

# ***Acople de modelos hidrológicos e hidráulicos para la determinación de la respuesta de entornos rural-urbano en un área endorreica.***

*Pedro Arévalo (1), Enrique Ortiz (1), Vicente Guna (1), Félix Francés (2), Juan Camilo Múnera (2), Juan Auñón (3), Ramiro Martínez (3), Diego Irlés (4)*

*(1) Hidrogaia S.L.*

*(2) Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia*

*(3) Aminsá S.A.*

*(4) Confederación Hidrográfica del Júcar*

*parevalo@hidrogaia.com*

*eortiz@hidrogaia.com*

## **1 Introducción**

En el pasado la zona de Los Llanos y orígenes de la ciudad de Albacete (España) se situaban en un área compuesta de lagunas y manantiales de gran extensión debido a su carácter endorreico. Debido al desarrollo económico y agrícola de la zona se construyó una extensa red de canales artificiales que permitían el drenaje y aprovechamientos del recurso, pero la aparición de nuevas poblaciones y elementos antrópicos ha incrementado la vulnerabilidad del territorio, y dado su carácter endorreico, surgen problemas importantes de drenaje en la zona de Los Llanos y en la ciudad de Albacete. El origen de la problemática responde a dos escalas temporales diferentes, asociadas a eventos de carácter continuo procedentes de frentes del atlántico y a precipitaciones de carácter convectivo propias del mediterráneo. Sobre Los Llanos drenan un gran número de cuencas cuyos flujos evolucionan de forma bidimensional por el territorio formando amplios frentes de avance. En la ciudad de Albacete la permanencia de caudales en el canal de María Cristina condiciona el desagüe de la red de drenaje urbana de la ciudad de Albacete cuando se producen tormentas locales, en general de carácter convectivo. Por estas razones la Confederación Hidrográfica del Júcar ha licitado los servicios para la realización de los trabajos necesarios para modelar el caso particular de Los Llanos-Albacete.

Para modelar estos procesos ha sido necesario el acople en serie de 3 tipologías de modelos hidrológico-hidráulicos de forma que los outputs de los primeros alimentan los inputs de los siguientes. El primer modelo de la serie ha sido el modelo hidrológico distribuido y conceptual TETIS, con el cual se han modelado los procesos lluvia-escorrentía a escala horaria y diaria de las cuencas vertientes a la zona de Los Llanos. Los hidrogramas y la precipitación neta obtenidas del modelo hidrológico son empleados como input para el modelo de Los Llanos. Para la elección del modelo ideal se ha priorizado la capacidad de reproducir el flujo en superficie (2D) y su conexión con la red de canales (1D) compuesta por numerosas y diferentes tipologías de estructuras. Por estas razones se ha empleado el modelo hidráulico SOBEK Rural 1D/2D, generando una topología 1D/2D en la que la parte unidimensional se compone de 76.6 km de la red de canales artificiales, en la cual se incluyen estructuras como puentes, orificios, compuertas, ..., mientras que para la parte bidimensional se emplea una malla con una superficie de 700 km<sup>2</sup> y resolución de 50x50 metros, sobre la cual se han anidado 2 mallas de 10x10 metros para dar mayor detalle en zonas de mayor vulnerabilidad. Finalmente, para la modelación de la ciudad de Albacete, es necesario un modelo urbano integral que reproduzca procesos hidrológicos-hidráulicos y que sea capaz de integrar topologías 1D/2D. En este caso se han introducido como condiciones de contorno flujos de salida del modelo de Los Llanos, eventos de precipitación sobre la zona urbana y caudales en el canal de María Cristina. El modelo empleado es el INFOWORKS CS en el cual se han combinado una topología 1D/2D capaz de representar el flujo en tuberías y su conexión con la superficie. La topología unidimensional se compone de 4894 tuberías conectadas con la superficie a través de 4911 pozos de registro. La superficie modelada (34.2 km<sup>2</sup>) se representa con una malla triangular irregular de 497021 elementos con un tamaño máximo de 100 m<sup>2</sup>.

Los resultados obtenidos permiten llegar a interesantes conclusiones para cada una de los modelos empleados. Respecto al modelo hidrológico existen dos tipos de cuencas en cuanto a la formación lluvia-escorrentía: el de las cuencas de Lezuza y Jardín con una importante componente de caudal base, y el de la cuenca del Escartana

con un carácter explosivo y efímero. En el caso del modelo hidráulico de Los Llanos destaca la gran capacidad de laminación debido su carácter endorreico, permaneciendo grandes volúmenes almacenados en superficie. Por último, el funcionamiento hidráulico de la red de colectores de la ciudad de Albacete se encuentra limitado por los niveles del canal de María Cristina, llegando a producirse un funcionamiento inverso para niveles altos en el canal y estado seco en la red.

## **2 Modelación hidrológica de las cuencas vertientes**

La modelación hidrológica de las cuencas vertientes al Canal de María Cristina se abordará utilizando el modelo de transformación precipitación-escorrentía TETIS, desarrollado durante los últimos 15 años por el Grupo de Investigación de Hidráulica e Hidrología del IIAMA de la Universidad Politécnica de Valencia. TETIS es un modelo hidrológico distribuido en el espacio de tipo conceptual y base física.

### **2.1 Análisis pluviométrico**

El objetivo de este análisis es obtener los cuantiles de precipitación diaria máxima anual, para diversos períodos de retorno, mediante un análisis regional que cubra la cuenca vertiente al Canal de María Cristina, a partir de las series de precipitación diaria registradas en las estaciones pluviométricas suministradas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ). Para ello, se han seguido los siguientes pasos:

En primer lugar se ha procedido al análisis de los datos disponibles, con el fin de obtener las series de precipitaciones diarias máximas anuales en cada una de las estaciones y plantear los escenarios de regionalización analizados. Para cada uno de los escenarios anteriores, se ha comprobado la homogeneidad estadística y se ajustaron diversas funciones de distribución a la serie regionalizada.

A la vista de los resultados del paso anterior, se ha seleccionado el mejor modelo estadístico (escenario-función de distribución) y se obtienen los cuantiles locales en todas las estaciones.

Finalmente se ha caracterizado la estructura espacio-temporal de la precipitación en los llanos de Albacete a partir de las series de precipitación diaria y cincominutales registradas en las estaciones pluviométricas situadas en la zona y suministradas por la Agencia Estatal de Meteorología y la Confederación Hidrográfica del Júcar, respectivamente. Esta caracterización permitirá definir los eventos empleados como entrada al modelo hidrológico.

La zona cubierta por las estaciones pluviométricas es la provincia de Albacete, con una extensión de 14.926 km<sup>2</sup> y que limita al norte con Cuenca, al este con Valencia y Alicante, al sur con Murcia y Granada y al oeste con Ciudad Real y Jaén.

A continuación, y a partir de los resultados obtenidos, se determinan los cuantiles de precipitación máxima diaria para diversos periodos de retorno de la serie regionalizada y con ellos los correspondientes a cada una de las estaciones pluviométricas seleccionadas. La distribución espacio-temporal de los eventos se realiza según la metodología de bloques-alternos.

### **2.2 Caracterización hidrológica**

Uno de los problemas fundamentales de la hidrología ha sido la representación adecuada de los procesos físicos que ocurren en las cuencas naturales en la transformación de la lluvia en escorrentía. La modelación hidrológica como una simplificación de esta realidad, se ha convertido en la principal herramienta científica utilizada para resolver esta cuestión, que por la atención a la variabilidad espacial de estos procesos puede ser de tipo agregada, distribuida o pseudo-distribuida, y que de acuerdo a la escala temporal puede ser de tipo continua o de evento. Los modelos agregados no tienen en cuenta adecuadamente la variabilidad espacial de las características hidrológicas de la cuenca, por lo que atendiendo a esta deficiencia en la modelación, en los últimos años los desarrollos científicos han apuntado a la utilización de modelos hidrológicos distribuidos buscando entender y representar de una manera más adecuada la variabilidad espacial de los componentes del ciclo hidrológico a diferentes niveles de detalle, celda, cuenca o ladera.

La aplicación de un modelo de este tipo requiere una mayor complejidad en la conceptualización de los procesos hidrológicos, y por tanto, un mayor esfuerzo en la estimación de parámetros de celda que permiten representar la variabilidad espacial de cada uno de estos procesos hidrológicos. Esta estimación se traduce en una serie de mapas de parámetros que se construyen a partir de la información cartográfica base e información secundaria disponible, complementada con información levantada en campo y extraída a partir de sensores remotos.

Se ha realizado pues una caracterización geomorfológica e hidrológica de las cuencas vertientes a la zona de estudio, mediante el empleo de cartografía digital procesada con herramientas propias de los Sistemas de Información Geográfica.

A continuación se presentan las áreas representativas de las subcuencas a simular y las áreas hasta los puntos de interés asumidos en TETIS. En algunos casos las áreas no coinciden exactamente debido a la precisión asociada al tamaño de celda elegido, y en otros casos la diferencia puede ser mayor porque sólo se simula un afluente representativo de la pastilla. Para tener en cuenta estas discrepancias entre áreas de drenaje, en la última columna de la tabla se presenta un factor, que corresponde al cociente entre áreas, para corregir los hidrogramas simulados, de modo que sean representativos de las pastillas a las que hacen referencia las avenidas simuladas.

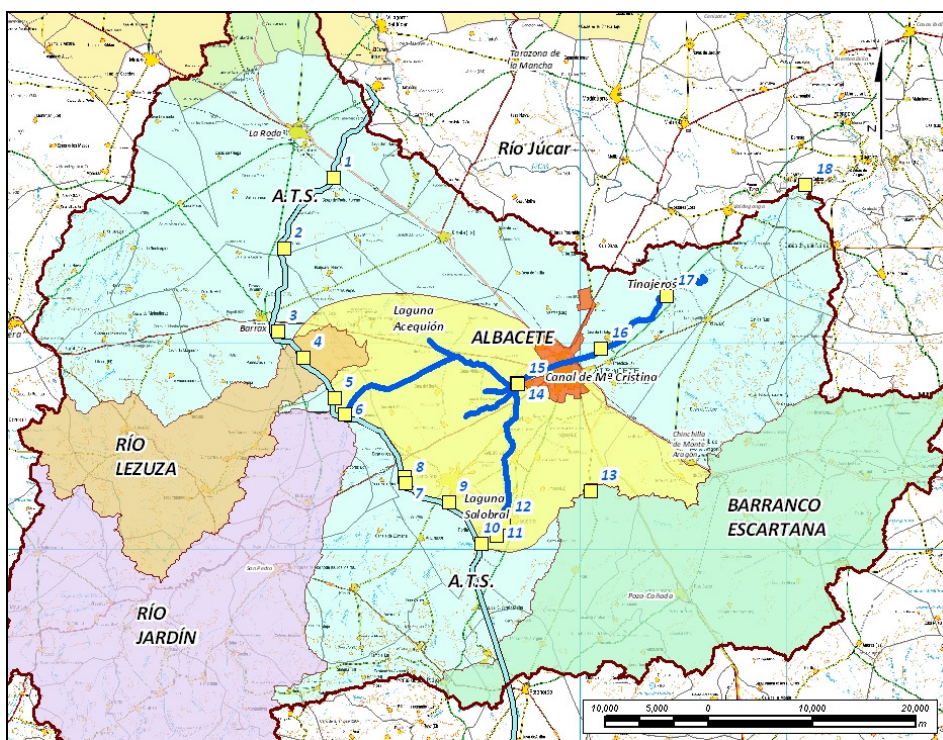


Figura 1 Cuencas de estudio y puntos de conexión con el modelo hidráulico rural

Tabla 1 Cuencas definidas para la modelación hidráulica

Cuenca	Área TETIS	Área pastilla completa	Factor corrector de Área
2 Casa Arnedo	16.35	29.5	1.804
3 Barrax	92.7	95	1.025
4 Lezuza	265.2	265.2	1
5 Entre Lezuza y Balazote	6.4	16.4	2.563
6 Balazote	754.97	754.97	1
7 Casa Hita	31.6	51.1	1.617
8 Quintanar	94.49	94.49	1
9 Argamasón	47.8	66.3	1.387
10 Tinajón	79.02	79.02	1
11 Salobral Oeste	64.77	64.77	1

12 Salobral Este	26.2	26.2	1
13 Escartana desaparición	710.81	710.81	1
14 Acequión-Estacadilla	113.2	113.2	1
15 Llanos Salobral	163	163	1
16 Llanos Norte de Albacete	508.6	546.2	1.074
17 Llanos Sur de Albacete	249.2	236	0.947
18 Tinajeros-Júcar	279.4	279.4	1

## 2.3 Conexión con los modelos hidráulicos

La modelación hidrológica de las cuencas de estudio tienen tres objetivos principales diferenciados que se abordan con el modelo a diferente escala temporal:

- Por un lado, se busca determinar las avenidas de diseño asociadas a diferentes períodos de retorno, en varios puntos de interés definidos en la zona de estudio, las cuales serán utilizadas como datos de entrada en la modelación hidráulica detallada bidimensional en el ámbito de Los Llanos. Estas avenidas de diseño serán estimadas con una resolución temporal horaria del modelo.
- Por otro lado, se quiere estimar la variabilidad que se produce en el caudal base del Canal de María Cristina a su paso por la ciudad de Albacete, para ser tenido en cuenta como caudales de referencia en el análisis de la modelación urbana. Para esto se ha implementado una versión del modelo a escala diaria, con la que se pretende, previa calibración y validación, simular la serie histórica de 62 años con datos de las variables hidrológicas de entrada al modelo (precipitación y ETP), teniendo en cuenta el efecto barrera del ATS que permite captar las aportaciones de algunas subcuencas, así como las capacidades hidráulicas de todos los canales receptores que hacen parte de la red de drenaje localizados al Este del ATS, cuyos caudales transportados convergen en el Canal de María Cristina. A partir de la serie de caudales diarios generados, se definen los cuantiles que serán empleados como condición de contorno para el modelo urbano de la ciudad de Albacete.
- Finalmente, debido a las características del modelo empleado para la modelación hidráulica de Los Llanos, es preciso obtener la precipitación neta en forma de histograma horario. En este sentido el modelo hidrológico no solo permite obtener caudales en los puntos de desagüe, sino que también posibilita calcular variables tales como el excedente de lluvia con el cual se determina la precipitación neta en la intercuenca de Los Llanos.

Estos resultados servirán de inputs a los modelos hidráulicos Rural y Urbano que se desarrollan a continuación

## 3 Modelación Hidráulica Rural - Los Llanos

Para la modelación de zonas urbanas dispersas ha sido necesario la generación de un modelo global a gran escala sobre el cual se han anidado topologías 1D/2D de detalle para conseguir reproducir el comportamiento hidráulico bidimensional en aquellas áreas de mayor riesgo. En concreto se han generado dos modelos hidráulicos: Los Llanos y Tinajeros.

Para la modelación hidráulica se ha empleado el software SOBEK, desarrollado por WL| Delft Hydraulics, el cual constituye uno de los mejores modelos para la gestión de sistemas hídricos en zonas fluviales, urbanas y rurales.

Las características de dicho software permiten la implementación y el análisis de una modelación como la que se ha planteado en este caso, con elementos tales como tramos unidimensionales (1D), estructuras, zonas bidimensionales (2D) y elementos singulares tales como el tanque de tormentas existente en el canal de María Cristina a la salida de Albacete.

Para la modelación del ámbito Los Llanos se ha generado un modelo global que combina topologías 1D/2D. Para el ámbito bidimensional (2D) se han empleado 3 mallas, una global de poca resolución sobre la cual se han anidado dos mallas de detalle para aumentar el detalle en aquellas zonas de mayor interés:

- Grid global: resolución de celda 50x50m - 280.141 elementos

- Grid Anidado Norte: resolución de celda 10x10m – 96.719 elementos
- Grid Anidado Sur: resolución de celda 10x10m – 114.504 elementos

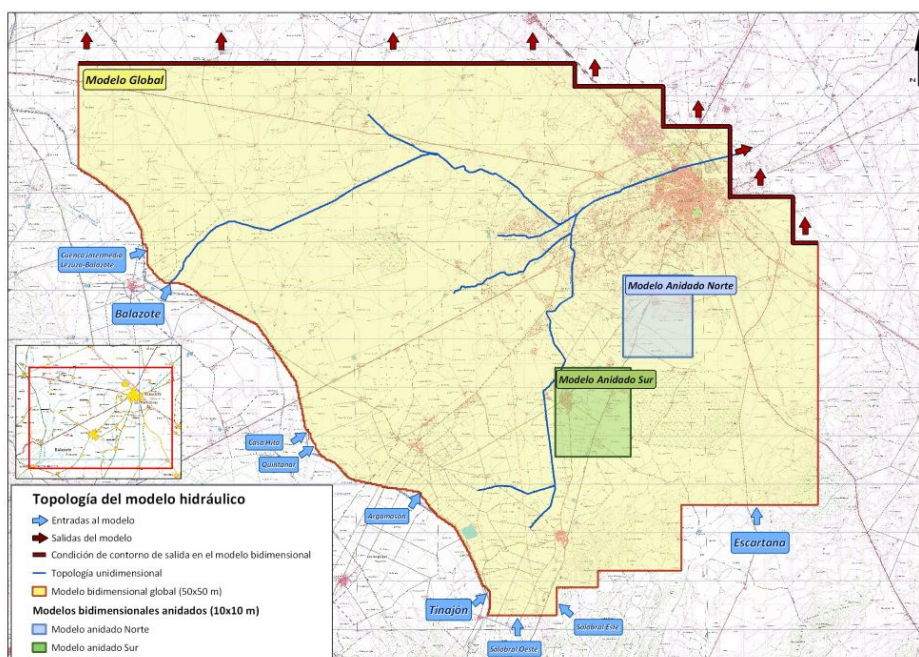


Figura 2 Modelo hidráulica 1D/2D generado para el ámbito de Los Llanos

Por su parte, la red de canales ha sido modelada mediante una topología unidimensional (1D) empleada en el análisis de capacidad de la red de canales. En la modelación de ésta se han tenido en cuenta todo tipo de estructuras: azudes, compuertas, puentes, ...obtenidas en campo gracias al levantamiento realizado para la caracterización de las secciones. La topología 1D se compone de 1036 nodos de cálculo y 66 estructuras a lo largo de 76.61 km.

Como condición de contorno de entrada al modelo se han considerado los hidrogramas obtenidos del estudio hidrológico realizado. La introducción de estos hidrogramas se realiza a una distancia suficientemente alejada de las zonas de interés con el objetivo de minimizar la afección de las condiciones de contorno sobre el flujo en el área de análisis. Los periodos de retorno simulados corresponden a T=5, T=10, T=25, T=50, T=100 y T=500 años. Los hidrogramas de entrada al modelo se realizan a través de los siguientes 9 puntos:

- Cuenca intermedia Lezuza-Jardín
- Cuenca Río Jardín
- Cuenca Casa Hita
- Cuenca Quintanar
- Cuenca Argamasón
- Cuenca Tinajón
- Cuenca Salobral Oeste
- Cuenca Salobral Este
- Cuenca Escartana

Adicionalmente a los hidrogramas se ha tenido en cuenta la precipitación neta generada en el ámbito de Los Llanos y que contribuye a la formación de escorrentía. El modelo SOBEM aplica en cada celda la precipitación neta obtenida del modelo hidrológico TETIS.

Finalmente se disponen líneas de medida al norte de la base aérea de Los Llanos con las cuales se obtienen los hidrogramas correspondientes a los flujos desbordados con potencialidad de alcanzar el casco urbano de Albacete. Dichos hidrogramas son introducidos en el modelo Urbano como inputs.

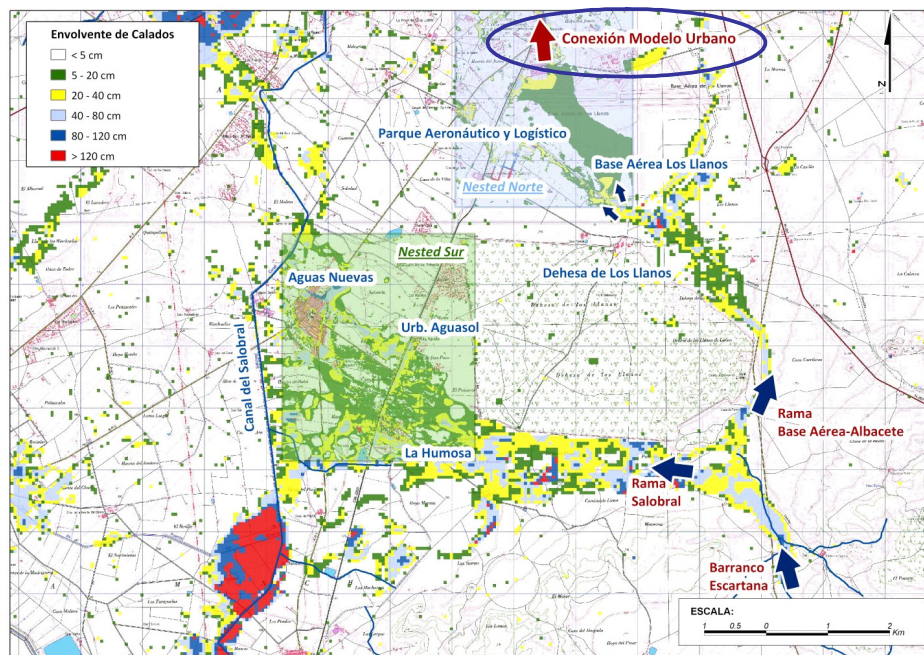


Figura 3 Conexión Modelo hidráulica 1D/2D generado para el ámbito de Los Llanos

## 4 Modelación Hidrológica-Hidráulica Urbana – Albacete

Como se ha comentado, para la modelación hidrológica-hidráulica se ha empleado el modelo Infoworks CS desarrollado por Wallingford Software, el cual permite acoplar y unificar en una única topología hidrología e hidráulica urbana bidimensional. InfoWorks CS proporciona una herramienta única y efectiva para llevar a cabo la modelación hidrológica del ciclo completo urbano del agua. InfoWorks CS también tiene un práctico método para el control operacional, incluyendo el control en tiempo real de la red de aguas residuales. Otras aplicaciones incluyen las predicciones de inundaciones urbanas y la contaminación, así como la modelación de la calidad de agua y el transporte de sedimentos a través de la red.

El objeto principal es la determinación de la interacción de la red de colectores con el Canal de María Cristina, mediante un análisis del funcionamiento actual de la red y su interacción con las inundaciones en superficie.

Como paso previo a las tareas de modelación propiamente dichas, se ha estructurado y sintetizado la información de entrada necesaria para los modelos de acuerdo con la siguiente operativa:

- Volcado de la información topológica e hidráulica de la red desde el SIG al modelo hidráulico.
- Justificación de los coeficientes de rugosidad utilizados.
- Hipótesis de cálculo adoptadas para las diferentes estructuras existentes, definiendo todas las características de los elementos que las componen.
- Condiciones de control establecidas en la red. De no tener información sobre el calado o la velocidad para la condición de contorno, se establecerá la condición del régimen uniforme aguas abajo, ampliando el tramo a modelar en una determinada longitud aguas abajo en función de la pendiente.
- Definición de casos sobre los que se realizará la modelación hidráulica.

La finalidad del estudio hidrológico es la de obtener los hidrogramas generados por cada una de las subcuencas en las que se divide la cuenca urbana, cuantificando de esta forma la respuesta de la misma. La singularidad de la presente modelación radica en el fuerte condicionante que implican los caudales circulantes por el canal a la respuesta hidrológica e hidráulica de la globalidad de la red. Por ello, para poder tener en cuenta dicha condición

de contorno, se ha empleado un modelo global hidrológico-hidráulico capaz de relacionar todas las variables involucradas.

Los trabajos necesarios para la realización del modelo han sido los siguientes:

#### **4.1 Hidrología urbana**

Se han obtenido por Thiessen las subcuencas vertientes a los pozos de registro de la red de colectores de la ciudad de Albacete. En total se obtienen 4757 subcuencas, correspondientes a 4911 pozos.

Para cada una de las subcuencas definidas que componen la topología del modelo se asignan las áreas correspondientes de las diferentes superficies contenidas. Cada superficie posee propiedades hidrológicas particulares que, junto con las propiedades topológicas de las subcuencas, definirán la respuesta hidrológica a los puntos de desagüe definidos en la red de colectores.

Para la identificación de las superficies se ha partido de los usos del suelo disponible en el ayuntamiento de Albacete a escala 1/10.000 y corregida mediante la 1/1.000, agrupándolas finalmente según las siguientes coberturas:

- Pavimento: dentro de esta categoría se engloban todas aquellas superficies impermeables compuestas por asfaltos, aceras, ... cuya pendiente es la del terreno.
- Tejados: se incluyen aquellas superficies impermeables situadas en las cubiertas y tejados de las edificaciones cuya pendiente en general se puede considerar diferente a la del terreno natural.
- Suelo desnudo: se incluyen las superficies permeables caracterizadas fundamentalmente por la falta de vegetación y/o elementos derivados de la acción antrópica.
- Zonas verdes: se incluyen aquellas superficies permeables cuya vegetación ocupa la totalidad de la misma.
- Masas de agua: se incluyen las superficies impermeables formadas por cursos o masas de agua.

Para la transformación lluvia – escorrentía existen diversos modelos recomendados para zonas urbano-rurales. Dadas las características de las cuencas a modelar, así como la información disponible de partida, se ha optado por el modelo lluvia-escorrentía Fixed PR ya que proporciona buenos resultados para cuencas fundamentalmente impermeables, tal y como es el caso del casco urbano de la ciudad de Albacete.

La escorrentía desbordada sobre las superficies es representada por la ecuación de onda cinemática. Sin embargo, la solución directa a esta ecuación en combinación con la ecuación de continuidad consume demasiado tiempo para las aplicaciones con modelos hidrológicos distribuidos con un elevado número de subcuencas aportantes. Se ha demostrado que la simplificación de los modelos basados en depósitos lineales, que son menos costosos computacionalmente, representan los procesos físicos con igual precisión que los enfoques más complejos de base física. El modelo empleado en nuestro caso ha sido el de “Embalse lineal doble (Wallingford)”, al considerarlo el más recomendado dada su amplia utilización en modelación urbana.

#### **4.2 Modelación hidráulica 1D/2D**

El objetivo de la modelación hidráulica es proporcionar un conocimiento cualitativo del funcionamiento de la red de colectores y su relación con el canal de María Cristina, dados los condicionantes hidrológicos establecidos con anterioridad.

El modelo construido se compone de elementos unidimensionales y bidimensionales que posibilitan el acople 1D/2D entre la red de colectores y la superficie del terreno. Cuando en un pozo se producen desbordamientos, o no posee más capacidad para captar agua, el flujo bidimensional por la superficie juega un papel particularmente importante. Gracias a la conexión 1D/2D quedan perfectamente caracterizados los flujos superficiales generados por los desbordamientos producidos en cada uno de los pozos que componen la red de colectores de la ciudad de Albacete. El modelo final se compone de los siguientes elementos:

- Topología 1D
  - Pozos: 4.911

- Tuberías: 4.894
- Subcuencas urbanas: 4.757
- Topología 2D (elementos triangulares):
  - Elementos: 497.021
  - Vértices: 273.070

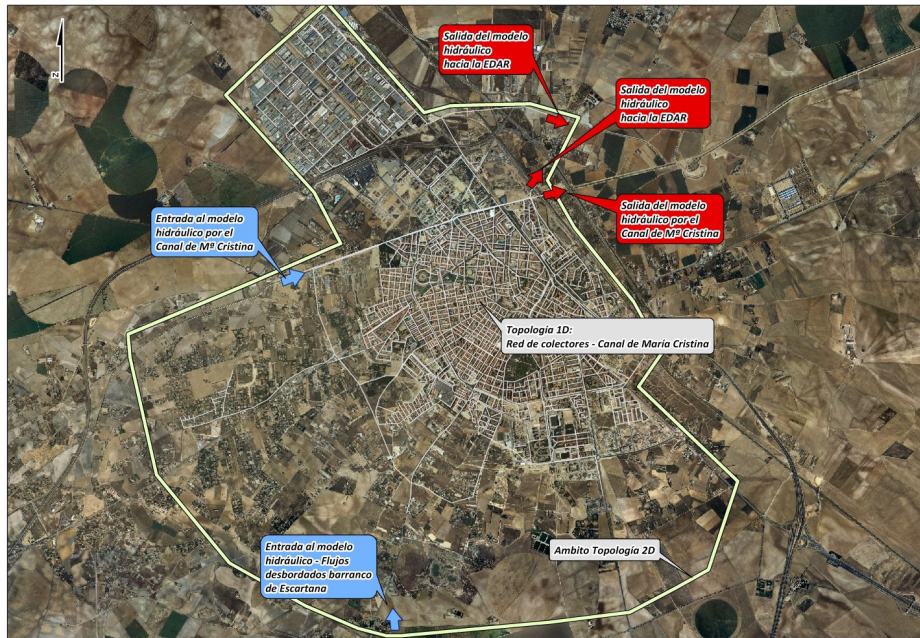


Figura 4 Esquema topológico del modelo urbano

Para proporcionar una visión global y útil del funcionamiento de la red de colectores y su relación con el Canal de María Cristina se han definido los siguientes caudales como condición de contorno del canal a la entrada del modelo:

- Hipótesis 1:  $Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$
- Hipótesis 2:  $Q = 10.812 \text{ m}^3/\text{s}$ . Caudal máximo obtenido de la simulación hidrológica diaria.
- Hipótesis 3:  $Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Caudal propuesto para el diseño de la red de drenaje.
- Hipótesis 4:  $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Caudal máximo aforado a la entrada del Canal de María Cristina durante el periodo invierno-primavera del 2010.

## 5 Resultados y conclusiones

### 5.1 Modelo hidrológico de cuenca

Del análisis y resultados obtenidos se pueden diferenciar dos tipos de respuesta hidrológica para las cuencas vertientes:

- Cuencas de los ríos Lezuza y Jardín: fenómenos de crecida debido a fenómenos meteorológicos de invierno donde la componente del suelo juega un papel fundamental en la producción de escorrentía.
- Cuenca del barranco de Escartana: fenómenos de crecida generados por fenómenos convectivos, propios de la región mediterránea (flash floods).



## 5.2 Modelo Rural – Los Llanos

Debido a su carácter altamente endorreico, Los Llanos poseen una elevada capacidad de laminación de los flujos procedentes de sus numerosas cuencas vertientes. Este hecho es particularmente beneficioso desde el punto de vista del casco urbano de Albacete ya que lo protege frente a eventos de precipitación.

La principal peligrosidad de Los Llanos proviene del barranco de Escartana, cuyos flujos no poseen una red natural definida, provocando su avance en lenguas de gran extensión, bajos calados y escasas velocidades.

En la trayectoria de los flujos del Escartana se ubican diversos elementos vulnerables los cuales sufren afecciones para periodos de retorno bajos. Entre los más destacados se enumeran los siguientes elementos: urbanización Aguasol, La Humosa, pedanía Aguas Nuevas, P.A.L.A., Casas de Malanoche y carretera CM-3203.

En el resto del ámbito de Los Llanos la escorrentía es desaguada a través de la red de canales, los cuales, dada su escasa capacidad, sufren desbordamientos dispersos que son retenidos por los numerosos endorreísmos presentes.

## 5.3 Modelo Urbano – Albacete

En general, los problemas de desbordamientos en la red de colectores no se encuentran condicionados por la presencia de niveles dentro del canal de María Cristina. Sin embargo, entrando en mayor detalle para la zona más próxima al canal, la insuficiencia en el drenaje de la red de colectores se agrava por la configuración altimétrica desfavorable del canal respecto a la red, situándose en muchos casos la solera del canal por encima de los colectores más próximos. Dicha disposición provoca los siguientes efectos sobre el funcionamiento hidráulico de la red:

- La presencia de caudal en el canal de María Cristina supone una restricción al funcionamiento hidráulico de la red de colectores en los barrios más próximos al canal.
- Entrada de caudal procedente del canal de María Cristina hacia la red de colectores, de forma que son derivadas hacia la EDAR aguas limpias procedentes del canal que disminuyen la capacidad de desagüe de la red en determinados barrios.

## 6 Referencias bibliográficas

Arévalo, P.; Ortiz, E.; Guna, V.; Francés, F.; Auñón, J.; Martínez, R. and Irlés, D. “Coupling hydrologic and hydraulic models to determine the response of rural-urban environments in an endorheic area”. European Geosciences Union General Assembly 2011, Viena-Austria- 03-08 April 2011.

Beven, K.J. and Kirkby, M.J., 1979. A physically-based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin* 24 1, pp. 43–69.

Chen A. S.; Djordjevic S.; Leandro J. and Savic D. (2007). The urban inundation model with bidirectional flow interaction between 2D overland surface and 1D sewer networks. *Proceedings NOVATECH 2007, 6th International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management, Lyon, France*

Duan, Q.; Sorooshian, S. y Gupta, V. K. (1994). Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models. *Journal of Hydrology*, Vol. 158, p. 265-284.

Francés, F. y Benito, J., 1995. La modelación distribuida con pocos parámetros de las crecidas. *Ingeniería del Agua*, 2(4), 7-24.

Francés F.; Vélez J. I.; Vélez J. J. (2007). Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology* (2007) 332, pp226– 240.

Francés, F.; Vélez J. J.; Vélez J. I. y Puricelli, M. 2002. Distributed modelling of large basins for a real time flood forecasting system in Spain. En congreso: Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference. Las Vegas, USA. Julio. Publicado en CD.

Liew, Y.S.; Ab. Ghani, A. “Performance of Stormwater Drainage System through Dry Detention Pond for Medium Size Housing Development using Infoworks CS (CaseStudy:Kota Damansara,Selangor, Malaysia)”, 8th International Conference on Urban Drainage Modelling, Tokyo, Japan, 7-11 September 2009.

Maksimovic, C.; Prodanovic, D.; Boonya-Aroonnet, S.; Leitao, J.P.; Djordjevic, S.; Allit, R.. "Overland flow and pathway analysis for modelling of urban pluvial flooding". *Journal of Hydraulic Research*: Volume 47, Issue 4, 2009.

Vanderkimpfen, P.; Melger, E.; Peeters, P. (2008). Flood modeling for risk evaluation: a MIKE FLOOD vs. SOBEK 1D2D benchmark study, in: Samuels, P. et al. (Ed.) (2009). *Proceedings of the European Conference on Flood Risk Management Research into Practice (FLOODRISK 2008)*, Oxford, UK, 30 September - 2 October 2008: Flood Risk Management: Research and Practice. pp. 77-84.

Vélez, J. I., 2001. Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual y distribuido orientado a la simulación de las crecidas. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Tesis Doctoral.

Vélez, J. I.; Vélez J. J. y Francés, F. 2002b. Modelo distribuido para la simulación hidrológica de crecidas en grandes cuencas. En congreso: XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. La Habana, Cuba. Octubre. Publicado en CD. ISBN 959-7160-17-X.

Vélez, J. J.; Vélez J. I.; Puricelli, M. y Francés, F. 2002c. Hydrological simulation of flood events at large basins using distributed modelling. En congreso: XXVII Asamblea General de la European Geophysical Society. Niza, Francia. Abril 21-26. Ed. Geophysical Research Abstracts en CD. POSTER. ISSN 1029-7006.

Vélez, J.J., Puricelli, M., López Unzu, F., and Francés, F. (2009). Parameter extrapolation to ungauged basins with a hydrological distributed model in a regional framework, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13, 229-246.

Verwey, A. (2001). Latest Developments in Floodplain Modelling. – 1D2D Integration. The Institution of Engineers, Australia Conference on Hydraulics in Civil Engineering, Hobart 28 –30 November 2001.