

Desarrollo de Plataforma de Supervisión para Cuencas Hidrológicas

Miriam López, Carmen de Miguel, Ricardo Campiñez y Esther Manchado. Telvent

Introducción

El desarrollo de las Tecnologías de la Información y su aplicación a los sistemas de gestión de recursos hídricos ha supuesto un avance considerable para la previsión de operaciones y anticipación de fenómenos adversos dentro de las cuencas hidrográficas. Los Sistemas de Ayuda a la toma de Decisiones (SADs) combinan la información en tiempo real con herramientas de predicción y simulación, para generar estimaciones con las que planificar operaciones complejas y hacer frente a eventos extraordinarios como las crecidas de los ríos. En España, la Dirección General del Agua y los responsables autonómicos están impulsando la implantación de estos sistemas en aquellas Confederaciones Hidrográficas y Agencias del Agua en las que aún no existen herramientas similares. En el ámbito internacional, tanto en países de la UE como fuera de nuestro entorno cercano, existe una demanda creciente de la instalación de aplicaciones de predicción y gestión de riesgos en Hidrología (CE 2004, Celis. 2005).

En este artículo se presenta el desarrollo de una plataforma para la supervisión de cuencas hidrológicas realizado por Telvent y su aplicación a la previsión de avenidas en una zona del distrito hidrográfico del Guadalquivir de la Agencia Andaluza del Agua (AAA). El proyecto, que ha contado con la participación del Grupo de Investigación Aplicada en Hidrometeorología de la Universidad Politécnica de Cataluña (GRAHI-UPC) y la colaboración de la Universidad de Córdoba, constituye un primer paso en el desarrollo de un sistema integrado de gestión hidrológica experta. El presente artículo se centra en los criterios de diseño del sistema y la integración de las diferentes aplicaciones dentro de su arquitectura. Muestra también algunos resultados obtenidos en el seguimiento de episodios extraordinarios ocurridos en la cuenca en Diciembre de 2009.

Sistemas de Ayuda a la Decisión

Un SAD es un conjunto integrado de aplicaciones que asiste a los gestores de sistemas complejos en la interpretación de los datos disponibles utilizando modelos matemáticos para resolver problemas. En general, un SAD para Hidrología está formado básicamente por modelos hidrológicos e hidráulicos, sistemas de información geográfica (SIG) y herramientas para la presentación de resultados y generación de alarmas. Además, es necesario incorporar un módulo de información hidrometeorológica, para el procesado de datos en tiempo real junto con información de modelos de previsión, de forma que el sis-

tema pueda anticiparse a las crecidas y estimar sus consecuencias. Por último, resulta fundamental disponer de aplicaciones de visualización de fácil manejo y rápida interpretación, para facilitar la comunicación y divulgación de los resultados.

La integración de datos de lluvia procedentes de radares meteorológicos proporciona un grado de detalle espacial que no se alcanza con las redes de pluviómetros, si bien carece generalmente de la exactitud de estas medidas locales. Mediante la combinación de ambas fuentes de información es posible discretizar la lluvia caída en un territorio, obteniendo datos de alta resolución espacial y fiabilidad contrastada. (Sun 2000, Sánchez-Diezma 2004).

En cuanto a los modelos hidrológicos, los de tipo distribuido aportan mayor precisión en la simulación de los procesos de cuenca que los tradicionales modelos agregados. Dado el uso operacional de los modelos dentro de un SAD, es necesario buscar modelos de alta capacidad de procesado y pocos parámetros, para poder realizar ajustes de forma rápida y sencilla (Aldana 2002, Singh 2002, Uhlenbrook 2003, Carpenter 2006).

Proyecto THMDT

El objetivo del proyecto THMDT (*Telvent Hydro-Met Decision Tool*) de Telvent ha sido el desarrollo de una plataforma de software abierta y modular como primer paso en la construcción de un SAD para hidrología, capaz de incorporar diferentes herramientas y aplicaciones para dar previsiones de alerta con alto grado de detalle espacial.

Dentro de este objetivo general, se han definido una serie de objetivos particulares, entre los que pueden citarse: la utilización de información de lluvia de radar meteorológico, la incorporación de modelos distribuidos y el empleo de herramientas de software libre.

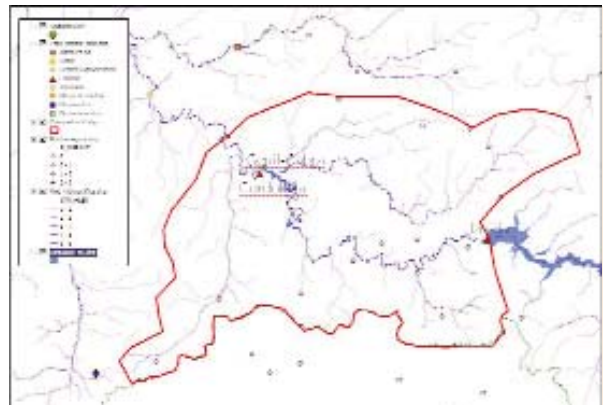


Figura 1. Cuenca del Medio Genil. Puntos de control SAIH

Se ha escogido como cuenca piloto la Cuenca Media del Genil, de unos 1.300 km² aproximadamente, perteneciente a la Cuenca del Guadalquivir, y que cuenta con algunos municipios especialmente sensibles a los problemas de inundaciones, como Puente Genil o Palenciana (Junta de Andalucía 2004).

Diseño de un SAD de arquitectura abierta

Los criterios planteados para el diseño de la plataforma THMDT de Telvent pueden resumirse en el siguiente punto: Integración de software libre de modelización y representación, con conexión de aplicaciones externas y algoritmos de procesado. En la siguiente figura se puede ver el esquema general del sistema.

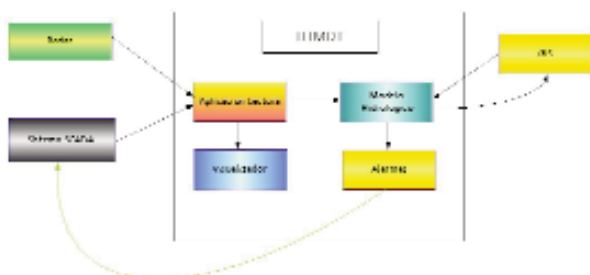


Figura 2. Módulos de THMDT (Aplicación de Lectura de datos, Visualizador de Mapas de Lluvia, Modelos Hidrológicos y Gestor de Alarmas) y aplicaciones externas/Fuentes de datos: (Datos del radar, SCADA y GIS)

Como se observa, el sistema toma información de distintas fuentes externas, como radar, SIG y sistemas de control (SCADA) y devuelve cierta información para ser usada, como por ejemplo información al SIG o al SCADA.

Al ser éste un proyecto de desarrollo, dentro del sistema se han intentado incorporar al mismo tiempo una gran diversidad de aplicaciones, para comprobar la correcta integración de éstas. Por ejemplo, la aplicación de lectura de datos y procesado de información se está ejecutando en un modelo de software libre, usando Linux como sistema operativo, y haciendo uso de aplicaciones *open source*. Por otro lado, el visualizador de datos de alarmas se ha realizado sobre plataforma *Windows*, también siguiendo el modelo de *open source*. Además se han realizado pruebas con aplicaciones de terceros, como es *GoogleEarth®* de Google, consiguiéndose representar los datos también en este programa.

Información hidrometeorológica

La información hidrometeorológica empleada en el proyecto THMDT comprende datos en tiempo real recogidos en el sistema SCADA OASyS de la AAA, datos de las EMAS de AEMET y datos de radares meteorológicos.

Respecto a esto último, se ha empleado el producto RAIN1, que contiene la precipitación acumulada en 1 hora para la composición nacional de la red de radares que AEMET facilita a la AAA.

Los datos pluviométricos que alimentan el sistema en tiempo real son el resultado de una combinación entre datos de pluviómetros y datos radar. En el proyecto se ha adaptado y validado el método de inserción condicional o *conditional merging* que, sin ser tan sofisticado como las técnicas de cokrigado, se puede usar en una red de pluviómetros poco homogénea y no densa. El método fue propuesto por Sinclair y Pegram (2005) para campos de lluvia, siendo su principal ventaja el que preserva las medidas puntuales de los pluviómetros a la vez que conserva la variabilidad espacial de los campos de lluvia radar.

Modelos hidrológicos

En el proyecto se ha integrado el modelo hidrológico KINEROS2, de la Universidad de Arizona (Woolhiser, 1990) y el USDA – ARS. *SW Watershed Research Center*. KINEROS es un modelo determinístico de eventos aislados, muy apropiado para la simulación de generación de escorrentía en cuencas semiáridas, como la de la zona de aplicación de este proyecto (Michaud 1994, Moral 1995, Lange 1999). Para iniciar las ejecuciones de KINEROS con datos correctos de humedad del suelo (SA) se ha utilizado el modelo THOMA (de Haro 2000), basado en el modelo de Thornthwaite y Mather (Steenhuis, 1986) y en el cálculo de la evapotranspiración mediante la fórmula de Hargreaves.

Las simulaciones se han planteado para un funcionamiento del sistema en modo continuo, con cálculos de balance diario con el modelo THOMA en tiempo seco y ejecuciones de KINEROS para los episodios de lluvia, utilizando los datos de la combinación radar-pluviómetro. Para la caracterización hidrológica de la cuenca, se ha procesado la información SIG existente mediante la aplicación AGWA (*Automated Geospatial Watershed Assessment*,

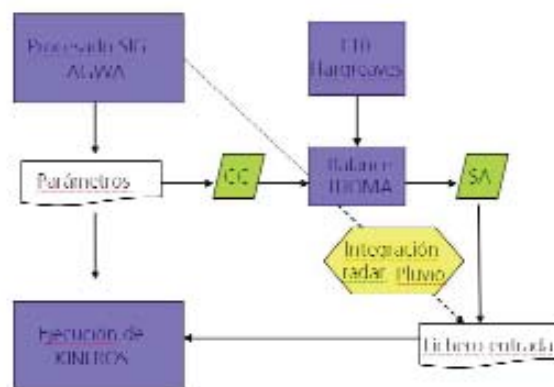


Figura 3. Integración de aplicaciones del módulo de simulación de THMDT

Scott y col., 2006), desarrollada por el *U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service*, en colaboración con la Oficina de Investigación y Desarrollo de la *U.S. EPA* (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). En la Figura 3 se puede ver el esquema seguido para la integración de las aplicaciones de simulación hidrológica.

Explotación de resultados

Para la presentación de los resultados de simulación, se ha creado una aplicación sobre el software libre *MapWindows*. El visor de resultados permite realizar un estudio visual de un episodio de lluvia, mostrando los datos de precipitación por subcuencas y las diferentes variables calculadas por el modelo hidrológico KINEROS: escorrentía en subcuencas y caudal punta en los cauces.

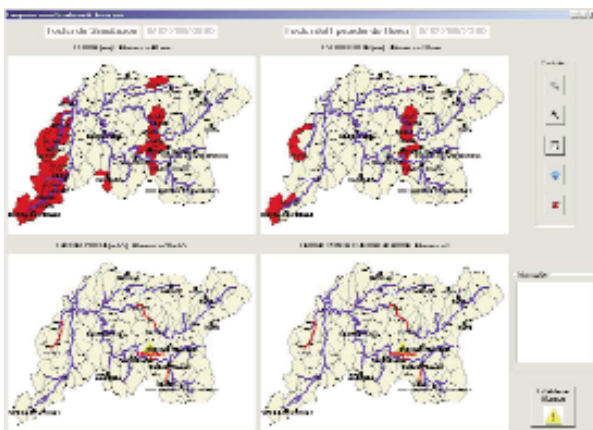


Figura 4. Visor GIS de THMDT: resultados de simulación hidrológica con alarmas (lluvia/escorrentía, caudales punta y alarmas en color rojo).

La aplicación permite configurar una serie de alarmas por lluvia y superación de caudal, indicando automáticamente las poblaciones posiblemente afectadas.

Las capas de la aplicación SIG se pueden exportar a Google Earth para su representación en este entorno web. También es posible visualizar el resultado de la combinación de lluvia radar-pluviómetro en el software Google Earth, pudiendo combinar la animación de precipitación con la generación de alarmas obtenida de la salida del modelo hidrológico. (ver Figuras 5)

Resultados

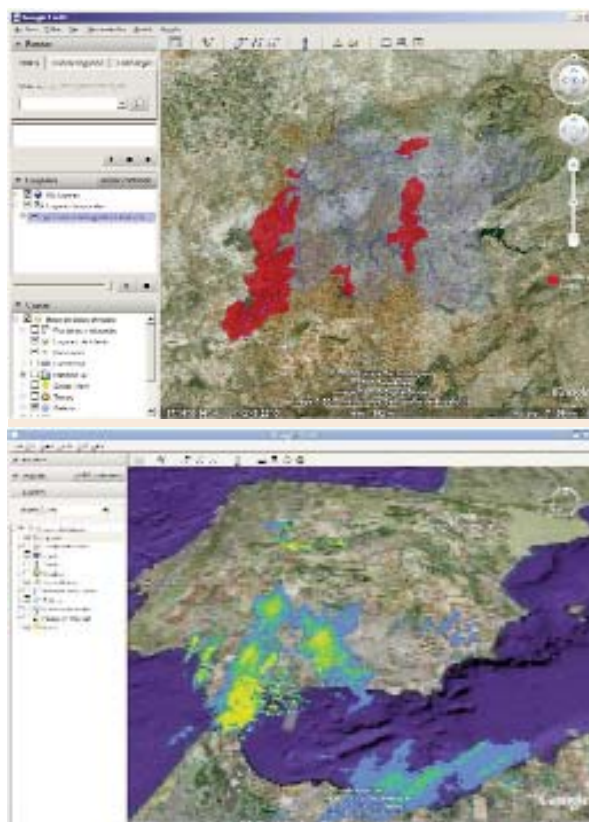
El sistema THMDT se ha validado para el cálculo y la circulación de escorrentía en la cuenca media del Genil, perteneciente a la cuenca del Guadalquivir. Se han analizado episodios de lluvia correspondientes al periodo Diciembre 2009-Marzo 2010, especialmente significativo por la ocurrencia de precipitaciones no tan intensas como continuas, que han acumulado unos 560 mm en 2 meses y medio. Esta perseverancia en la precipitación, junto con la

colmatación del cauce del río Genil, ha causado inundaciones y otros problemas derivados en diversos municipios del área de estudio.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el episodio del 21 al 24/12/2009. Durante este evento de lluvia se registraron 97 mm en 89 horas, siendo esta precipitación suficiente para que el caudal en el río Genil superase el umbral establecido como prealerta en el sistema, 90 m³/s, que corresponde a aproximadamente 10 veces el caudal normal en esta época del año. En la Figura 7 se puede ver el hietograma registrado en la cuenca piloto para el episodio en cuestión, así como los caudales observados y modelados.

Como se observa en la Figura 6, el caudal punta calculado por el sistema y el observado por el SAIH coinciden en tiempo, cantidad y forma, con un error de caudal punta del 0,13%, dando pues el sistema resultados satisfactorios para su fin último, que es la detección de caudales punta para la generación de alarmas y previsión de avenidas.

El error de forma en el hidrograma completo no pasa desapercibido, esto se debe principalmente a que los datos SAIH no son datos procedentes de un aforo en río sino de valores de desembalsado de un embalse, Cordobilla. Este embalse, aunque es de tipo fluyente, tiene cierta capacidad de regulación, motivo por el que existen esas diferencias de forma tanto en las curvas de crecida como en la de descenso en los hidrogramas comparados.



Figuras 5. Visor *Google Earth* de THMDT: mapas generados de escorrentía (arriba) y de lluvia (abajo)

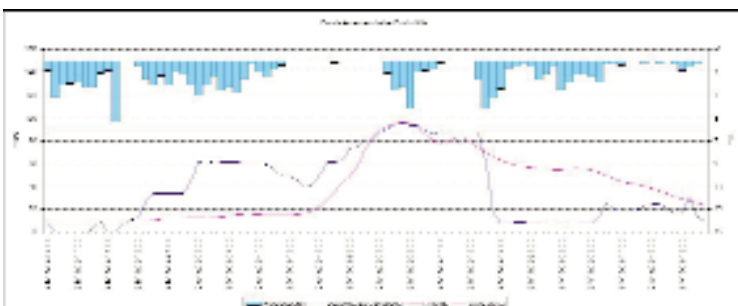


Figura 6. Visor GIS de THMDT: resultados de simulación hidrológica con alarmas (lluvia/escorrentía, caudales punta y alarmas en color rojo).

Conclusiones

THMDT ha constituido el primer paso en el desarrollo de un SAD para Hidrología de Telvent. Se ha diseñado un sistema de arquitectura abierta para permitir la incorporación en el futuro de diferentes aplicaciones de modelización, entrada de datos y presentación. En general, se han obtenido resultados satisfactorios no sólo en lo referente a datos y parámetros hidrológicos, sino también por la obtención de una herramienta de fácil manejo por el usuario, comprensible y visual.

Puede concluirse en primer lugar que se ha conseguido poner a punto un modelo hidrológico bastante cercano a la realidad de la cuenca seleccionada, con resultados semejantes a los obtenidos por los datos de campo registrados por el SAIH, como se plasma en el apartado de resultados.

El sistema contempla la posibilidad de trabajar tanto con datos de nowcasting (previsión a corto plazo, 2-4 horas), como con previsiones de mayor horizonte, suficientes como para poder actuar en situaciones de evacuación y paliar los posibles daños de las avenidas. De esta forma se generaría un mayor rendimiento al uso de los radares meteorológicos, pues a través de la velocidad del viento y la temperatura se obtendrían estimaciones de lluvia en el corto plazo con alto grado de detalle. El sistema está diseñado y creado para ello en cuanto dicha información radar esté disponible. Igualmente, se podrán incorporar los resultados de modelos numéricos de predicción meteorológica como dato de entrada al sistema, para su simulación y pronóstico.

Con este sistema además se ha logrado discretizar la cuenca en 215 subcuencas y 95 tramos de río, cada uno de ellos asociado a un núcleo de población y con caudales umbrales para la creación de alertas. Viendo los buenos resultados del modelo y sistema de visualización de alertas, se puede decir que se da cobertura y servicio a la totalidad de los pueblos situados en la cuenca.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al profesor Juan Vicente Giráldez Cervera de la Universidad de Córdoba su valiosa contribución al planteamiento y desarrollo de los modelos

hidrológicos en este proyecto. Igualmente, manifiestan su sincero agradecimiento a la Agencia Andaluza del Agua y al personal del centro de proceso de cuenca del Distrito Hidrográfico del Guadalquivir por toda la ayuda prestada para la utilización de los datos de la red SAIH.

Bibliografía

- Aldana, A., 2002.** Planificación, diseño y utilización de herramientas de ayuda a la toma de decisiones en tiempo real. Jornadas sobre SADs ante problemas hidráulicos e hidrológicos en tiempo real. CEDEX, Madrid, 2002.
- Carpenter, T.M. e al., 2003.** *Intercomparison of Lumped versus Distributed Hydrologic Model Ensemble Simulations on Operational Forecast Scales.* J. Hyd., 329, 174-185.
- Celis, A e al. 2005.** Primeros pasos hacia una política local que gestione el riesgo de inundación. Medio Ambiente y Urbanización, 62(1-2), pp. 161-174.
- Comisión Europea, 2004.** *Communication from the Comision to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on Flood Risk management, flood prevention, protection and mitigation.*
- Junta de Andalucía, 2004.** Mapa de Zonas Inundables: www.juntadeandalucia.es/medioambiente/contenido/Externo/sinunda.htm.
- Lange, J e al., 1999.** *A Noncalibrated Rainfall-Runoff model for Large, Arid Catchments.* Water Resour. Res., 35(7), 2161-2172.
- Michaud, J. e al., 1994.** *Comparison of Simple versus Complex Distributed Runoff Models on a Midsized Semiarid Watershed.* Water Resour. Res., 30(3), 593-605.
- Moral, F.J. e al, 1995:** Influencia de la Variabilidad del Suelo en la Hidrología Superficial de una Cuenca. Ingeniería del Agua, 2(1), 51-60.
- Sánchez-Diezma, e al., 2004.** Desarrollos avanzados para la medida de lluvia por radar. II Jornadas sobre SADs ante problemas hidráulicos e hidrológicos en tiempo real. CEDEX, Madrid, 2004.
- Scott, S.N. e al., 2006.** *Automated Geospatial Watershed Assessment (AGWA) – A SIG-Based Hydrologic Modeling Tool: Documentation and User Manual.* U.S. Dep. of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-1446.
- Sinclair, S. e al, 2005.** *Combining radar and rain gauge rainfall estimates using conditional merging.* Atmos. Sci. Letters, 6, 19-22.
- Singh, V.P. e al, 2002.** *Mathematical Modelling of Watershed Hydrology.* J. Hydrol. Engng, ASCE, 7(4), 270-292.
- Steenhuis, T.S. e al, 1986.** *The Thornthwaite-Mather Procedure as a Simple Engineering Method to Predict Recharge.* J.Hyd., 84, 221-9.
- Sun, X. e al., 2000.** *Flood Estimation Using Radar and Rain gauge Data.* J. Hydrol., 239, 4-18.
- Uhlenbrook, S. e al., 2003.** *Hydrological Process Representation at the Meso-Scale: the Potential of a Distributed, Conceptual Catchment Model.* J. Hydrol., 291, 278-296.
- Woolhiser, D.A. e al., 1990.** *KINEROS – A Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual.* Rep. No. ARS-77, USDA, Washington, D.C.