

APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA GESTIÓN AVANZADA DE LA RED DE COLECTORES DE VALENCIA

Félix Francés García¹, Vicente Bellver Jiménez²

RESUMEN: La ingente cantidad de información presente en el Sistema de Drenaje Urbano de cualquier ciudad hace imposible su gestión mediante procedimientos tradicionales. Por otra parte, el mantenimiento y crecimiento de esta red consume todos los años un porcentaje apreciable del presupuesto municipal. Por ello se hace necesario la implantación de un Sistema Avanzado de Gestión que pueda "digerir" la información existente, y pueda ayudar en la priorización de las inversiones futuras en la red. El objetivo de este artículo es presentar SIRA, que es una aplicación de un SIG en la Gestión Avanzada de un Sistema de Drenaje Urbano, y que se encuentra en este momento parcialmente operativo en la ciudad de Valencia.

INTRODUCCIÓN

La correcta política, planificación y gestión de cualquier sistema urbano requiere un profundo conocimiento del mismo (Huxhold, 1991). El tamaño del Sistema de Drenaje Urbano (en adelante *SDU*) de cualquier ciudad, con cientos de kilómetros de colectores y alcantarillas y decenas de miles de pozos e imbornales, inevitablemente hace que la gestión tradicional mediante mapas en papel sea imposible (Miranda, 1995). Más aún, las inversiones necesarias para el mantenimiento y desarrollo de una red de colectores requieren altas inversiones, que no en todos los casos pueden ser asumidas por las corporaciones locales. Se hace por tanto imprescindible la puesta en marcha de Sistemas Avanzados de Gestión que sean capaces de "digerir" la ingente cantidad de información espacial relacionada con el *SDU*, de tal forma que se facilite la detección de las deficiencias existentes en la red y, por tanto, orientar en la priorización de las inversiones.

Deben ser las necesidades particulares de cada ciudad las que determinen las características de dicho sistema y su grado de aplicación. En cualquier caso, este sistema avanzado de gestión debe estar basado en tres pilares fundamentales (Gutiérrez, 1995):

Conocimiento del sistema

No es posible la gestión de un sistema sin tener un conocimiento en profundidad de sus características. El conocimiento de un *SDU* incluye por un lado las características de precipitación y usos del suelo (necesario en el ámbito de la hidrología urbana), y por otro la tipología, localización y características del estado y operación

de cada uno de los elementos que constituyen la red, desde el más simple de los imbornales hasta la más compleja estación de bombeo (necesario para su modelación hidráulica).

Modelación

Un conocido refrán entre los modeladores es el de "rubbish in, rubbish out". El conocimiento profundo expresado en el párrafo anterior posibilita una correcta modelación del *SDU*, de tal forma que si el gestor puede conocer como opera la red de colectores en cada punto para diferentes escenarios de precipitación, el planificador podrá mejorar sus actuaciones y planes de inversiones. En este sentido es necesario la utilización de modelos adecuados y perfectamente calibrados, de tal forma que sus resultados reflejen con precisión la situación real.

Control en Tiempo Real

Los *SDU* tradicionalmente son sistemas pasivos, en los que las descargas al medio receptor se producen descontroladamente. Dado el impacto ambiental de estas descargas, uno de los objetivos de un Sistema de Control en Tiempo Real debe ser la minimización de las mismas (Schilling et al. 1989, Malgrat, 1995). El conocimiento previo del *SDU* y el uso de modelos que representen adecuadamente el funcionamiento del sistema serán piezas básicas de este control.

EL SISTEMA TURIA

La puesta en marcha de un Sistema Avanzado de Gestión del *SDU* de una ciudad de tamaño medio o superior requiere un esfuerzo importante tanto de recopilación

¹ Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia. Apdo. 22012, 46071 Valencia
e-mail: ffrances@hma.upv.es

² Oficina Técnica de la Contrata de Gestión y Mantenimiento del Alcantarillado de Valencia (Cubiertas y MZOV.).

de la información como de desarrollo del sistema. Valencia, una ciudad costera de 800.000 habitantes, ha aceptado este reto mediante la colaboración entre el Ayuntamiento, la Universidad Politécnica y la empresa Cubiertas y MZOV (adjudicataria del mantenimiento del *SDU* de la ciudad). El sistema que se está desarrollando se ha denominado *TURIA*. *TURIA* se encuentra dividido en tres subsistemas que se corresponden con los pilares básicos mencionados anteriormente: un subsistema de información (denominado *SIRA*), otro de modelación (*SIMO*) y por último un subsistema de control (*SICON*). El orden en el que los tres subsistemas se han enumerado se debe corresponder con su puesta en marcha en orden cronológico. El primer paso tiene que ser la recopilación de toda la información del *SDU* y el desarrollo del sistema que la gestione. En un segundo paso se pueden implementar los modelos matemáticos que simulen adecuadamente el comportamiento del *SDU*. Por último, una vez conocida la red y su funcionamiento, y siempre y cuando existan elementos de control (como compuertas o depósitos) se puede plantear la optimización de las variables de decisión durante cada tormenta tratando de minimizar alguna función objetivo (habitualmente las descargas contaminantes).

En la actualidad, el *SIRA* de la ciudad de Valencia está completamente desarrollado y en fase de toma de datos de campo en lo que concierne a la red de alcantarillado. Este proceso de recopilación de información finalizará en 1997, quedando en ese momento plenamente operativo el sistema. Las características de la precipitación se condensan en el cálculo de las curvas *IDF* y en los chaparrones de diseño, obtenidos previamente (*DIHMA*, 1986) y recopiladas en la normativa vigente para el dimensionamiento del alcantarillado de la ciudad (Ayto. de Valencia, 1995). A continuación nos centraremos en la descripción del *SIRA*.

EL SISTEMA DE INFORMACIÓN SIRA

La gestión de la información referente a un *SDU* necesita la utilización de una base de datos que permita almacenar, actualizar y explotar toda la información gráfica, alfanumérica y relacional asociada a la red. En la actualidad existe un software que cumple las condiciones expuestas: son los Sistemas de Información Geográfica (Ellis y Marsalek, 1996). Los *SIG* son bases de datos que mantienen en todo momento la información referenciada espacialmente, lo que los convierte en herramientas muy potentes para llevar a cabo cualquier análisis espacial como el que nos ocupa. Desde un punto de vista genérico, las cualidades de un sistema como el *SIRA* basado en un *SIG* son su versatilidad (lo que le permite adaptarse a las nuevas necesidades que puedan surgir en el futuro), y su potencia para manejar una gran cantidad de información.

El *SIRA* es la herramienta básica en las labores de gestión diaria del *SDU* de la ciudad. Por medio del *SIRA* se pretende realizar una gestión globalizada de la red de alcantarillado, uniendo en todo momento la información cartográfica con los atributos alfanuméricos recogidos en la base de datos. De esta forma se dispone de un sistema que logra la organización e integración tanto horizontal (mapa continuo) como vertical (superposición de capas) de la información. La estructura del *SIRA* puede verse de una forma esquemática en la *Figura 1*. A la vista del esquema, los componentes del *SIRA* son los siguientes:

- **Datos:**

Una única Base de Datos conteniendo información gráfica, tabular y relacional. Los datos son compartidos por todos los usuarios del sistema.

- **Administrador del Sistema:**

ArcInfo es el *SIG* sobre el que se ha implantado el *SIRA*. Precisa de un equipo informático de gran potencia con

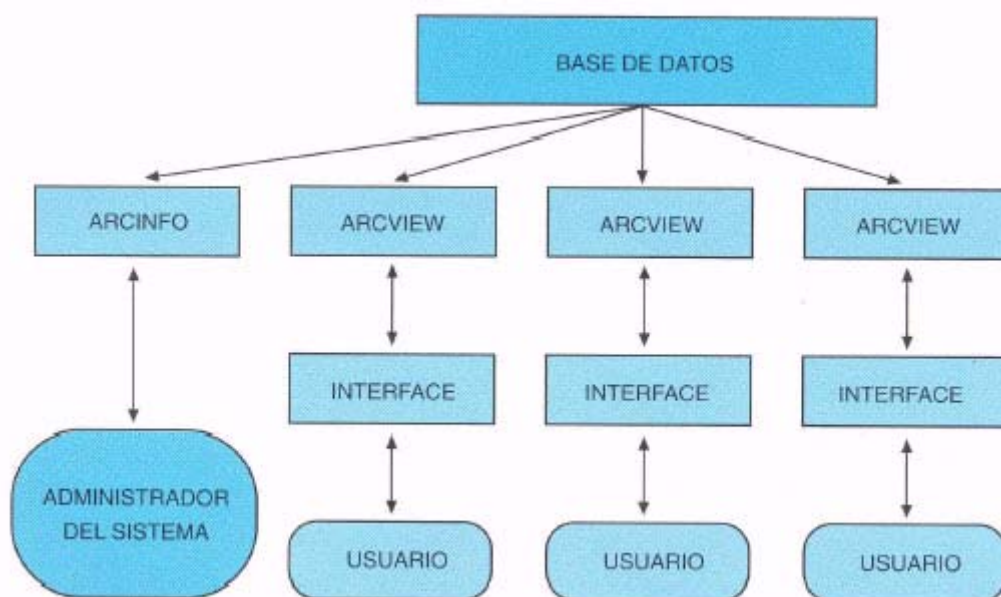


Figura 1

sistema operativo Unix. Desde este puesto de trabajo se puede realizar cualquier tipo de modificación de la Base de Datos, por lo que únicamente es accesible para el personal especializado encargado del mantenimiento de la información.

• *Usuarios:*

Son los puestos de trabajo desde los que se realiza la explotación de las funcionalidades del *SIRA*. Cada uno de estos puestos de trabajo se implementa sobre un PC de características adecuadas, existiendo diversos niveles de acceso a la información. El *SIG* que utilizan los usuarios para acceder a la Base de Datos es *Arcview*. Sólo pueden modificarse determinadas tablas de atributos, mientras que las modificaciones de la información gráfica deberán realizarse directamente desde *ArcInfo*.

• *Interface de Usuario:*

Es la forma amigable que adopta *Arcview* como medio de comunicación entre el operador y la Base de Datos.

Para llevar a cabo este proyecto, el elemento crítico es la información sobre la red. Es necesario disponer de datos de colectores, alcantarillas, pozos de registro, imbornales y todos aquellos elementos que componen el *SDU* de la ciudad. Esto plantea graves problemas debido a la variedad de información que es necesario recopilar de forma coherente y lógica para que pueda ser consultada de forma sencilla por el usuario.

Por otro lado, la concepción de la base de datos como un elemento fácilmente actualizable permite incluso la total funcionalidad del sistema aunque no esté introducida toda la información, de manera que conforme ésta esté disponible, la base de datos vaya siendo actualizada. De esta forma el sistema está operativo desde el momento en que se introdujo el primer dato, y no al finalizar la tarea de recopilación de información; tarea que por otro lado no tiene un punto final en el tiempo, ya que la red de cualquier ciudad sufre continuas modificaciones y ampliaciones.

LA BASE DE DATOS

El corazón del *SIRA* es la base de datos, en la cual reside toda la información del *SDU* de una forma estructurada y coherente para que pueda ser realizada cualquier consulta de manera sencilla, rápida y eficiente (Burdons *et al.*, 1995). Dicha información está estructurada en tablas, las cuales están relacionadas por medio de la arquitectura que proporciona el *SIG*: bien con la información gráfica referenciada geográficamente, o bien con otras tablas que a su vez están relacionadas con los elementos gráficos.

Dentro de la base de datos es necesario crear una cobertura o capa que recoja cada uno de los elementos que componen la red de drenaje. Estas coberturas recogen tanto la información gráfica como la información alfanumérica asociada contenida en las tablas de atributos correspondientes.

Todas las tablas, y por tanto las coberturas, quedan unidas íntimamente entre sí gracias a la estructura relacional que proporcionan los *SIG*. Esta estructura relacional permite trabajar conjuntamente con elementos de la red de tipología distinta (por ejemplo, al seleccionar un colector se seleccionan automáticamente sus pozos de registro) gracias a una codificación única de cada colector que se repite en todos los demás elementos de la red que se relacionan con el mismo (pozos, compuertas, imbornales, etc.).

Se han clasificado todos los posibles elementos de una red de alcantarillado en tres categorías: lineales, puntuales y espaciales. Veámoslos en detalle.

Elementos lineales

Se consideran como elementos lineales aquellos que pueden ser representados de forma abstracta por una línea dentro de la cartografía digitalizada:

- El principal elemento lineal es, lógicamente, el colector o alcantarilla. Realmente se ha diferenciado entre tramo de colector y colector. Se considera como tramo de colector el limitado por dos pozos de registro, mientras que un colector queda definido por la unión de tramos consecutivos con un mismo código de colector. Los colectores sirven para definir subjetivamente las grandes cuencas vertientes de la ciudad y han sido definidos previamente por el ayuntamiento.

La información que se recoge en la base de datos para cada tramo de colector es la siguiente:

- Código de colector.
- Tipo de tramo (uniforme o transición).
- Longitud.
- Cotas de inicio y final del tramo.
- Pendiente.
- Tipo de conducción (de aguas negras, de pluviales o unitaria)
- Sección (circular, rectangular o irregular). Para secciones irregulares se acompaña su descripción.
- Altura y anchura máximas de la sección.
- Material y número de Manning asociado a dicho material.
- Caudal en régimen uniforme y a sección llena.
- Imagen asociada para secciones irregulares.
- Acequias: Son conductos destinados al transporte de agua de riego, pero dado que la ciudad ha crecido por encima de la huerta de su entorno, existen en la actualidad interferencias entre la red de riegos y la de drenaje, por lo que se hace necesario el tratamiento conjunto de ambas redes.

Otros elementos lineales que igualmente se incluyen en el *SIRA* son los sifones y emisarios submarinos.

Elementos puntuales

Se entiende por elemento puntual aquel que puede ser representado gráficamente en los planos por un punto.

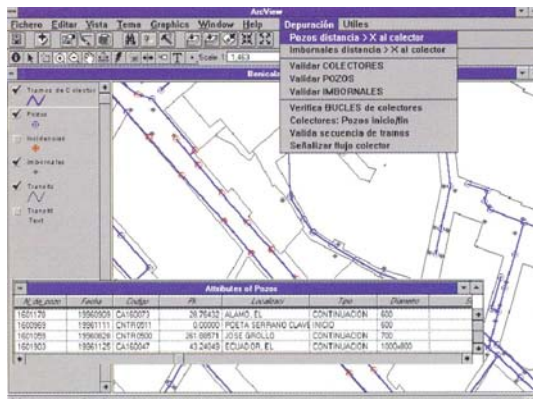


Figura 2

Existen dos elementos puntuales de especial importancia dentro de la red de saneamiento, debido principalmente al número de unidades existentes. Se trata de los imbornales y los pozos de registro.

- Los pozos de registro son elementos que se colocan en los cambios de dirección, pendiente o sección de los conductos, facilitando el acceso a las tuberías para su limpieza, inspección o mantenimiento. La información existente en la tabla de atributos asociada es la siguiente:
 - Código de colector.
 - Localización (nombre de la calle en la que está situado).
 - Tipo de pozo (existencia o no de un cambio de sección).
 - Diámetro de la trapa y dimensiones interiores.
 - Cota de la trapa y profundidad del pozo.
 - Altura de sedimentos.
 - Existencia y material de los pates.
 - Número de acometidas que recibe.
 - Imagen asociada para cada tipo de pozo.
- Los imbornales y sumideros son los elementos de recogida de las aguas pluviales. Se sitúan en aquellos puntos de la calzada o vial que permitan interceptar de forma más rápida y eficientemente las aguas pluviales de escorrentía. Su importancia no sólo radica en la definición del caudal de lluvia que puede entrar en la red, sino también por que en ciudades llanas como Valencia, son el elemento de definición de la cuenca de drenaje a cada tramo de colector. La información que se recoge en la base de datos a nivel de imbornales es la siguiente:
 - Código de colector.
 - Localización (nombre de la calle).
 - Número del tramo o del pozo al que se vierte.
 - Tipo de imbornal.
 - Imagen asociada para cada tipología.

Otros elementos puntuales que quedarán igualmente recogidos en la base de datos del SIRA son las compuer-

tas, estaciones de bombeo, aliviaderos, etc. Además, con representación mediante un polígono dado su tamaño tenemos los depósitos, estructuras de regulación y las depuradoras.

Características espaciales

Son aquellas propiedades del territorio que tienen una distribución en el espacio. Dado que la variabilidad de las mismas es discontinua, su representación en el SIRA es mediante polígonos.

- Subcuencas vertientes.

Por medio de la delimitación de las subcuencas vertientes de la ciudad se pretende determinar qué área de la ciudad es drenada por un determinado conducto.

- Tipos de suelo.

Se trata de una nueva cobertura de polígonos que cubre por completo el término municipal de la ciudad y en la que se recoge el tipo de suelo existente con el fin de evaluar la escorrentía, adoptándose la clasificación de la normativa del ayuntamiento de Valencia (1995). En la Figura 2 adjunta puede observarse la división del territorio en función del tipo de suelo, distinguiendo entre edificado, jardín o parque y viario.

- Área regada por cada acequia principal.

De esta forma podrá realizarse un control de los ramales de acequia existentes en la ciudad y de los terrenos de cultivo que se riegan a través de los mismos, precediéndose a su desconexión conforme vayan urbanizándose los terrenos regados (DIHMA, 1994).

Otras capas de información

A las coberturas propias de la red de drenaje, hay que añadir otras que contienen la cartografía de la ciudad a diferentes escalas y que quedan como fondo de referencia al visualizar y obtener planos de la red. Para la visualización general se utiliza un esquema de la ciudad a escala 1:10.000, mientras que para visualizaciones de mayor detalle se activan las coberturas de manzanas y nombres de calles.

Además, se dispone de otras capas de información que pueden ser activadas, como son la de curvas de nivel, usos del suelo, riesgos de inundación, infraestructuras lineales, etc.

RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Aunque existe la posibilidad de recopilar información de gabinete procedente de diversas fuentes (bases de datos en soporte informático o listados en papel, mapas del SDU de la ciudad, proyectos de construcción, planos y croquis procedentes de las brigadas de inspección o limpieza, etc.), debido a las dificultades que han aparecido, se ha hecho necesario realizar una toma de datos de campo por medio de técnicas topográficas con el fin de localizar espacialmente y describir completamente todos y cada uno de los elementos que componen el SDU de la Ciudad de Valencia. Para tener una

idea del orden de magnitud del esfuerzo que se está realizando, el presupuesto para esta toma de datos es de cerca de 100 millones de pesetas, siendo su duración prevista de dos años.

Tanto la información gráfica referenciada espacialmente como los datos asociados a dichos elementos gráficos en forma de atributos deben ser chequeados, analizados, tratados y finalmente incorporados correctamente al *SIRA* de forma que puedan ser utilizados con total confianza por parte del usuario. La introducción de datos deberá ser por tanto un proceso sistemático para que las posibilidades de aparición de errores sean mínimas. Además, es necesario el control a posteriori de la información introducida. Para facilitar este proceso, la ciudad ha sido dividida en 20 distritos. El objetivo de calidad propuesto es que como mínimo el 90% de la información esté libre de errores en cada distrito (porcentaje que se eleva dependiendo del tipo de dato), siendo el tamaño de la muestra de datos de campo a controlar de al menos el 1% de la información total. Los aspectos más importantes del control de la información de la base de datos son:

- *Pendientes.*

Dada la importancia de la pendiente de los colectores en una ciudad llana como Valencia, el error admitido en la obtención de las cotas de las trapas de los pozos de registro es de 1 cm cada 100 m, de tal forma que se garantice la precisión de la diezmilésima en la determinación posterior de la pendiente superficial. En cuanto a las profundidades el error máximo admitido es de 5 cm, lógicamente mayor puesto que se obtiene mediante la introducción de una mira dentro del pozo.

- *Disposición en planta.*

En cuanto a la planta, el error admitido es mayor (10 cm), ya que basta con que se obtenga un buen encaje de la red entre las manzanas de la ciudad, que sirven de base de referencia y que fueron suministradas por el Servicio de Urbanismo del ayuntamiento.

- *Conectividad.*

No pueden existir elementos sueltos (imbornales, pozos, tramos de colector, etc.) ni bucles en la red salvo justificación, aunque se admite un 5% de errores de conectividad respecto del total de pozos.

- *Coherencia.*

Mediante la realización de histogramas y búsquedas en cada campo de la base de datos, se controla la existencia de valores irreales, como por ejemplo pendientes negativas, pozos con profundidades excesivas, colectores de diámetros mínimos, etc.

LA INTERFACE DE USUARIO

En nuestro caso, la interface es el medio por el cual el usuario se comunica con la base de datos del *SDU*. Por otra parte, una interface debe facilitar la toma de decisiones presentando la información necesaria y suficiente en el formato adecuado (Labadie y Sullivan, 1986).

A pesar de la amigabilidad de las últimas versiones de cualquier *SIG* comercial, puede ser difícil trabajar directamente con las herramientas que éstos proporcionan para aquellos usuarios que no son expertos en *SIG* o en bases de datos (que son en la práctica la mayoría). El resultado es que es necesario desarrollar interfaces específicas para cada aplicación de un *SIG*.

La interface de *SIRA* se está desarrollando en lenguaje Avenue del *SIG Arcview*, que es una versión simplificada de ArcInfo. El aspecto general de la versión operativa en estos momentos se presenta en la *Figura 3*, pudiéndose destacar la anulación de algunos botones y menús propios de *Arcview* y la aparición de otros nuevos relacionados con *SIRA*.

La función fundamental de *SIRA* es la gestión de la información, siendo misión de su interface la simplificación y automatización de las tareas más habituales. Estas tareas pueden agruparse en los siguientes apartados:

- Búsquedas e impresión de datos para informes, estadísticas o para alimentar modelos de simulación. En este último caso, la información requerida es toda la que se encuentra aguas arriba de un punto determinado de la red.
- Generación de mapas automática, generales de la ciudad o de una parte de ella.
- Control y depuración de errores en la base de datos, como puede ser la comprobación del completado de la base de datos, la conectividad de la red, o la existencia de datos poco razonables. Normalmente estas tareas de control son propias del administrador del sistema y no de cualquier usuario.

Hay que decir que, aunque ya existe una versión operativa, el desarrollo de la interface se encuentra en constante evolución para adaptarse a las nuevas necesidades que se presentan en cada momento, tanto en la estructura de la base de datos como de las tareas encomendadas.

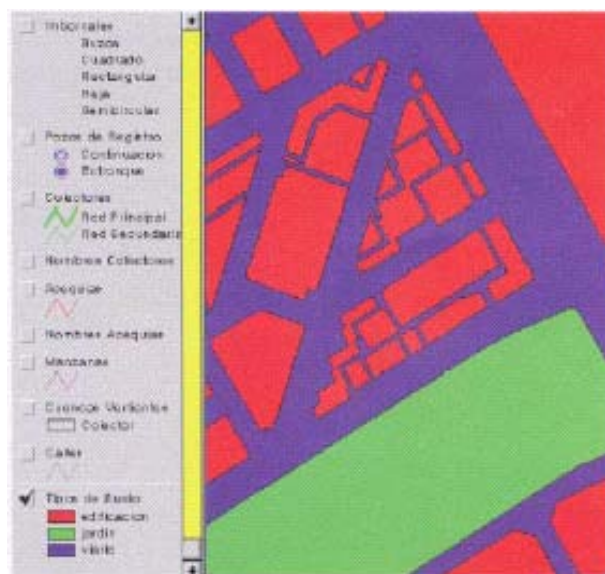


Figura 3

CONCLUSIONES

Si queremos un funcionamiento homogéneo del *SDU* (es decir, un mismo nivel de protección contra la inundación en toda la ciudad) y una gestión óptima del mismo, es imprescindible el conocimiento adecuado de todo el sistema. La información necesaria no sólo se refiere a la red de drenaje, sino que también debe incluir el conocimiento de la superficie donde se genera la escorrentía y las características de la precipitación. Desafortunadamente la cantidad de datos en un *SDU* es tan grande que se hace imposible la simple gestión de la información por métodos tradicionales. Por poner el ejemplo de una solicitud muy habitual en cualquier servicio de alcantarillado, es muy costoso por el método tradicional suministrar el mapa actualizado del *SDU* de una calle en particular, necesario para la realización de unas obras de excavación o de conexión a la red de alcantarillado.

En este artículo se ha presentado la estructura de un Sistema Avanzado de Gestión de un *SDU* fundamentado en su conocimiento, modelación y control. Dado el carácter espacial de un *SDU*, el subsistema de información de Valencia (denominado *SIRA*) se basa en las posibilidades que aporta un *SIG* de tipo vectorial como es ArcInfo. La información que gestiona *SIRA* se puede agrupar en tres categorías:

- Elementos lineales
(habitualmente colectores y acequias)
- Elementos puntuales
(fundamentalmente pozos e imbornales)
- Elementos espaciales
(normalmente tipo de superficie).

Al menos en el caso de la ciudad de Valencia, ha sido imposible construir la base de datos de *SIRA* a partir de la información preexistente en el ayuntamiento, debido a su dispersión, la presencia de errores y no ser completa en toda la ciudad. Por ello ha sido necesario recurrir a una toma de datos en campo, con una duración total prevista de dos años. En cualquier caso, es muy importante un control de la información introducida, especialmente en lo que concierne a la conectividad de la red y, en el caso de una ciudad llana, a las pendientes de los colectores.

Si se quiere que el empleo de *SIRA* se extienda al mayor número de usuarios dentro del ayuntamiento de la ciudad y que se facilite la toma de decisiones de los responsables de la gestión y planificación del *SDU*, es imprescindible la existencia de una interface que facilite el acceso de éstos a la base de datos.

La interface de *SIRA* se ha desarrollado en una versión simplificada de ArcInfo denominada *Arcview*.

Por último no hay que olvidar que la finalidad de un Sistema Avanzado de Gestión como *TURIA* no es el desarrollo del mismo, sino que su objetivo fundamental es la optimización tanto de la gestión del *SDU* actual como de las inversiones a realizar en el futuro para la mejora y ampliación de la red.

REFERENCIAS

- Ayuntamiento de Valencia, (1995) Manual de normalización de los elementos de saneamiento de la ciudad de Valencia. 131 pp.
- Burdons, S., Y. Sans y A. Morraja, (1995) *Sistemas de Información Territorial del alcantarillado de Barcelona*. Mapping, marzo, 75-83.
- DIHMA (Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia), (1986). Informe sobre las propiedades y estructura de las precipitaciones extremas en Valencia. Ayuntamiento de Valencia, 345 pp.
- DIHMA, (1994) Plan de Reestructuración de las redes de riego y reutilización de aguas residuales en la Huerta de la Ciudad de Valencia. Conselleria de Agricultura de la Generalitat Valenciana, pp 72.
- Ellis, J. B. y J. Marsalek, (1996) *Overview of urban drainage: environmental impacts and concerns, means of mitigation and implementation policies*. Journal of Hydraulic Research. 34 (6), 723-731.
- Gutiérrez, L.A., (1995) *Control de la polución pluvial urbana. Un nuevo reto en la protección medio-ambiental*. Tecnología del Agua, sep., 49-57.
- Huxhold, W.E., (1991) *An introduction to urban geographic systems*. Oxford University Press, 337p.
- Labadie, J. W., y C. Sullivan, (1986) *Computerized Decision Support Systems for Water Managers*. Jour. of Water Res. Planning and Management, ASCE, 112(3), 299-307.
- Malgrat, P. (1995) *Control de la contaminación producida por las descargas de sistemas unitarios de alcantarillado*. O.P. revista del colegio de ICCP, 33.
- Miranda, A., (1995) *El saneamiento urbano: la nueva frontera tecnológica en el sector del agua*. O.P. revista del colegio de ICCP, 31, 66-73.
- Schilling, W. et al. (ed.), (1989) *Real Time Control of Urban drainage Systems*. The State of the Art. Pergamon Press.