río donde se mide el caudal o puntos geográficos donde se mide la cantidad de lluvia caída, la humedad relativa, etc.

El procesamiento de las medidas capturadas por sensores y la gestión de estos sistemas dinámicos se realiza en Centros de Control donde es importante contar con información adecuada y a tiempo para ayudar a la toma de decisiones. Decisiones que pueden estar orientadas a regular el comportamiento del sistema (actual o futuro), difundir información de comportamiento, etc. También es importante mencionar que el estado del sistema pueden a su vez incidir en el comportamiento de otros sistemas, y además puede tener impacto en personas, redes de comunicaciones, etc.

En España existen 9 cuencas principales, cada una gestionada por una Confederación Hidrográfica (por ejemplo la del Ebro: [www.chebro.es](http://www.chebro.es)). En estas Confederaciones donde operadores y directivos de Centros de Control gestionan los ríos y embalses de cada cuenca. En las Confederaciones Hidrográficas se cuenta con información diversa como puede ser la ubicación geográfica de ríos, embalses, pluviómetros, etc., capacidades de embalses, secciones de río, etc. Dicha información es importante para la monitorización de ríos, embalses, etc. y la tomar decisiones en presencia de problemas como inundaciones, contaminación de aguas o necesidades puntuales de agua para riego, consumo humano, etc.

Los datos que se recaban en las confederaciones hidrográficas se almacenan e interpretan para realizar tareas posteriores como comunicar al ministerio de Medioambiente o difundir información hidrográfica a otras organizaciones como Defensa Civil, Ayuntamientos, etc. El ministerio de Medioambiente por su parte, procesa los datos recibidos de todas las Confederaciones a un nivel más global para generar información a más alto nivel como por ejemplo abstracciones de comportamiento de los ríos de España, niveles de agua embalsadas, niveles de contaminación de las aguas, redistribución de recursos hídricos, etc.

#### 1.4 Necesidad identificada

Los sistemas de generación de resúmenes ayudan a las personas a decidir en situaciones donde la información puede ser abundante, expresada a un nivel poco adecuado (por ejemplo muy técnica para una persona o grupo de personas) o poco clara. Por ejemplo, los sistemas denominados data-to-text generan descripciones textuales a partir de fuentes no textuales (números, series de datos, etc.) que ayudan a por ejemplo, comprender previsiones del estado de las mareas [13], [5]. Otras aplicaciones en este dominio generan, por ejemplo resúmenes multimedia, esto gracias, por un lado a los avances en las técnicas de generación de abstracción de información relevante y de generación de presentaciones multimedia, y por otro lado a las técnicas e infraestructuras actuales de captura, transmisión y procesamiento de datos de comportamiento de sistemas físicos, garantiza la existencia de datos fiables, que en general son recibidos de forma oportuna en los centros de control donde se requieren y cuando se requieren.

Pero además, estos avances suponen la existencia de grandes volúmenes de información que debe ser almacenada, abstraída, filtrada y presentada con las siguientes particularidades: (1) debe estar asequible para ser abstraída de forma adecuada y oportuna para la toma de decisiones y (2) orientada a lo que necesita y entiende el destinatario, es decir, en el nivel de abstracción adecuado a sus con para lo que en muchos sistemas que pretenden estos objetivos, se usan abstracciones cualitativas o semi-cualitativas, con el propósito de acercar los resúmenes a la forma en que normalmente entiende una persona el comportamiento de un sistema dinámico. Esto supone generalmente elevados costes de programación, infraestructura, puesta a punto en sistemas software implementados para estos fines.

Por otra parte, las aplicaciones existentes son generalmente particulares para un sistema, difícilmente adaptables a sistemas de otros dominios e incluso, en el mismo dominio, dada la complejidad que suele acompañar a las representaciones de los sistemas físicos. En el caso de sistemas complejos donde se requiere una representación y abstracción de información relacionada a eventos que marcan la evolución del sistema, una solución viable es usar representaciones cualitativas o semi-cualitativas.

En tal sentido, se estima necesaria una propuesta general para construir presentaciones multimedia del estado de un sistema hidrológico en forma de descripciones de eventos y su localización geográfica. Esto supone un esfuerzo de representación semi-cualitativa para el dominio de sistemas hidrológicos que sea más asequible y proporcione una riqueza suficiente para generar presentaciones multimedia con las particularidades antes descritas.

También es común en las propuestas de generación de resúmenes consultadas en la literatura, que los resúmenes estén orientados en función a criterios particulares. Por ejemplo, a las necesidades de información o criterios de interés del diseñador/usuario final de la implementación, en este caso particular, el filtrado y agregación de la información se realiza según criterios de relevancia relacionados con criterios de gestión de este tipo de sistemas, aportados por un experto hidrólogo.

El objetivo en este trabajo es, plantear una solución para explicar de forma resumida lo que pasa y es relevante en un sistema medioambiental (cuencas hidrográficas) durante un período de tiempo determinado (episodio), y presentar esa información en forma multimedia, de modo que sea (1) más asequible, (2) cercana a la toma de decisiones y (3) orientada a diferentes tipos de destinatarios, como por ejemplo personal técnico, interesados en conocer lo que pasa en el sistema, periodistas que difunden información, etc.

En el resto de este documento, se describe el método propuesto de generación de resúmenes de comportamiento y de presentación de esta información en forma de presentaciones multimedia, y su validación sobre el sistema hidrográfico de España. Primero se describe el método de generación de abstracciones de comportamiento y luego el método para generar las presentaciones multimedia. Seguidamente se describe el proceso de validación del método y la valoración de la utilidad práctica en el dominio antes mencionado. Finalmente se presenta una discusión comparativa con otras aplicaciones de propósitos similares y las líneas futuras.

## 2 El método de generación de resúmenes de comportamiento

Como se ha dicho, el objetivo es resumir lo que pasa y es relevante en un sistema medioambiental durante un episodio, para luego presentar esa información en forma multimedia. A tal efecto en este trabajo se plantea, realizar varias subtareas que son: adquirir los datos medidos por sensores, interpretar, filtrar y abstraer la información en una primera fase, y en una segunda fase planificar el discurso y generar la presentación multimedia. Este trabajo se focaliza en las tareas posteriores a la adquisición de datos, que se generalizan en Abstraer y Planificar como muestra la figura 1.

La entrada a la tarea Abstraer son el Modelo del Sistema, Modelo de Abstracción y valores numéricos de medidas de sensores representados en forma de series temporales. Estas secuencias de valores contienen datos diversos, como por ejemplo la identificación, localización geográfica del sensor, tipo de cantidad que mide (por ejemplo caudal, lluvia, etc.), etc. Cada serie temporal contiene los valores medidos de una cantidad en los últimos  $t$  instantes (por ejemplo  $t=24$ ). Actualmente se dispone de más de 1800 sensores en las Confederaciones Hidrográficas, con capacidad de medir y enviar datos en cortos períodos de tiempo (por ejemplo cada  $\Delta t=15$  min) a los Centros de Control de las Confederaciones, que posteriormente son enviadas al Ministerio de Medio Ambiente, lo que puede dar origen a gran cantidad de datos, por ejemplo a más de 7000 datos a procesar, interpretar y filtrar en una hora y en condiciones de normalidad.

La salida de esta tarea Abstracción son abstracciones de comportamiento del sistema hidrológico. Estas abstracciones se tienen en forma de medidas de cantidades o descripciones de estado del sistema (abstracciones de comportamiento). Para generar las abstracciones de comportamiento, la tarea usa conocimiento específico del dominio hidrológico, contenido en las bases de conocimiento del Modelo del sistema y Abstracciones.

Las abstracciones de comportamiento representan la entrada a la tarea Planificar, junto al Modelo del Sistema y el Modelo de presentación. El modelo de presentación contiene los patrones generales de presentación, inspirado en un formato periodístico de cómo contar información hidrológica. También contiene los operadores de presentación específicos para el dominio hidrológico.

La salida de esta tarea son descripciones que resumen y explican el comportamiento del sistema hidrológico. Estas descripciones son en formato texto y otras formas de presentación como gráficos 2D, mapas, etc. En la presentación de la información se persigue establecer una comunicación afín y fiable para el usuario, habituado a recibir este tipo de información. Es decir, se trata de usar formas de presentación habituales que permitan vincular las diferentes piezas de información y que el conjunto resulte cercano y convincente para el usuario. Para ello se plantea (1) Naturalizar la información. Es decir, que la presentación utilice descripciones de funcionamiento del sistema dinámico en la forma natural en que lo entienden las personas con el fin de que la presentación sea más comprensible. (2) Usar piezas de información convincentes. En la medida de lo posible, la presentación debe convencer al usuario sobre la relevancia de la información mostrada, suministrando información adicional en forma de evidencias.

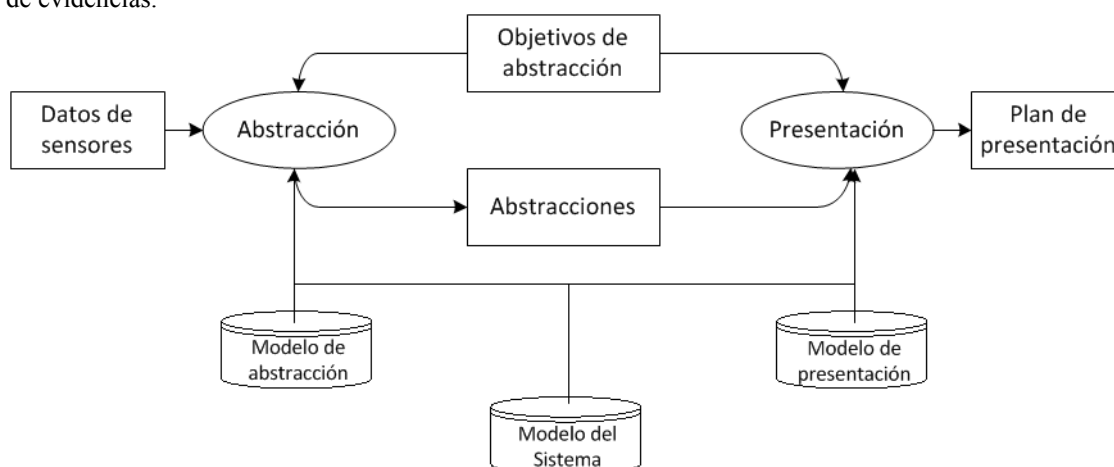


Figura 1. Esquema general del modelo propuesto (las elipses representan tareas, los rectángulos representan datos y los cilindros representan bases de conocimiento).

Las descripciones de comportamiento hidrológico poseen dos características importantes: la primera que pueden combinarse y presentarse usando diferentes tipos de dispositivos, como por ejemplo un ordenador, un teléfono móvil, etc. y la segunda que se generan al máximo nivel de agregación posible, pero rodeadas de información de detalle, a la que puede llegar el usuario en caso de requerirlo. Esto es importante en sistemas con

gran cantidad de componentes y posibles estados en un episodio, donde además, es necesaria la ubicación geográfica-espacial del componente, la descripción de su estado actual y anterior(es), para entender la evolución de ciertos fenómenos (por ejemplo una riada y sus consecuencias, un incendio, etc.).

## 2.1 Abstracciones de comportamiento

Para generar abstracciones de comportamiento, primeramente se plantea en este trabajo una forma de representación que incluye una visión de componentes. Dicha representación permite (1) condensar información de comportamientos individuales mediante agregación (basada en una jerarquía de componentes), (2) filtrar y agrupar información relacionada mediante conexiones entre componentes (por ejemplo causales).

Además, un enfoque basado en componentes resulta (normalmente) intuitivo para las personas y por tanto más fácil de formalizar, lo que hace que el esfuerzo de construcción del modelo sea más asequible respecto a otros enfoques más abstractos [7], [2]. En el caso particular, también posibilita la visión topológica de los elementos geográficos del sistema (una cuenca, regiones, ríos, etc.). Por otro lado, completa la visión de representación la idea de física cualitativa que facilita la interpretación y representación de fenómenos físicos de la forma en que lo entienden las personas. En este particular, la representación planteada comparte ciertos principios de representaciones de sentido común y ontologías usadas en física cualitativa (ejemplos de estos son [2], [11], [14]).

### 2.1.1 Modelo del sistema

El modelo del sistema planteado contiene la representación de la estructura y comportamiento del sistema. En este modelo se sigue una representación basada en principios semicualitativos, útil para los objetivos planteados. Para formalizar el modelo del sistema se usa en este trabajo many-sorted first order logic [19] que es muy adecuada para la representación de objetos y sus características. Esta lógica provee un lenguaje de representación derivado de la lógica de primer orden (sort theory [9]), y permite dividir el universo del discurso en sorts o tipos, que no necesariamente deben ser disjuntos y, en general, forman un orden parcial o jerarquía, basada en relaciones de inclusión de conjuntos.

En este trabajo, una constante  $c$  asociada a un sort  $s$  se denota  $c: s$ . De la misma forma, una variable  $v$  asociada a un sort  $s$  se denotaría  $v: s$ . Para definir que  $s$  es un subsort del sort  $t$  se escribe:  $\text{sort } s: t$ . También se asocian a los sorts predicados y funciones, cuyos argumentos pueden ser únicamente elementos sorts. La notación  $p(x1: t1, x2: t2, \dots, xn: tn)$  indica que el predicado  $p$  está definido únicamente con argumentos de sorts  $t1, t2, \dots, tn$  (respectivamente). La notación  $f: t1 \times \dots \times tn \rightarrow t$  indica que el sort resultado de la función  $f$  aplicado a argumentos de sorts  $t1, t2, \dots, tn$  es de sort  $t$ .

Respecto a la estructura se usan los siguientes sorts: *component* para representar los objetos físicos del sistema (por ejemplo un río, un embalse, etc.), *quantity* para representar las cantidades que caracterizan a los componentes (por ejemplo caudal para río, volumen de agua embalsada, etc.) y *sensor* para representar los dispositivos que miden las cantidades de componentes (sensores). Las ecuaciones de la parte (b) de la figura 2 ilustran la estructura descrita en la parte (a) de la figura 2. Por ejemplo, las ecuaciones (1), (3), (5) y (9) de la figura constituyen ejemplos de sorts de la representación, las ecuaciones (2) y (4) representan ejemplos de elementos concretos tipo río y embalse y la ecuación (10) representa un ejemplo de representación de elementos concretos tipo sensor.

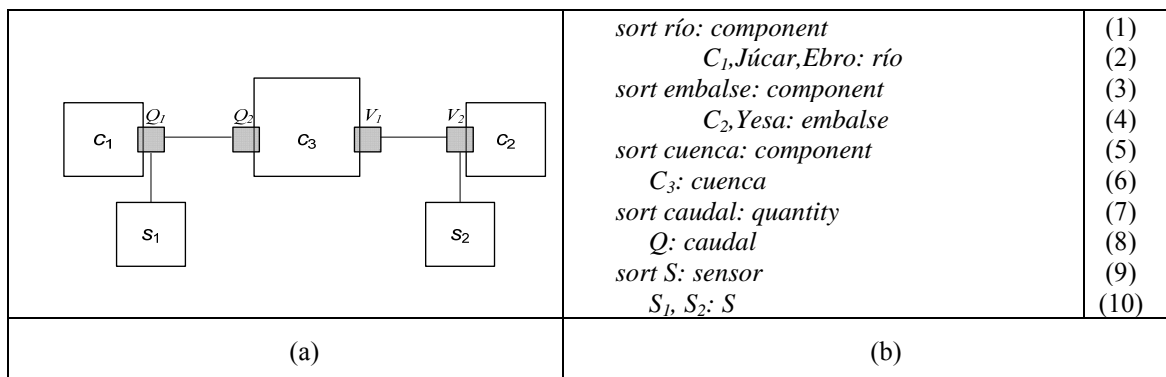


Figura 2. Esquema de relaciones estructurales entre componentes mediante cantidades de mismo tipo (parte a) y ejemplos de elementos de representación en hidrología (parte b).

La relación de agregación entre componentes se establece con  $\text{part\_of}(x:\text{component}, y:\text{component})$ . Por ejemplo, para establecer que los componentes  $c_1$ ,  $c_2$  de la figura 2 son parte del componente  $c_3$  se usan  $\text{part\_of}(c_1, c_3)$  y  $\text{part\_of}(c_2, c_3)$ . Esto da origen a dos tipos de componentes, los componentes simples (básicos) y los que agregan a los anteriores (complejos o generales). Con el fin de asegurar la organización jerárquica entre componentes mediante la relación  $\text{part\_of}(-)$  se establecen supuestos como los expresados en las ecuaciones (I) y (II) de la tabla 1.

Se contemplan otras relaciones como por ejemplo la que existe entre una cantidad de componente y el sensor que le mide, ésta se establece con:  $\text{observe}(x:\text{quantity}, y:\text{sensor}, c:\text{component})$ . Por ejemplo,  $\text{measure}(P015, \text{Algemesí}, \text{lluvia})$  significa que el sensor P015 mide la cantidad lluvia asociada al componente Algemesí. Los componentes más generales que agregan a otros componentes pueden estar caracterizados por más de una cantidad, la parte (a) de la figura 2 ilustra gráficamente que el componente  $c_3$  está caracterizado por las cantidades Q y V. Esto puede representarse de la forma siguiente:  $s_1, s_2: \text{sensor} [\text{observe}(Q, s_1, c_3)], [\text{observe}(V, s_2, c_3)]$ .

Para representar el comportamiento se contemplan predicados para lo estático y lo dinámico del sistema. Por ejemplo, para representar el valor de una cantidad se usa  $\text{value}(x:\text{quantity}, y:\text{component}, t:\text{t\_scope}, v:\text{value})$ , donde  $t\_scope$  representa el sort de tipos de ámbito o alcance temporal de la medida (por ejemplo el máximo de una serie temporal, el valor actual, la media de una serie temporal, etc.) y  $value$  representa el sort de valores posibles de la cantidad (definido por ejemplo como  $\text{sort value: Real}$ ). También se contempla en  $\text{value}(-)$  un argumento que indica el ámbito de representatividad del nivel de agregación de componentes, mediante el sort  $c\_scope$ . Los posibles valores en  $c\_scope$  relacionan un nivel jerárquico del componente caracterizado por la cantidad medida (por ejemplo, el valor  $v$  represente la temperatura media de España que agrega las temperaturas medias de las ciudades). La tabla 2 resume los posibles valores de estos sorts.

Tabla 1: Ejemplos de supuestos del modelo del sistema.

$\forall c_1, c_2: \text{component} [\text{part\_of}(c_1, c_2) \rightarrow \neg \text{part\_of}(c_2, c_1)]$	(I)
$\forall c_1, c_2, c_3: \text{component} [\text{part\_of}(c_1, c_2) \wedge \text{part\_of}(c_2, c_3) \rightarrow \neg \text{part\_of}(c_1, c_3)]$	(II)
$\forall c_1, c_2: \text{component}, \forall q_1, q_2: \text{quantity}, \forall n: \text{number} [\text{cause}(c_1, q_1, c_2, q_2, n) \rightarrow \neg \exists c_3: \text{component} [\text{part\_of}(c_3, c_1) \vee \text{part\_of}(c_3, c_2)]]$	(III)

Tabla 2: resumen de valores posibles para los sorts:  $t\_scope$  y  $c\_scope$ .

Sort	Valor	Descripción
$t\_scope$	$\text{series}(n)$	Serie temporal con n valores
	$\text{current}$	Valor en el instante actual
	$\text{max}(n)$	El máximo de los últimos n valores de la serie temporal medida
	$\text{min}(n)$	El mínimo de los últimos n valores de la serie temporal medida
	$\text{average}(n)$	La media de los últimos n valores de la serie temporal medida
	$\text{sum}(n)$	La suma de los últimos n valores de la serie temporal medida
	$\text{forecast}(n)$	La predicción para el instante futuro n
	$\text{average-historical}$	El valor habitual
	$\text{max-historical}$	El valor máximo histórico
	$\text{min-historical}$	El valor mínimo histórico
	$\text{max}(n, p)$	El máximo de los últimos n valores de la serie y ocupa la posición p
	$\text{min}(n, p)$	El mínimo de los últimos n valores de la serie y ocupa la posición p
$c\_scope$	$\text{max}$	Máximo de los valores de los subcomponentes
	$\text{min}$	Mínimo de los valores de los subcomponentes
	$\text{average}$	La media de los valores de los subcomponentes
	$\text{sum}$	La suma de los valores de los subcomponentes



Para representar las interpretaciones cualitativas se usan los siguientes sorts: `state` para representar el estado de un componente en el instante actual, `recent_state` para representar el estado reciente de un componente (en un período de tiempo determinado o episodio), `trend` para representar la tendencia del estado (por ejemplo, los valores de la tendencia (T) están en {creciente, estable, decreciente}), y `quantification` para representar la cuantificación de un estado que comparte un grupo de componentes (población), por ejemplo, la cuantificación como un valor del conjunto {todos, muchos, algunos, ninguno}. La descripción concreta de un estado en el instante actual se representa con la tupla:

```
<state(c:component, s:state),trend(c:component, t:trend),_
quantification(c:component, q:quantification)>.
```

La influencia causal entre estados de componentes se basa en las posibles relaciones causales directas establecidas entre cantidades de componentes. Estas relaciones se representa con `cause(c1:component, q1:quantity, c2:component, q2: quantity, n:number)`. Esta representación significa que la cantidad `q1` del componente `c1` es causa de la cantidad `q2` del componente `c2` y que dicha influencia causal tiene un retardo de `n` unidades de tiempo (por ejemplo `n` horas). Se asume que las relaciones causales se establecen únicamente entre componentes simples, este supuesto se puede expresar formalmente con la ecuación III de la tabla 1.

### 2.1.2 Modelo de abstracción

El modelo de abstracción incluye dos modelos, el modelo de interpretación que cuenta con el conocimiento que ayuda a determinar las abstracciones de cantidades y estados cualitativos, y el modelo de relevancia que contiene el conocimiento para establecer cuándo y cuáles eventos son relevantes para informar. A continuación se detallan ambos modelos.

El modelo de abstracción contiene el conocimiento (en forma de condiciones sobre valores de cantidades) para determinar estados cualitativos de componentes básicos. Este conocimiento está representado en forma de reglas que permiten llegar al estado cualitativo interpretando valores límites de cantidades, definidos en un espacio (intervalo) cualitativo de cantidades [4]. La estructura general de las reglas incluye en el antecedente condiciones sobre los valores observados de las cantidades asociadas a componentes. Un ejemplo de este tipo de reglas es el siguiente:

```
sort punto-de-lluvia: component,
∀x: punto-de-lluvia, ∀n: number, [value(x, lluvia, n, current) ∧ (n > 25) → state(x, lluvia-fuerte)].
```

El modelo de abstracción también incluye objetivos de abstracción prefijados representados en forma de predicados, que se usan en procesos de inferencia, como por ejemplo: `abstract(x)` para generar la lista `x`: conjunto de estados cualitativos en un instante dado. Otros ejemplos son (1) `details(state(A, x), y:state)` que representa el proceso de inferencia para generar la lista `y` de estados de componentes que son parte de `A` (relación `part_of(-)`) y cuyos estados son agregados por el estado `x` y (2) `causes(state(A, x), y:state)` que representa el proceso de inferencia para generar la lista `y` de estados de componentes que son causa del estado `x` del componente `A`. Para el caso concreto de determinar los estados causa del estado actual, el proceso de inferencia crea enlaces entre dicho estado y los estados recientes del episodio en los últimos `t` instantes (por ejemplo `t=8` horas) relacionados mediante la relación `cause(-)`. La salida de este proceso de abstracción es de la forma que se indica a continuación, ordenada según la relevancia individual de cada elemento:

```
y={<state(c1, s1), trend(c1, t1), quantification(c1, q1)>, <state(c2, s2), trend(c2, t2), quantification(c2, q2)>, ..., <state(cn, sn), trend(cn, tn), quantification(cn, qn)>}.
```

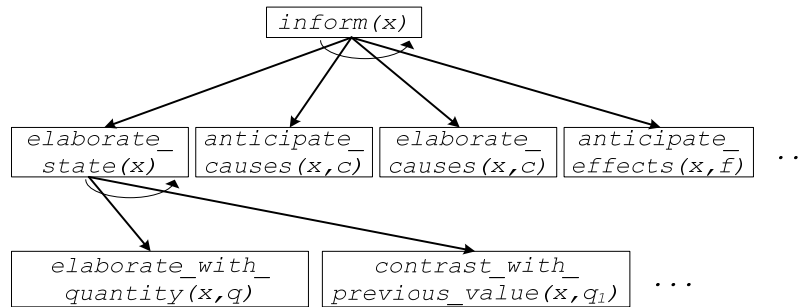
## 2.2 El método de generación de presentaciones multimedia

El modelo de presentación se usa para construir las descripciones de comportamiento que se presentan al destinatario, según objetivos comunicativos a alcanzar. Este modelo contiene los criterios para combinar, según objetivos comunicativos, las formas de presentación que componen la presentación multimedia [8]. Para el caso concreto se combina texto con gráficos de evolución y mapas en una única presentación. También contiene el modelo las estrategias para seleccionar qué información se debe mostrar.

La manera de abordar la generación dinámica de presentaciones que cubran los objetivos planteados en este trabajo es con un planificador. Usamos un planificador jerárquico (una simplificación del planificador HTN (Hierarchical Task Network, [6]) para construir el plan de presentación. La base de conocimiento del planificador contiene operadores que realizan las operaciones de presentación de (1) generar texto usando plantillas de texto con información prefijada y variables instanciables en tiempo de ejecución y (2) operadores para generar

elementos gráficos (primitivas gráficas). Por ejemplo, las primitivas gráficas permiten ubicar un lugar en un mapa o anclar a un punto del mapa un texto o un gráfico de evolución que detalle información de interés de dicho punto en un instante dado.

El modelo de presentación también contiene las estrategias de cómo combinar y presentar segmentos de información relacionadas que integran el resumen de comportamiento (patrones de discurso). En detalle, los patrones de discurso son estructuras de discurso parciales que expresan cómo presentar información, en función de condiciones sobre el estado del sistema hidrológico y/o necesidades de información. Por ejemplo, la parte superior de la figura 3 ilustra gráficamente un patrón de discurso como un conjunto de enlaces entre objetivos comunicativos, donde cada objetivo comunicativo aporta pieza(s) de información. Por ejemplo, la finalidad del objetivo comunicativo *elaborate\_with\_quantity(x, q)* es mostrar el valor de una cantidad *q*, para facilitar la interpretación del estado *x* de un componente simple *a* que está asociada.



GOAL:	<i>elaborate_with_quantity(x, q)</i>
CONDITIONS:	$(x: \textit{sección-de-río}) \wedge (q: \textit{caudal}) \wedge (\textit{value}(x, \textit{caudal}, \textit{current}, v) \wedge (t=0))$
MEDIA:	<i>text-body</i>
EFFECT:	<i>add_text</i> ({"se registra un valor de ", <i>v</i> , " m <sup>3</sup> /seg en", <i>c</i> })
<hr/>	
GOAL:	<i>contrast_with_previous_value(x,q1)</i>
CONDITIONS:	$(x: \textit{sección-de-río}) \wedge (q1: \textit{caudal}) \wedge (\textit{value}(x, \textit{caudal}, \textit{previous}, w) \wedge (t=-1))$
MEDIA:	<i>text_body</i>
EFFECT:	<i>add_text</i> ({"la variación de caudal en ese punto del río es de ", $ v-w $ , " m <sup>3</sup> /seg con respecto a la hora anterior"})
<hr/>	
...	

Figura 3. Ejemplo de estructura de discurso, patrones de discurso y operadores.

Como expresa la figura 3, para informar sobre el estado de un componente se enlazan objetivos comunicativos para componer la estructura del discurso. En el ejemplo de la figura se enlazan *elaborate\_state*, *anticipate\_causes*, *elaborate\_causes*, *anticipate\_effects*, etc., Como muestra la parte inferior de la figura 3, los objetivos comunicativos se realizan con operadores como por ejemplo: para elaborar texto y alcanzar el objetivo comunicativo *elaborate\_state* se usan los operadores *elaborate\_with\_quantity(x, q)*, *contrast\_with\_previous\_value(x, q2)*, etc. Estos operadores realizan la descripción en texto usando recurrentemente la acción *add\_text* que enlaza segmentos de texto según condiciones de selección en cada operador para el instante actual (*t=0*).

### 2.3 El proceso de inferencia

El modelo de abstracción contiene también criterios para generar abstracciones en función a objetivos en el dominio, que son: obtener la lista ordenada por relevancia de los estados de interés ( $l$ ), la lista de estados detalle, la lista de estados causa y lista de estados efecto del primer elemento de  $l$ . Siendo  $l_1$  el primer elemento de  $l$ , los estados detalle son el conjunto de componentes (y su estado) que están relacionados mediante la relación  $\text{part\_of}(-)$  con  $l_1$ , los estados causa son el conjunto de estados de componentes en el intervalo  $[t-n, t-1]$  (donde  $n$  es el valor del episodio, por ejemplo  $n=24$  significa que es un episodio de 24 horas) que están relacionados causalmente con  $l_1$  y estados efectos son el conjunto de estados de componentes cuyos estados actuales estén relacionados causalmente con  $l_1$ .

Para obtener los estados relevantes se realiza una serie de pasos encapsulados en el predicado  $\text{abstract}(l)$ , igualmente para obtener los estados detalle de un estado de componente se usa el predicado  $\text{details}(l, x)$  que genera la lista  $x$  de estados, según lo descrito anteriormente. Del mismo modo se tienen los predicados  $\text{causes}(l, y)$  y  $\text{effects}(l, z)$  que generan la lista de estados  $y$  que son causa de  $l$  y la lista de estados  $z$  que son efecto de  $l$ , respectivamente. El algoritmo del predicado  $\text{abstract}(l)$  consta de los siguientes pasos:

1. Interpretar medidas. Interpretar los datos de sensores para generar medidas cuantitativas de componentes simples. Se utiliza el predicado  $\text{measure}(-)$  y el criterio general para interpretar medidas.
2. Interpretar cantidades. Interpretar las cantidades de los componentes para generar los estados cualitativos de componentes simples. Se utilizan las reglas del dominio que concluyen sobre el predicado  $\text{state}(-)$  para generar el estado de componentes simples a partir de cantidades y el procedimiento general para determinar la tendencia de estados de componentes simples. La tendencia de estados se determina de la siguiente forma: si el valor de la cantidad asociada al componente en el instante actual  $t$  ( $q_{vt}$ ) es mayor que el valor en el instante anterior ( $q_{vt-1}$ ) la tendencia es creciente, si  $q_{vt} < q_{vt-1}$  la tendencia es decreciente.
3. Seleccionar anormales. Se seleccionan los estados anormales eliminando los estados que corresponden a situaciones de normalidad. Se utiliza el predicado  $\text{normal\_state}(-)$  para identificar los estados normales a eliminar.
4. Ordenar estados. Se ordenan los estados de acuerdo con los criterios de relevancia. Se utilizan las reglas del dominio que concluyen sobre el predicado  $\text{more\_relevant}(-)$ .
5. Filtrar estados. Filtrar estados eliminando estados correspondientes al mismo fenómeno físico. Se utiliza el predicado  $\text{cause}(-)$  para eliminar estados relevantes. Para cada estado del conjunto de estados (según el orden de relevancia que presentan en el conjunto) se eliminan los estados de componentes a los que se puede llegar a través del predicado  $\text{cause}(-)$ .
6. Condensar estados. Se trata de condensar estados de componentes simples generando estados de componentes complejos. Se realiza en dos pasos:
  - a. Agregación de componente. Se trata de condensar estados de componentes simples mediante agregación, generando estados de componentes complejos. Se utilizan las reglas que concluyen sobre el predicado  $\text{state}(-)$  para componentes complejos, el procedimiento general para determinar la tendencia de estados de componentes complejos y el algoritmo de cuantificación. Como criterio de control, se condensan primero los estados según el orden que presentan en el conjunto, lo cual garantiza que se agregan primero los estados más relevantes.
  - b. Generalización de estados. Condensar mediante generalización diferentes estados de un mismo componente. Se utilizan las reglas del dominio denominadas reglas de agregación local que concluyen sobre el predicado  $\text{state}(-)$ .

Durante el proceso de condensación, cada agregación se asocia a los detalles para su posterior uso en el proceso de planificación de la presentación. Para ello, se asocia a cada estado resultante de la condensación el conjunto de estados de componentes simples que fueron agregados. La función  $\text{agregar}(l)$  determina la información que agrega el conjunto de estados  $l$ . Dicha agregación es una tupla de tres elementos:

$\langle \text{state}(c, s), \text{trend}(c, t), \text{quantification}(c, q) \rangle$  en donde se cumple: el componente  $c$  es el componente de nivel más bajo en la jerarquía de componentes mediante la relación  $\text{part\_of}(-)$  que cubre en dicha jerarquía a todos los componentes de los estados  $l$ . El estado  $s$  se obtiene mediante aplicación de reglas de abstracción que concluyen sobre  $\text{state}(c, s)$  considerando como premisa los estados de  $l$ . Según la aplicación del algoritmo de condensación, todos los estados de  $l$  se refieren al mismo tipo de componente y todos tienen el mismo valor de estado.

La tendencia  $t$  del componente  $c$  se obtiene según el criterio general de agregación de tendencias de los estados de  $l$ . La cuantificación  $q$  se obtiene mediante comparación entre el conjunto  $Cq$  de los componentes de  $l$  y el conjunto  $Ct$ , conjunto total de componentes simples del componente complejo  $c$ .

Al aplicar el algoritmo de abstracción se genera una lista de agregaciones de estados de componentes, detallando tendencia y cuantificación de dichos estados. La lista está además ordenada según relevancia de cada estado (el primero el más relevante). Un ejemplo de esta estructura es la lista  $M$  mostrada a continuación:

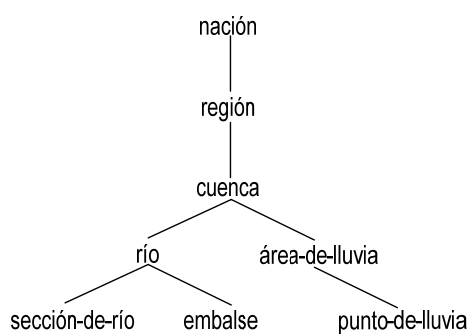
$$M = \{ \langle \text{state}(c1, s1), \text{trend}(c1, t1), \text{quantification}(c1, q1) \rangle, \dots, \langle \text{state}(cn, sn), \text{trend}(cn, tn), \text{quantification}(cn, qn) \rangle \}.$$

Cada tupla de  $M$ , en caso de que corresponda a un componente complejo, tiene asociado el conjunto de estados de componentes simples a los que agrega (estados detalles).

### 3 Evaluación

La validación del modelo propuesto está orientada en dos ámbitos, la operación correcta y la validez de la utilidad práctica de los resúmenes generados (textos explicativos de estados del sistema). Para validar la operación correcta del modelo se desarrolló el generador de presentaciones multimedia en formato Web VSAIH (figura 5) que presenta el resume el comportamiento hidrológico reciente en España, combinando texto, gráficos de evolución y mapas. Los resúmenes de VSAIH están orientados a describir en forma sintetizada el estado de los ríos, embalses y lluvias caídas durante un episodio de por ejemplo 24 horas.

El resumen está basado en un estilo periodístico de contar/difundir información hidrológica de cambios significativos en el estado del sistema, con la ubicación geográfica de los lugares donde ocurren los hechos. El resumen siempre comienza por describir en un titular el hecho de mayor interés, luego se rodea de información de detalle y explicaciones causales, que sustentan y aportan peso informativo al hecho contado en el titular, adicionándole además información geográfica que ayuda a ubicar en el terreno el hecho de interés y su información adicional, haciendo más comprensible los datos suministrados. Aunque se mantiene un esquema o patrón de cómo contar, la selección de éstos depende de las condiciones del sistema y de las necesidades de información de los destinatarios.



(a)

component('España', nación).  
 component('la zona sur de España', región).  
 component('la cuenca del Ebro', cuenca).  
 component('río Segura', río).  
 component('río Ebro en Miranda',  
 seccion-río).  
 component('Villabuena de Álava',  
 punto-de-lluvia).  
 component('Tulebras', punto-de-lluvia).  
 component(Flix', embalse).  
 component(Mequinenza', embalse).  
 part\_of('la zona sur de España', 'España').  
 part\_of('Segura', 'la zona sur de España').  
 part\_of('Guadalhorse',  
 'la cuenca del Ebro').

(b)

Figura 4. Esquema de jerarquía del dominio hidrológico (parte a) y ejemplos de predicados de la implementación en hidrología (parte b).

Para la validación se han usado datos reales de episodios, recabados por los Centros de Control de las Confederaciones Hidrográficas, correspondientes a lluvias, caudal en puntos de control de ríos (aforos) y volúmenes de embalses. Para obtener los datos de comportamiento hidrológico se ha contado con el apoyo del Ministerio de Medio Ambiente. Estos datos están expresados en forma de series temporales que expresan el código del sensor, su localización, estado, etc. y una ristra de medidas que indican el comportamiento medido en

cada instante (el último valor corresponde a la medida más reciente). Se dispone de un total de 1864 sensores de las 9 Confederaciones Hidrográficas.

También se ha usado conocimiento de un experto hidrólogo para modelizar el conocimiento de las bases de conocimiento de los niveles 1 y 2 del modelo propuesto (figura 1). Dicho modelización ha dado lugar a la representación de componentes que forman la jerarquía ilustrada en la parte (a) de la figura 4. También ha sido útil el conocimiento experto para generar las plantillas de texto y las primitivas de presentación geográfico del modelo de presentación (nivel 3), este modelo contiene también información geográfica, como por ejemplo información raster con modelos digitales de elevación del terreno, localización geográfica de ríos, embalses, puntos de medición de lluvia (pluviómetros), etc. El modelo de sistema incluye 57 pluviómetros, 117 aforos y 71 sensores de volumen. Para programar el modelo se ha utilizado Prolog, la parte (b) de la figura 4 muestra ejemplos de predicados de la implementación del modelo del sistema.

La validación de la utilidad práctica de la propuesta se realizó de dos formas: una usando la técnica de post-edición y la segunda usando la técnica de evaluación del esfuerzo de construcción del texto. La primera consiste en evaluar con ayuda de un experto los textos generados (técnica basada parcialmente en trabajos como [24]). En detalle, el experto usa los textos generados (total o parcialmente) para redactar su propia versión de texto para resumir el comportamiento. La cantidad de cambios que realiza el experto sobre el texto original cuantifica el grado de satisfacción que se tiene en el texto generado.



Figura 5. Ventana principal de la aplicación web VSAIH. Esta aplicación combina el resumen en texto generado automáticamente (parte superior izquierda) con la parte del mapa que centra la localización geográfica de los lugares donde se registran los hechos de interés.

La evaluación post-edición contempla la obtención de dos medidas: validez del texto original que se mide con el parámetro  $V$  que toma valores en forma de porcentaje de 0 a 100, en donde el valor 100 indica que el texto generado resulta válido completamente. Para calcular este valor se utiliza la siguiente fórmula:  $V=100(N-E)/N$ , en donde  $N$  es el número de caracteres del texto original y  $E$  es el número de caracteres correspondientes a palabras que se han eliminado del texto original.

La segunda medida es la presencia en el texto modificado que mide la cantidad de texto original presente en el texto modificado. Se mide con el parámetro  $P$  que toma valores de 0 a 100, en donde el valor 100 indica que el texto original se ha mantenido completamente. Se aplica la fórmula siguiente:  $P=100(M-V)/M$ , en donde  $M$  es el

número de caracteres del texto modificado y  $V$  es el número de caracteres de palabras que son nuevas en el texto modificado.

La aplicación de esta evaluación generó los valores medios de  $V=83.33\%$  (desviación típica 8,69%) y  $P=79.33\%$  (desviación típica 14,38%). La primera medida, muestra un alto valor de validez de los textos generados. La segunda medida presenta también un alto valor, pero más bajo que el anterior. Esta diferencia se justifica por (1) aspectos de descripción del comportamiento relacionados con áreas en donde no se producen problemas y (2) aspectos de presentación en lenguaje natural usados por el experto (por ejemplo tiempos verbales y abreviaturas).

La segunda forma, evaluación del esfuerzo de construcción del texto, consiste en medir la reducción del esfuerzo que aporta la solución propuesta mediante comparación con otras aplicaciones de consulta de información. Para aplicar esta técnica se generaron textos de situaciones típicas como lluvias generalizadas, variaciones de caudal en ríos de España o de cuencas a causa de fuertes lluvias, desagüe de embalses, etc. Estos textos fueron entregados a personas familiarizadas con el uso de aplicaciones Web para obtener información, como pueden ser las aplicaciones web del Ministerio de Medio Ambiente ([www.mma.es](http://www.mma.es)), de la Agencia Española de Meteorología ([www.aemet.es](http://www.aemet.es)) y de las Confederaciones Hidrográficas (por ejemplo [www.chebro.es](http://www.chebro.es)) para obtener la información hidrográfica de caudales, lluvia, estado de embalses, etc.

Para medir el esfuerzo se propone en este trabajo la métrica paso de consulta, que consiste en calcular la cantidad de pasos que realiza el usuario para llegar a acceder a la información necesaria. Se entiende un paso de consulta como una acción de búsqueda y obtención de información que incluye las fases de identificación de la fuente de información (por ejemplo la página web del Ministerio de Medioambiente), selección de las opciones adecuadas para alcanzar la información requerida, etc. hasta dar con los datos deseados, que corroboren la información mostrada en el resumen generado por VSAIH. Este proceso de búsqueda y su estimación en pasos de consulta puede además, asociarse a una métrica temporal que mida el esfuerzo en forma de tiempo consumido considerando, por ejemplo, un valor medio de tiempo para cada paso de consulta.

De acuerdo con una estimación del tiempo medio de los pasos de consulta, obtenida mediante una muestra de 40 tomas de tiempo, se obtuvo un valor de  $T = 17.22$  segundos. Con esta estimación se observa la relación entre la complejidad de los casos hidrológicos estudiados y el tiempo necesario para obtener la información que permita comprender la situación. En concreto, se puede hablar de tres tipos de situaciones y tiempos de ahorro en cada caso. Los casos se agrupan en tres tipos:

1. Situaciones de normalidad. Corresponden a situaciones en que los valores de las cantidades están dentro de rangos de normalidad, según esquemas o principios de gestión establecidos por las entidades responsables (por ejemplo las Confederaciones Hidrográficas, Defensa Civil, etc.) Ejemplo de normalidad son: no lueve, el caudal de los ríos está en los valores habituales, etc. Para este tipo de casos, el ahorro medio es de 18 minutos.
2. Situaciones de baja complejidad. Se refieren a *estados* que caracterizan situaciones hidrológicas que no alejan significativamente el estado del sistema de los objetivos de gestión o representan problemas puntuales. En estos casos el ahorro medio está entre 30 y 40 minutos, dependiendo de la cantidad de componentes del sistema que presenten alteraciones en sus estados de normalidad.
3. Situaciones de alerta. En estos casos se trata de casos complejos sobre problemas múltiples que afectan de forma más extensa, generalmente disgregados por varias regiones, como por ejemplo lluvias intensas y generalizadas en toda la península que causan inundaciones, etc. En estos casos el ahorro medio de consulta puede superar las 3 horas.

La utilidad más significativa de esta aplicación es por tanto, cuando se trata de situaciones hidrológicas de alerta, generalizadas y disgregadas por un amplio territorio.

## 4 DISCUSIÓN

En este trabajo se presenta un método para generar presentaciones multimedia de información de comportamiento de sistemas dinámicos. Los sistemas dinámicos para los que está orientada la propuesta cuentan con características que hacen difícil su observación e interpretación por medios informáticos de su comportamiento. También son sistemas gestionados para alcanzar ciertos objetivos de gestión, por lo que una acertada conclusión de su complejidad y situación en momentos clave (por ejemplo en una riada) es determinante para las personas y/o otros sistemas. Por tales razones, la generación de interpretaciones de comportamiento y explicaciones del estado de este tipo de sistemas está normalmente a cargo de equipos humanos altamente especializados y que cuentan actualmente con Centros de Control con las últimas tecnologías para dar soporte a su gestión.

Sin embargo, en situaciones críticas como puede ser presencia de huracanes, terremotos, etc. estos equipos humanos pueden ver reducida su capacidad de respuesta, gestión, etc., dada la gran cantidad de información que puede llegar a recabarse en cortos espacios de tiempo. En estos casos, puede ser conveniente contar con herramientas como VSAIH que ayuden a procesar, interpretar y resumir grandes volúmenes de datos, según objetivos prefijados. En este contexto, el trabajo presentado en este documento representa un aporte significativo en la disponibilidad de herramientas software que generan interpretaciones y explicaciones de comportamiento de sistemas físicos, basados en técnicas de Inteligencia Artificial.

Otras propuestas generan explicaciones del estado del sistema y del comportamiento causal de sistemas, como por ejemplo AGE propuesto en [7]. Sin embargo, no se ha encontrado en la literatura sistemas que expliquen el comportamiento de un sistema dinámico como es el caso de VSAIH, que combina formas de presentación para explicar el comportamiento del sistema dinámico en base a descripciones de estados y otras abstracciones como interpretaciones cualitativas de cantidades medidas por sensores o derivadas de otras interpretaciones más básicas [20].

También en relación al uso de presentaciones multimedia para generar explicaciones, existen experiencias previas como por ejemplo babytalk que genera explicaciones del estado de pacientes (recién nacidos) en terapia intensiva [13], [5] o trabajos que combinan texto con formas gráficas para informar el estado de las mareas, pero que son propuestas experimentales y se centran en sistemas limitados o simulados, a diferencia de VSAIH que está diseñado y probado de forma operativa en un sistema cambiante en el tiempo, de complejidad significativa, y que puede ser adecuado a otros sistemas con un coste computacional asumible.

#### 4.1 Aportaciones

La propuesta de representación que sirve de base a la tarea abstraer es novedosa para este tipo de propuestas y combina principios de lógica de primer orden con principios de representación semi-cualitativa y funciones en forma de predicados, lo que proporciona un lenguaje intuitivo de modelado de sistemas físicos, más cercano al personal técnico que debe en muchos casos trabajar con principios cuantitativos de representación de características de estos sistemas.

También, la propuesta de representación para el modelo de presentación permite diseñar patrones y operadores de presentación de forma sencilla, que cumplen además con objetivos de difusión de información al contar con la posibilidad de establecer precondiciones diversas (según particularidades del sistema, necesidades de información, niveles de detalle de la información, características del usuario o dispositivo de difusión de la información, etc.), y puede adecuarse a formas diversas de generar y presentar información, para acercarle a una mayor variedad de destinatarios.

Gracias a la combinación de técnicas de Inteligencia Artificial, que dan base al formalismo de representación propuesto en este trabajo, la representación aportada no es tan exigente como la requerida en sistemas de diagnóstico o simulación. Esto flexibiliza la tarea de formalización del conocimiento del sistema dinámico, que es típicamente una de las más costosas en los sistemas software de este tipo.

La idea de planificación jerárquica aplicada al problema de generación de presentaciones multimedia, resultó un método eficiente de selección inteligente de la secuencia de acciones más apropiada para alcanzar el objetivo: presentar información de comportamiento, según necesidades específicas. Los planificadores convencionales que parten de un estado inicial para llegar a un estado objetivo mediante la búsqueda de una secuencia eficiente de acciones no son viables al problema, dada la complejidad del sistema real que puede hacer crecer significativamente el espacio de búsqueda.

#### 4.2 Líneas futuras

Un trabajo futuro de corte general puede ser aplicar el modelo propuesto en dominios similares al hidrológico para generar resúmenes de comportamiento de interés en dichos dominios. Para aprovechar las potencialidades del método, los dominios en que se aplique deben estar gestionados según objetivos específicos y poseer objetivos a varios niveles de decisión. Ejemplos de casos pueden ser una red de tráfico rodado o aéreo, una red de plantas termoeléctricas, etc.

Esto es posible gracias a que el modelo propuesto es aplicable a sistemas dinámicos que se cuente con conocimiento (parcial) de su estructura y comportamiento, que dicha estructura sea estable (no variable en el tiempo) y que sean gestionados para beneficio de las personas.

De forma más concreta, los modelos de conocimiento y el método en general aquí propuestos están basados en supuestos para un tipo de sistemas dinámicos concreto, una posible mejora sería extender el método a otros tipos de sistemas (por ejemplo con estructura variable en el tiempo). También es abordable la tarea de ampliar/mejorar

los modelos de conocimiento para dar mayor cobertura al problema de generación de interpretaciones de comportamiento según objetivos o necesidades. Por ejemplo, el modelo de relevancia juega un papel de conocimiento de control en el modelo de abstracción, una mejora en el conocimiento de este modelo puede ayudar a afinar las posibilidades de abstracción de estados complejos a partir de estados simples, haciendo la tarea más específica a los procesos de toma de decisión en los Centros de Control.

En relación a la generación de textos resumen, en el presente trabajo se han usado métodos de generación de texto basados en plantillas. Esto aunque resulta adecuado para los objetivos planteados puede mejorarse aplicando técnicas de procesamiento de lenguaje natural que permitan ampliar las posibilidades de generación de los textos. Respecto a las presentaciones multimedia, en este trabajo se combinan textos con gráficos y mapas. Esta combinación está basada en patrones, un trabajo futuro sería explorar otras técnicas de generación de presentaciones multimedia o nuevas formas de presentación (como por ejemplo voz) para ampliar las capacidades de comunicación de los resultados. Esto último representa una ampliación de las estrategias de discursos que es en la práctica otra posibilidad de trabajos futuros.

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es la parte final del trabajo de Tesis Doctoral desarrollada en la Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid (FI-UPM) y financiada en los primeros cuatro años por el Ministerio de Educación y Ciencia mediante el programa de Formación de Personal Investigador (becas FPI). También gracias a mi director de Tesis D. Martín Molina González, a la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino que ha validado los resultados y a la financiación parcial del Ministerio de Ciencia e Innovación mediante el proyecto VIOMATICA (TIN2008-0583/TIN). Además agradecer la colaboración del Dr. Luís Garrote que participó como experto hidrólogo en la validación del método, y a los miembros del grupo de investigación dirigido por D. Martín Molina González en la FI-UPM, como por ejemplo Javier Sánchez por la implementación de la aplicación Web VSAIH que ayudó a la validación operativa de la propuesta, y a otros compañeros como Sandra Lima, Enrique Parodi, Alfonso Sánchez, Javier Bracicorto, María del Carmen Martín, Nuria Andrés and Sergio Gayoso que participaron en las implementaciones de las diferentes versiones del método.

## 5 REFERENCIAS

- [1] Allen J.F. "Towards a General Theory of Action and Time". *Artificial Intelligence* 23, pages 123-154. 1984.
- [2] Borst, P., Akkermans, J., Pos, A. and Top, J. "The PhysSys ontology for physical systems". In Bredeweg, B. Eds., *International Workshop on Qualitative Reasoning QR'95*, University of Amsterdam, 1, pages 11-21. 1995.
- [3] Fatudimu I.T, Musa A.G, Ayo C. K. and Sofoluwe A. B. "Knowledge Discovery in Online Repositories: A Text Mining Approach", *Journal of Scientific Research*, 22(2), pages 241-250. 2008.
- [4] Forbus K. D. "Qualitative Process Theory". *Artificial Intelligence*, 24: 85-168. 1984.
- [5] Gatt A., Portet F., Reiter E., Hunter J., Mahamood S., Moncur W. and Sripada S. "From data to text in the neonatal intensive care unit: Using NLG technology for decision support and information management". *Artificial Intelligence Communications*, 22: 153-186. 2009.
- [6] Ghallab M., Nau D. and Traverso P. "Automated Planning: Theory and Practice", Morgan Kaufmann Eds., pages 10-11. 2004.
- [7] Gonzalez-Branbila S. and Morales E. "Automatic generation of explanations: AGE". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 20(3), pages 307-323. 2007.
- [8] Gosz B. and Sidner C. "Attention, Intention and the Structure of Discourse". *Computational Linguistic*, 12(3), pages 175-204. 1986.
- [9] Gu Y. and Soutchanski M. "Order-Sorted Reasoning in the Situation Calculus". *Proceedings of the 9th International Symposium on Logical Formalization on Commonsense Reasoning*, pages 65-72. 2009.
- [10] Gruber T. and Gautier P. "Machine-generated explanations of engineering models: A compositional modeling approach". *Proceedings of the 13th International Conference on Artificial Intelligence*, pages 1502-1508. 1993.



- [11] Gruber T. R. and Olsen G. "An Ontology for Engineering Mathematics". In Proc. Of the Fourth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Morgan Kauffman, 1984.
- [12] Hovy, E. "Text Summarization", In: The Oxford Handbook of Computational Linguistics, Oxford University Press, pages 583–598. 2005.
- [13] Hunter J., Gatt A., Portet F., Reiter E. and Sripada S. "Using natural language generation technology to improve information flows in intensive care units", Proceedings of the 5th Conference on Prestigious Applications of Intelligent Systems, pages 678-682. 2008.
- [14] Iwasaki Y. and Low C. M. "Model Generation and Simulation of Device Behavior with Continuous and Discrete Changes", Intelligent Systems Engineering, 1(2), pages 121-137. 1993.
- [15] Mani I., Concepcion K. and Van Guilder L. "Using Summarization for Automatic Briefing Generation", Proceedings of the Workshop on Automatic Summarization. pages 99-108. 2000.
- [16] Mani, I. "Summarization evaluation: an overview". Proceedings of the North American chapter of the association for computational linguistics (NAACL) workshop on automatic summarization. 2001.
- [17] Mann W. and Thompson S. "Rhetorical Structure Theory: Towards a Functional Theory of Text Organization", Text journal, 8(3), pages 243–281. 1988.
- [18] Maybury M. "Automated Event Summarization Techniques". In B. Endres-Niggemeyer, J. Hobbs, and K. Sparck-Jones Eds., Workshop on Summarising Text for Intelligent Communication. 1999.
- [19] Meinke K. and Tucker J.V. "Many-sorted Logic. Its Applications". John Wiley & Sons Eds., Chichester, England. 1993.
- [20] Molina M. and Flores V. "A presentation model for multimedia summaries of behavior", in Proceedings of the International Conference on Intelligent User Interfaces, pages 291-295. 2008.
- [21] Patwardhan S. and Riloff E. "Effective Information Extraction with Semantic Affinity Patterns and Relevant Regions", Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP-07), pages 717-727. 2007.
- [22] Porter F. and Gatt A. "Towards a Possibility-Theoretic Approach to Uncertainty in Medical Data Interpretation for Text Generation". D. Riaño et al. Eds., pages 155-168. 2010.
- [23] Reiter E., Sripada S., Hunter J. and Yu J., Davy I. "Choosing words in computer-generated weather forecasts", Artificial Intelligence, 67(2), pages 137-169. 2005.
- [24] Turner R., Sripada S. and Reiter E. "Generating Approximate Geographic Descriptions", Proceedings of the 12th European Workshop on Natural Language Generation ENLG-2009, pages 121-140. 2009.
- [25] Weaver C. and Livny M. "Improving Visualization Interactivity in Java" Proceedings of the SPIE Conference on Visual Data Exploration and Analysis, pages 62-72. 2000.