

SOFTWARE DE PRONÓSTICO DE ALERTA CONTRA INUNDACIONES EN LAS CUENCAS DE LOS ARROYOS LUDUEÑA Y SALADILLO (SANTA FE, ARGENTINA)

J. Pablo. Rentería ⁽¹⁾, Pablo. García ⁽²⁾; Gerardo. Riccardi ⁽³⁾; Erik Zimmermann ⁽⁴⁾; Hernan Stenta ⁽⁵⁾; Carlos Scuderi ⁽⁶⁾; Pedro Basile ⁽¹⁾

(1): Docente Departamento de Hidráulica y CURIHAM. FCEIyA. UNR

(2): Becario Departamento de Hidráulica y CURIHAM. FCEIyA. UNR

(3): CIUNR. Docente-Investigador Departamento de Hidráulica y CURIHAM. FCEIyA. UNR

(4): Investigador CONICET; Departamento de Hidráulica y CURIHAM. FCEIyA. UNR.

(5): Dirección Provincial de Protección Urbana Contra Inundaciones. MASPpyMA.

(6): Becario CONICET. Departamento de Hidráulica y CURIHAM. FCEIyA. UNR.

Riobamba 245 bis, 2000 Rosario – Argentina. Email: renteria@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo muestra el estado de avance en la conformación de un software de pronóstico de alerta temprana contra inundaciones que se está implementado en el sur de la provincia de Santa Fe, Argentina. El Modelo de Pronósticos Hidrológicos (MPHid) se está desarrollando en el ámbito de un convenio marco entre el Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA), a través del Departamento de Hidráulica, y el Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente (MASPyMA) de la Provincia de Santa Fe. El sistema de alerta toma como fuente principal de datos una red de sensores construidos a tal fin por la empresa ICSA

El MPHid está constituido por tres módulos bien definidos. El primero de ellos, el Módulo de Descarga e Interpretación de Datos e Imágenes (MoDIDI), es el encargado de realizar la descarga, validación y almacenamiento de los datos principales de Sistema de alerta; como herramienta de complemento, se realiza la descarga de Internet de una importante cantidad de imágenes (radares, topes nubosos, etc.) y tablas de datos hidrometeorológicos. El segundo Módulo o Generador de Escenarios Hidrológicos (GEH), es que se encarga del procesamiento de los datos una vez descargados por el MoDIDI y posteriormente, de la generación los escenarios para la modelación hidráulica – hidrológica, aquí se procesan lluvias, niveles limnimétricos y estado de humedad de la cuenca. Por último, el módulo de cálculo o de modelo de procesamiento, cálculo y post-procesamiento HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO que está conformado por el tándem CTSS8 (Riccardi, 2001) y la plataforma computacional de operación SIMULACIONES 2.0 (Stenta et al., 2005), aquí SIMULACIONES 2.0 recoge el escenario generado por GEH lo envía para ser calculado por el modelo CTSS8, los resultados son post-procesados nuevamente por SIMULACIONES 2.0

El MPHid se implementó durante un período que va desde noviembre de 2008 a marzo de 2009, a pesar de haberse encontrado innumerable cantidad de incompatibilidades en la fuente los datos, los resultados obtenidos han sido sumamente satisfactorios

Con la utilización del MPHid se han generado y posteriormente simulado cinco eventos concretos que se utilizaron en la etapa de implementación y explotación

Palabras claves: Modelo de pronóstico, alerta temprana, inundaciones.

INTRODUCCIÓN

El presente software se encuentra realizado en el marco del convenio bilateral firmado entre el Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente de la Provincia de Santa Fe (MASPyMA) y la Facultad Ciencias Exactas de Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de Universidad Nacional de Rosario. El presente convenio “REHIDROLOGÍA Y MODELO DE SIMULACIÓN A TIEMPO REAL EN SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO EN LAS CUENCAS DE LOS ARROYOS LUDUEÑA Y SALADILLO” viene a dar respuesta a la gran cantidad de inundaciones que a la que estas cuencas de zona sur de Provincia de Santa Fe han sufrido.

El software denominado Modelo de Pronóstico Hidrológico (MPHid) esta constituido por un sistema de tres módulos, que para la faz visual utiliza rutinas realizadas en el entorno de programación visual orientada a objetos Visual Basic 6.0, para la sección de cálculos matemáticos (hidráulicos e hidrológicos también) utiliza rutinas cuyo código de fuente fue programado en Fortran y como base de datos el gestor MySQL.

Hasta la fecha, contando desde que se comenzó con la realización del MPHid, no se han producido gran cantidad eventos pluviosos para realizar un importante número de calibraciones. No obstante, con los cinco eventos ocurridos en la pasada campaña, se ha podido realizar la calibración correspondiente obteniendo resultandos ampliamente satisfactorios.

Descripción de las cuencas. La cuenca de los A° Saladillo y Ludueña se encuentran ubicadas en el sur de la Provincia de Santa Fe, Argentina. Poseen aproximadamente unos 3200 km² y 700 km² de extensión superficial respectivamente, son cuencas típicas de llanura con alto grado de atropización. El módulo pluviométrico ronda los 1000 mm. Ludueña posee una pendiente media del 0.1 %, mientras que en Saladillos las pendiente son algo mayores, llegando a 0.3 %.

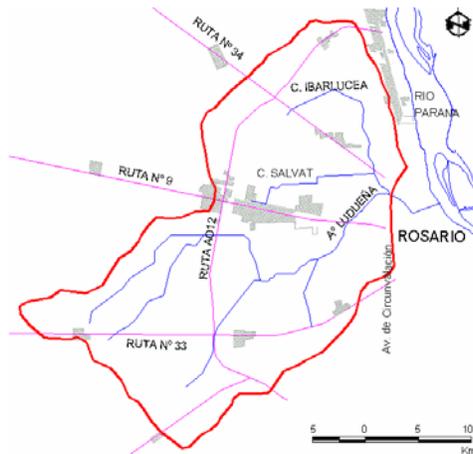


Figura 1. Cuenca A° Saladillo.

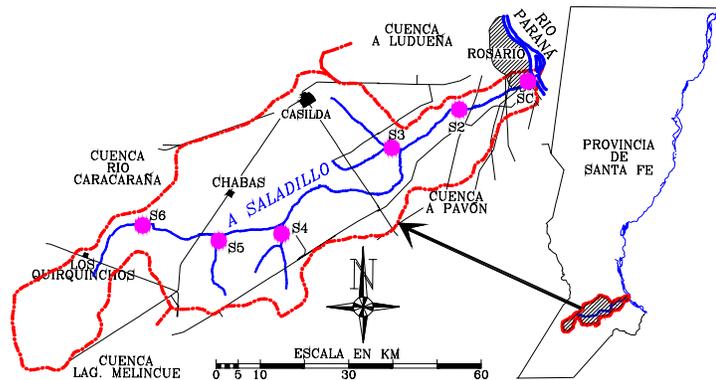


Figura 2. Cuenca A° Ludueña

METODOLOGÍA

El primero de ellos que conforma el MPHid, el Módulo de Descarga e Interpretación de Datos e Imágenes (MoDIDI). Es el encargado de realizar la descarga, validación y almacenamiento de los datos principales de Sistema de alerta. Adicionalmente y como herramienta de complemento para el hidrólogo operador del software, realiza la descarga de Internet de una importante cantidad de imágenes (radares, topes

nubosos, etc.) y tablas de datos hidrometeorológicos. La fuente principal de datos que está constituida por la red de sensores hidrometeorológicos construida a tal fin que en la Figura 3 se esquematiza como “DB ICSA”.

El segundo Módulo o Generador de Escenarios Hidrológicos (GEH), es que se encarga del procesamiento de los datos una vez descargados por el MoDIDI y posteriormente, de la generación los escenarios para la modelación hidráulica – hidrológica. También se lo ha dotado de algunas herramientas visuales complementarias.

El tercer módulo, la unidad el cálculo o de modelo de procesamiento y cálculo HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO, está conformado por el tándem CTSS8 (Riccardi, 2001) y la plataforma computacional de operación SIMULACIONES 2.0 (Stenta et al., 2005). Aquí SIMULACIONES 2.0 recoge el escenario generado por GEH lo envía para ser calculo por el modelo CTSS8, los resultados son post-procesados nuevamente por SIMULACIONES 2.0.

Por la gran cantidad de resultados que se generan para cada corrida del modelo, se ha desarrollado el módulo de administración de resultados, encargado de reordenar los resultados generados para ser depositados en una base de datos.

El módulo MoDIDI, también tiene como función, después de la captura de los resultados de una determinada corrida del modelo por parte del ADMINISTRADOR de RESULTADOS, para su posterior publicación en Internet o una intranet con acceso a usuarios específicos. En la Figura 3 se muestra el esquema mencionado.

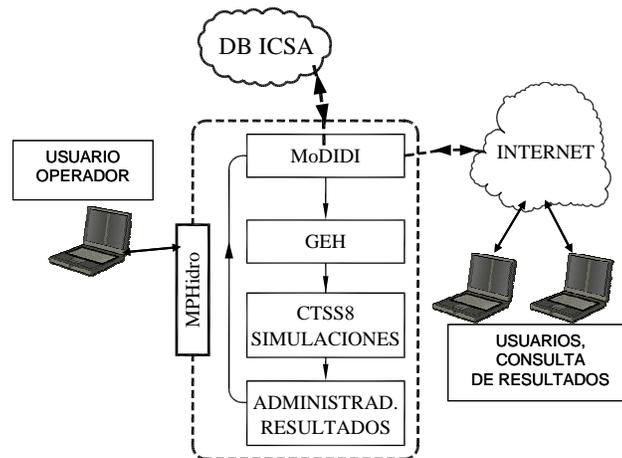


Figura 3. Esquema computacional de funcionamiento del MPHidro.

Módulo MoDIDI

Este módulo (Figura 4) está constituido por dos programas. Un primer programa (CTL_ICSA.OCX) que realiza la descarga, procesamiento y una validación rápida de los datos a partir, tanto de la base de datos de la empresa ICSA, responsable de la construcción de la red de sensores (DB ICSA) como de la página web de la misma empresa como una alternativa a lo anterior. También aquí se analizan los valores con umbrales mínimos y máximos de las variables medidas por los sensores para comprobar posibles defectos de funcionamiento. Asimismo el módulo realiza una estadística ligera para determinar mínimos, máximos, promedios y acumulados de los sensores de interés y se realiza el cálculo del índice de Precipitación Antecedente (IPA) para las estaciones pluviográficas. Se encarga de realizar las descargas de las imágenes y página web indicadas. El segundo programa (CTL_CONECTOR.OCX) es el que permite insertar datos y

hacer consultas a la base de datos.

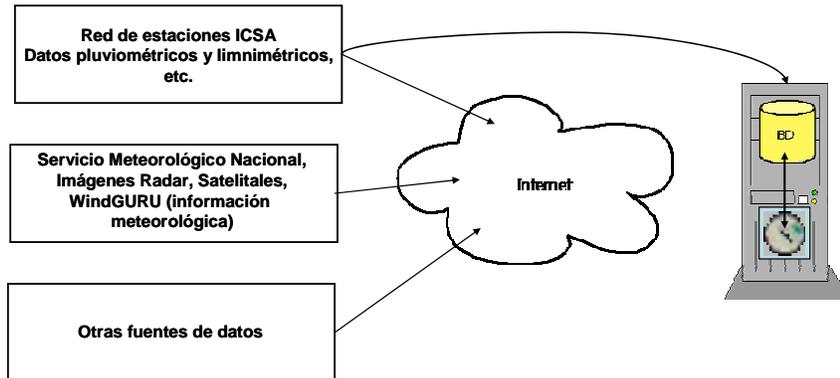


Figura 4. Esquema computacional de funcionamiento del MoDIDI.

La pantalla principal de MoDIDI se muestra en la Figura 5.

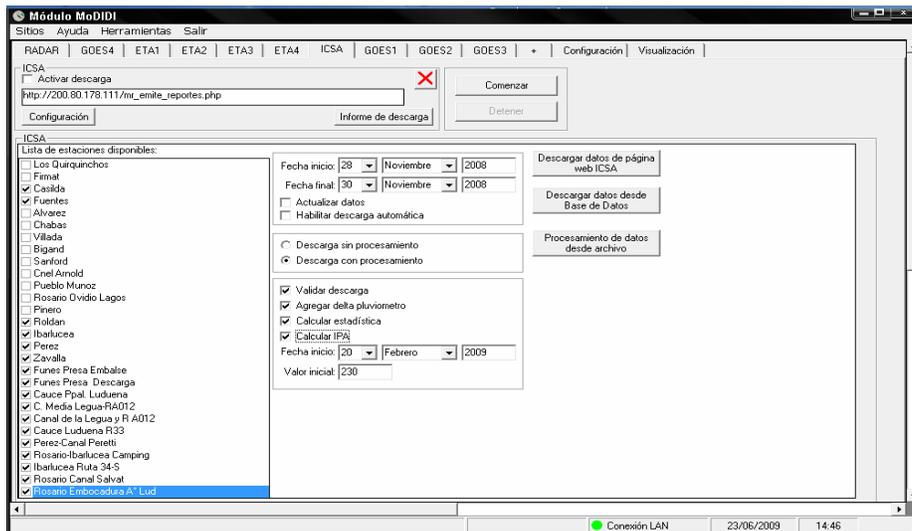


Figura 5. Módulo MoDIDI - Pestaña ICSA, descarga de fuente principal.

Si bien el módulo MoDIDI usa como fuente principal de datos los sensores hidrométricos y pluviómetros de la red de sensores de la empresa ICSA, se permite de forma complementaria la descarga de imágenes y datos de otras fuentes, sólo para la visualización y/o procesamiento mínimo con la intención de dar un panorama SOLO CUALITATIVO y COMPLEMENTARIO, pero completo en cuanto a la evolución temporal y espacial de algunas variable hidrometeorológicas extraídas en forma directa o indirecta, de las cuencas monitoreadas y que el hidrólogo operador puede consultar en forma sencilla, como ser, Radar meteorológico Pergamino (Figura 6); Imágenes GOES 12; Pronósticos de precipitación con modelo ETA (SMN) cada 24, 48, 72 y 96 hs (Figura 7) y Windguru.

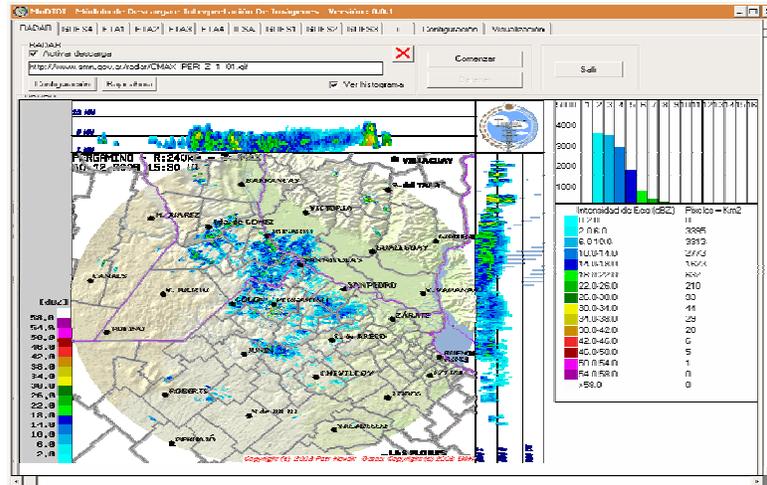


Figura 6. Módulo MoDIDI, Imagen del radar de Pergamino.

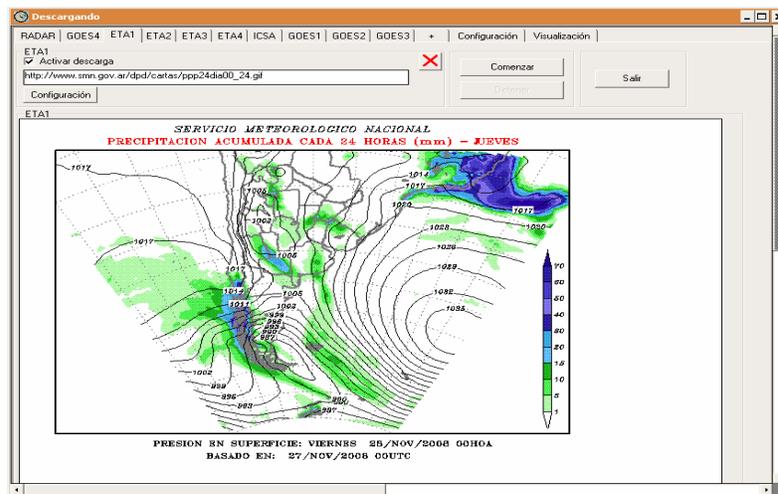


Figura 7. Ejemplo de imagen descargada, predicción a 24 hs (SMN).

Gestión de datos. Todos los datos descargados por el MoDIDI se guardan mediante un gestor de base de datos MySQL en un servidor web. Se optó por MySQL porque ser un sistema robusto aun para operar con grandes volúmenes de datos sin decaer en su rendimiento cuando se hacen consultas o se insertan datos. Además, porque se instala fácilmente tanto en Windows como en Linux junto con otras aplicaciones (servidor web y lenguaje PHP para páginas dinámicas) y herramientas para la administración (phpMyAdmin) que posiblemente se utilicen para la publicación de resultados de las modelaciones efectuadas, ya que permite conexiones remotas desde red local o internet para compartir los datos. Asimismo, de forma fácil se pueden hacer copias de respaldo de los datos y exportarlos a diferentes formatos (Excel, texto, pdf, etc.) desde la interface phpMyAdmin. Una vista de la base de datos en la tabla de los sensores se muestra en la mediante phpMyAdmin. Por último, se desean crear usuarios con distintos niveles de acceso o privilegios, a la base de datos.

Generador de Escenarios Hidrológicos

El módulo Generador de Escenarios Hidrológicos (GEH), consulta los datos debidamente bajados y validados por el módulo MoDIDI que han depositado en una base de datos a la cual se accede mediante una

red local, para su posterior análisis. En el esquema de funcionamiento del módulo GEH (Figura 8), se pueden distinguir tres (3) pestañas, DATOS, PLUVIOGRAFÍA y LIMNIMETRÍA.

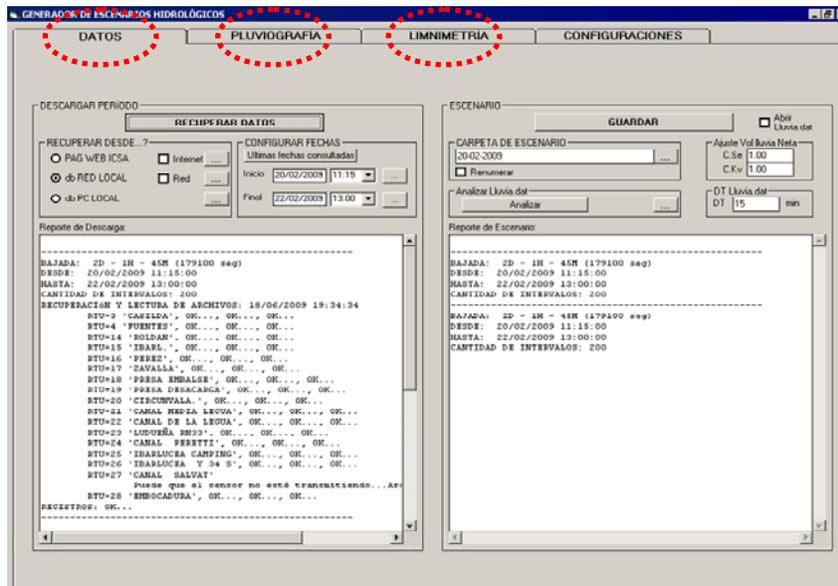


Figura 8. Esquema de funcionamiento del módulo GEH.

La pestaña DATOS se encarga de generar la consulta a la base de datos y su posterior guardado en un escenario para realizar una corrida numérica en el módulo de cálculo. En la Figura 9 se muestra la descarga de un determinado período y su posterior guardado en un escenario conjuntamente con un reporte de cada una de estas acciones.

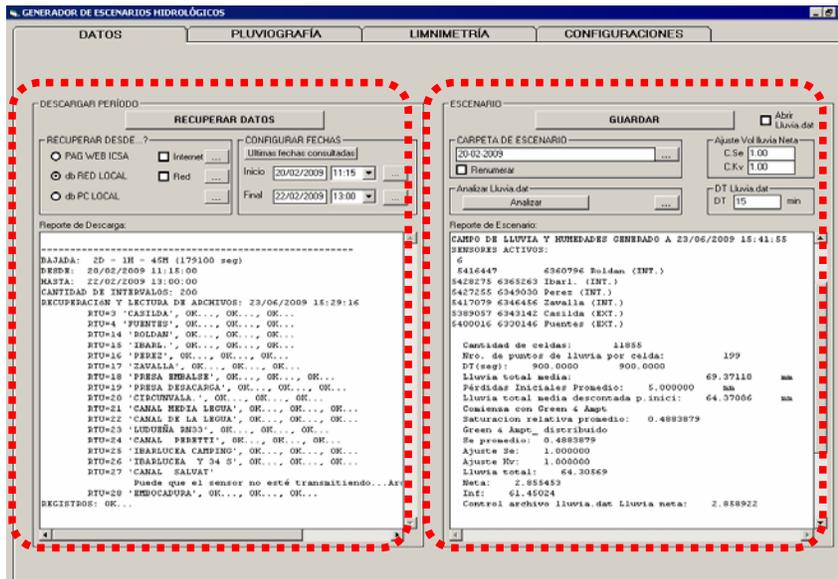


Figura 9 – Módulo GEH, Pestaña DATOS.

Configurado el período de descarga desde la base de datos, GEH automáticamente rellena el cuadro de “SERIES TEMPORALES / SENSORES” que corresponde a los sensores de pluviográficos de cada

cuenca. Asimismo, GEH prevé, la incorporación de dos series denominadas “MANUALES”, de los cuales se deben proveer las coordenadas de los mismos en sistema Gauss Krüger, faja 5 extendida (Figura 10).

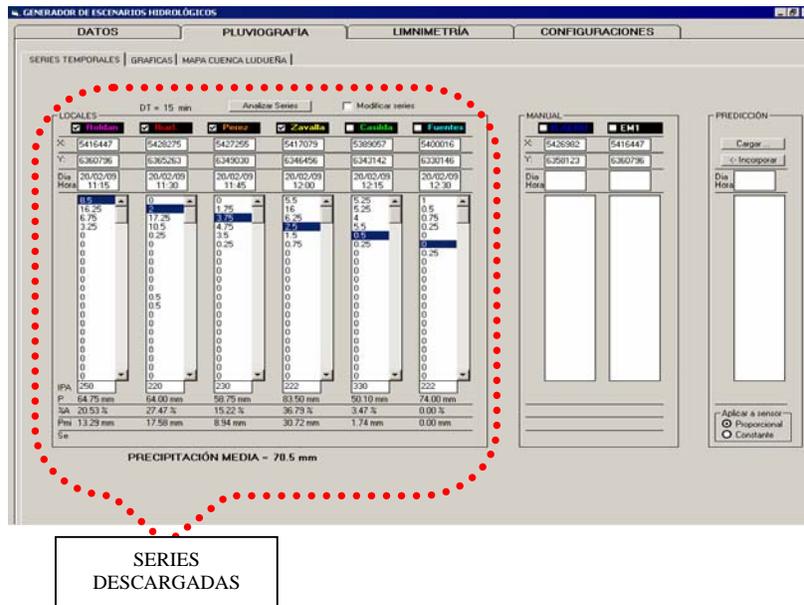


Figura 10. Lluvias adquiridas de sensores, series manuales.

La información descargada por GEH se puede visualizar (Figura 11) mediante pluviogramas parciales o acumulados y el mapa de polígonos de Thiessen (Orsolini et. al., 2000).

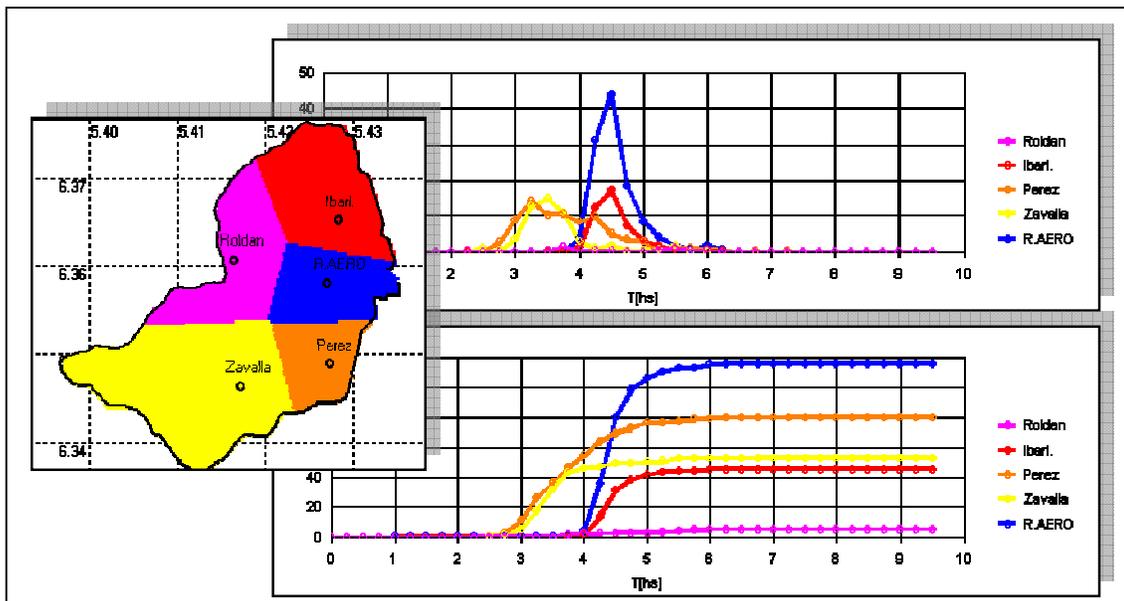


Figura 11. Visualización del GEH. Pluviografía.

El algoritmo de pérdidas escogido por GEH es Green & Ampt (GyA) (Chow et. al. 1994) ambos del tipo distribuido. El estado de humedad antecedente (o inicial) de la cuenca, es caracterizado por el grado de saturación S_e , que es calculada considerando el índice IPA (Zimmermann et. al., 2000). Éste es calculado y

almacenado a diario por el MoDIDI, GEH lo consulta desde la base de datos. Arealmente los parámetros se asignan por polígonos de Thiessen.

El resultado de la generación del escenario para modelación es la creación de un archivo de lluvia neta distribuida, en concordancia con la configuración de estaciones de lluvia utilizadas y el estado antecedente de humedad inferido a partir del IPA. Este archivo es recogido por el módulo de cálculo CTSS8 – SIMULACIONES.

Módulo de Cálculo, CTSS8 - SIMULACIONES

En este módulo se pueden distinguir dos partes, una primera sección en la yace la conformación de los modelos constituidos de las cuencas, y una segunda sección correspondiente a módulo de cálculo propiamente dicho.

Plataforma Computacional Simulaciones 2.0. Los modelos (Figura 12) constituidos son guardados y administrados por la Plataforma computacional Simulaciones 2.0 (Stenta, et. al., 2005). Conforman sistemas distribuidos de parámetros geográficos, hidráulicos e hidrológicos almacenados en celdas ortogonales de 250 m.

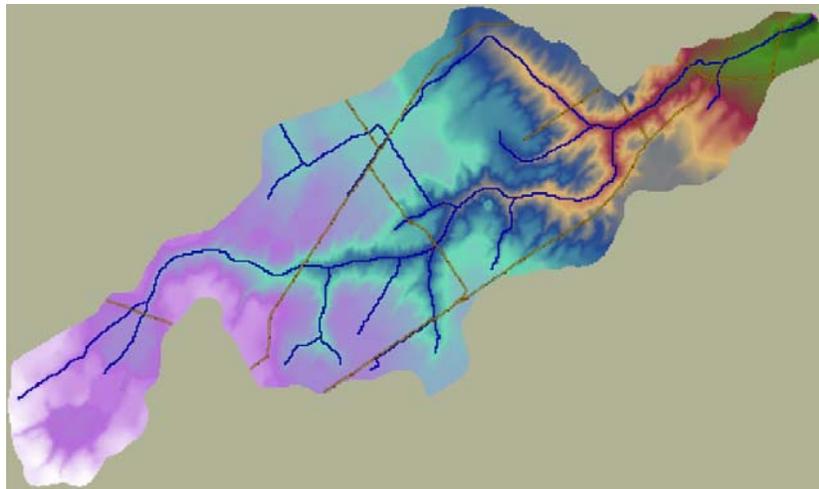


Figura 12. Modelo constituido para la cuenca de A° Saladillo.

Aquí se guarda toda la información correspondiente al modelo digital de terreno (MDT), las rugosidades de manning, propiedades hidráulicas de los suelos, las características de los cursos de agua, de los terraplenes ferroviarios y carreteros, los puentes y alcantarillas.

En MDT se obtuvo por interpolación de curvas de nivel del IGM (Rentería, 2006), las propiedades hidráulicas de los suelos se incorporaron mediante digitalización de las cartas de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1972 a 1988; INTA 1990), los cursos de agua y terraplenes fueron incorporados a partir de relevamientos topográficos específicamente realizados para este convenio MASPyMA – FCEIA. Las rugosidades (ríos y valles) fueron objeto de calibración a partir de eventos observados. La cantidad de datos almacenados por cada modelo constituido se presenta en la

Tabla 1.

Tabla 1. Datos almacenados de los modelos constituidos.

LUDUEÑA		SALADILLO	
Elementos	11855	Elementos	50023
Tipo Valle	10345	Tipo Valle	48144
Tipo Río	1510	Tipo Río	1879
Vinculaciones	23370	Vinculaciones	99158
Tipo VV	18400	Tipo VV	92418
Tipo V-R / R-V	2569	Tipo V-R / R-V	3589
Tipo RR	1415	Tipo RR	1863
Terraplenes	845	Terraplenes	1273
Alcantarillas y Puentes	114	Alcantarillas y Puentes	36

Modelo Hidrológico-Hidráulico CTSS8. El software MPHid utiliza un modelo matemático hidrológico-hidráulico cuasi-bidimensional de parámetros distribuidos denominado CTSS8 (Riccardi, 2001). El sistema de modelación está basado en los esquemas de celdas originalmente propuestos por Cunge (1975). En sucesivas investigaciones se ha ampliado el campo de aplicación original (Riccardi et al., 1995, Riccardi, 1997 y 2001). Actualmente, el sistema permite la simulación de escurrimiento superficial multidireccional en ambientes rurales y urbanos. En cada unidad de la capa superficial es posible plantear el ingreso de flujo proveniente de precipitación neta, aporte de caudales externos e intercambio de caudales con celdas adyacentes. Para la información necesaria de lluvia neta en cada celda se plantea la utilización de las metodologías reconocidas de Green y Ampt (Chow et al., 1994). Ésta es incorporada mediante el módulo GEH por medio del método de los polígonos de Thiessen.

El escurrimiento resultante puede ser propagado mediante un espectro de leyes de descarga desde aproximaciones cinemáticas a difusivas de la ecuación de momento, permitiendo el tránsito por ríos, canales y valles de inundación. Para contemplar alternativas puntuales de flujo se incorporaron leyes de descarga para puentes, vertederos y alcantarillas. Las ecuaciones gobernantes consideradas son la de continuidad y distintas simplificaciones de la ecuación de cantidad de movimiento transformadas en formulaciones de descarga entre celdas. La distribución espacial de los parámetros y variables hidrológicas se realiza mediante la subdivisión de la cuenca en celdas de igual tamaño (cuadrangulares) interconectadas entre sí que definen el dominio del sistema hídrico a modelar. Las celdas pueden ser de tipo valle o tipo río. Las celdas tipo río representan cursos de agua permanente y/o transitorios de importancia y los celdas tipo valle representan las áreas tributarias a estos.

La ventaja fundamental de este modelo con aproximación de onda difusiva y simulación del flujo cuasi-bidimensional frente a otros modelos de tipo cinemático, está relacionada con la posibilidad de transmitir información en cualquier dirección del dominio bidimensional. Esto hace que no se deban prefijar los sentidos de escurrimiento y especificar los funcionamientos hidráulicos de elementos (por ejemplos embalses); pudiendo el modelo discernir en cada paso de tiempo las direcciones del escurrimiento superficial de acuerdo a los gradientes hidráulicos (Riccardi, 2005).

La ecuación de continuidad se plantea en cada celda, a partir de la definición del incremento del volumen almacenado desde consideraciones geométricas y desde condiciones de descarga. La Descarga entre celdas se puede realizar utilizando Unión Cinemática, se utiliza cuando la información del mecanismo hidrodinámico se propaga solamente hacia agua abajo. Unión tipo Río Simple, se utiliza para escurrimientos con preponderancia de las fuerzas de gravedad, presión hidrostática y fricción. El caudal se deduce por discretización de la ecuación de momento para flujo con fuerzas inerciales despreciables y considerando la ecuación de Manning. Unión tipo Vertedero, representa vinculaciones donde se evidencia un límite físico como terraplenes de rutas, vías, etc. Se utiliza la ecuación de vertederos de cresta ancha. Unión tipo Puente,

se utiliza la expresión de caudal para vertederos con escalón de fondo nulo y coeficiente de gasto según Chow (1959) para flujo a través de constricciones.

RESULTADOS

Los pronósticos son simulados mediante dos estados de humedad antecedente de la cuenca modificando en $\pm 25\%$ el grado de saturación del perfil de suelo, generando así un pronóstico de máximas y otro de mínima. Por las características de estas cuencas de llanura de respuesta relativamente lentas, se adoptó por generar predicciones cada seis horas.

La gran cantidad de resultados que se generan para una corrida, hace necesario la incorporación de un módulo ADMINISTRADOR de RESULTADOS. Como ejemplo, en Ludueña, para una corrida de 200 hs, con impresión de resultados cada 1 hs, se generan 11855 (Tabla 1) celdas x 200 hs, 23370 x 200 hs de caudales y velocidades, obteniéndose archivos de, aproximadamente, 500 mb de espacio en disco. En la actualidad el módulo ADMINISTRADOR de RESULTADOS está en plena etapa de desarrollo, los datos son presentados en planillas de cálculo electrónicas tipo Excel mediante exportación desde el entorno de post-proceso de Simulaciones 2.0. La Plataforma permite introducir secciones de interés y exportar, ya sea limnigramas, hidrogramas, etc.

El la Figura 13, Figura 14, Figura 15 y Figura 16, se presenta una típica salida de resultados limnimétricos de una predicción en donde se resaltan la predicción de máxima, la de mínima y la altura H sensor que es la que se va actualizando a medida que el módulo MoDIDI va recibiendo los datos de la red de sensores en tiempo real. Pueden verse las predicciones en las primeras 12 hs (Figura 13), predicciones en el segundo día (Figura 14), tercer (Figura 15) y cuarto día (Figura 16). El evento de estas figuras corresponde a la estación limnimétrica de la sección del Ludueña Embocadura en el evento de 03-03-09.

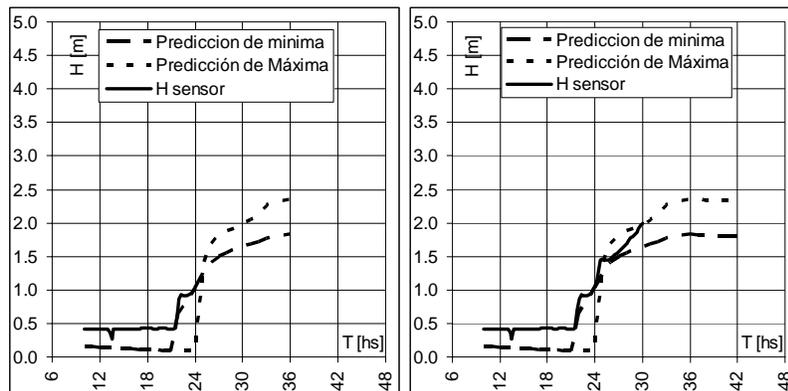


Figura 13 – Predicción en las primeras y segundas 6 hs

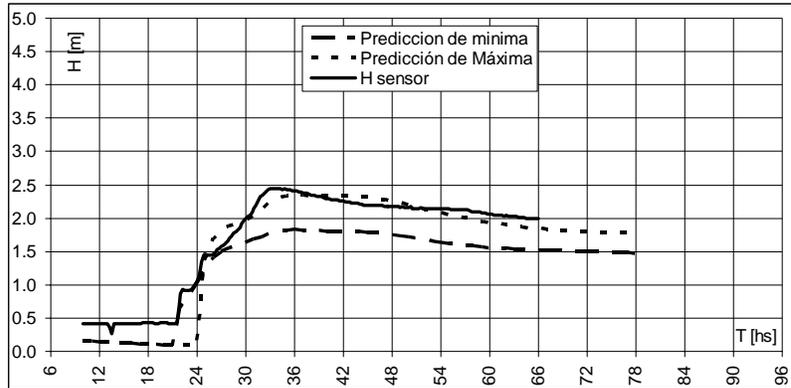


Figura 14 - Predicción a mas de 24 hs

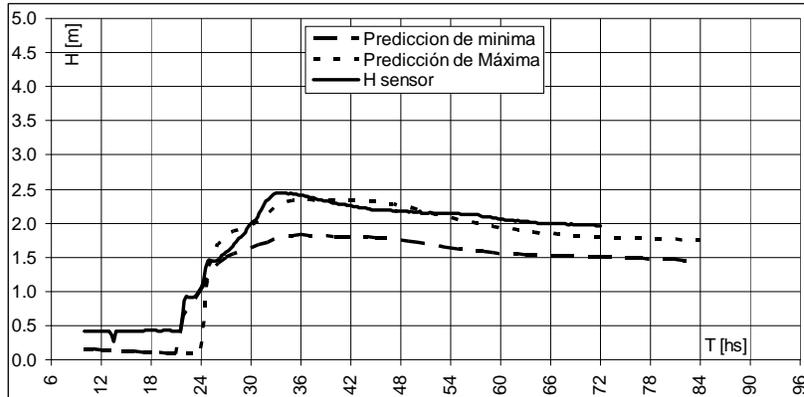


Figura 15 - Predicción a 72 hs

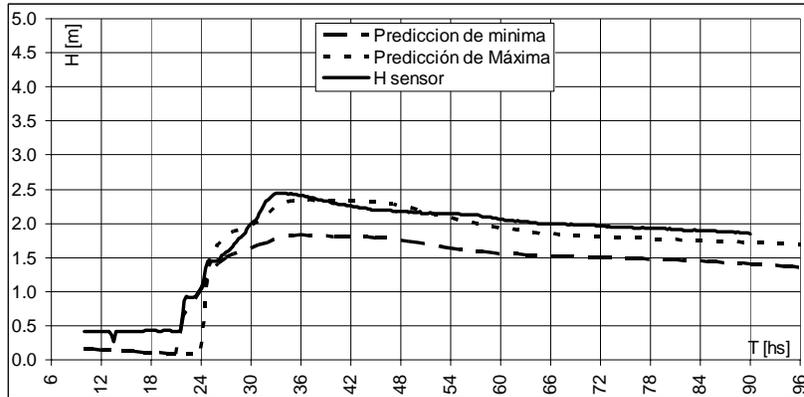


Figura 16 - Predicción a 96 hs

CONCLUSIONES

Es sabido que para que un modelo, sea cual fuere su naturaleza, resulte satisfactorio, se requiere no solo del software propiamente dicho, sino también de la constitución y calibración del mismo. En tal sentido, ha resultado muy valiosa la experiencia de casi 15 años de trabajo en las cuencas de los Arroyo Ludueña y Saladillo (Riccardi et. al. 1995; Riccardi, 1997; Stenta et. al., 2001, Riccardi et. al., 2002), tanto en el ámbito de la investigación como en el desarrollo de proyectos concretos que el grupo de trabajo del Departamento de Hidráulica de la Facultad viene desarrollando.

En cuanto al software MPHid propiamente dicho, si bien en la actualidad el MPHid se encuentra en etapa final de ajustes y lleva poco tiempo de operación; la agilidad en su uso debido a la versatilidad de las distintas herramientas, lo robusto de sus sistema de almacenamiento en base de datos MySQL y los resultados obtenidos de las corridas realizadas, hace que su conjunto el resultado auspiciosos.

REFERENCIAS

- Cunge, J.** (1975). *Unsteady flow in open channels*. Cap. 17 en: Two dimensional modelling of flood plains. (Ed. Mahmood K. and Yevjevich V.) Water Resources Publications, Fort Collins.
- Chow, V.T.** (1959) *Hidráulica de los Canales Abiertos*. Mac Graw-Hill, Edit. Diana, México.
- Chow, V.T., Maidment, D. y Mays, L.** (1994). *Hidrología Aplicada*. McGraw Hill Interamericana, Colombia, 584 pp.
- GOES 12 – Imagen**, http://cimss.ssec.wisc.edu/goes/burn/data/rtloopregional/cargntna/latest_cargntna.gif
- INTA (1972 a 1988)**. *Cartas de Suelo de la República Argentina*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- INTA (1990)** Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Atlas de Suelos de la República Argentina. Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca. Tomo II. Proyecto PNUD Argentina 85/019. 677 pag. ISBN 950-432964-2
- Orsolini, H., Zimmermann, E. D. y Basile, P. A.** (2000) *Hidrología. Procesos y Métodos*. UNR Editora.
- Rentería J. P.** (2006) El mejoramiento del modelado del escurrimiento superficial enfocado a sistemas de alerta hidrológico mediante el uso de modelos digitales de terreno. Aplicación regional en cuenca del Arroyo Saladillo (SF). Beca de iniciación en la investigación científica y tecnológica. Dir: Dr. Gerardo Riccardi. FCEIA, UNR.
- Riccardi, G. A.** (1997). “*The mathematical modelling for the delimitation of inundation risk zones*. Sustainability of Water Resources under Increasing Uncertainty” (ed. D. Rosberg et al.) IAHS Publication Nro 240, ISSN 0144-7815., Wallingford, pp.127-136.
- Riccardi, G. A.** (2001). *Un sistema de modelación Hidrológica-Hidráulica cuasibidimensional para ambientes rurales y urbanos*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, 279 pp.
- Riccardi, G., Zimmermann, E., Maurig R.** (1995). “*Math. Modelling of flood for the delimitation of zones with inundation risk*”. International Symposium on Runoff Computations for Water Projects, IAHS, San Petesburgo.
- Riccardi, G., Scuderi, C. y Stenta, H.** (2002). “Modelado de Escurrimiento Superficial con Alto Nivel de Detalle en la Cuenca del Arroyo Ludueña. Santa Fe. Argentina”. XIX Congreso Nacional del Agua. Villa Carlos Paz, Argentina. CD-ROM ISBN 987-20378-1-7. Cap. Hidrología Superficial y Subterránea.T33. pp. 1-10.
- SMN - Modelo ETA**. Pronóstico de precipitación cada 24, 48, 72 y 96 <http://www.smn.gov.ar/?mod=dpd&id=1>
- SMN - Radar Pergamino**, http://www.smn.gov.ar/radar/CMAX_PER_Z_1_01.gif
- Stenta, H. R., Scuderi, C. M.** (2001). La modelación de escurrimiento superficial con alto nivel de detalle de la cuenca del Arroyo Ludueña, Santa Fe, Argentina. Informe de adscripción. Carrera de Ing. Civil. FCEIyA. UNR.
- Stenta, H. R., Rentería, J. P. y Riccardi, G.** (2005) “*Plataforma Computacional para Gestión de Información en la Simulación Hidrológica-Hidráulica del Escurrimiento Superficial*”. XXº Congreso Nacional del Agua y IIIº Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. Mendoza. ISBN 987-22143-0-1. CD-ROM Cap. Hidrología. T 74. pp 1-13.
- Windguru**, <http://www.windguru.com/es/>
- Zimmermann, E. D.** (2000). “*Aplicación y Calibración del Modelo SHALL3 en el Sistema Hidrológico del Arroyo Ludueña, Santa Fe, Argentina*”. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas División Latinoamericana, IAHR. Vol II., pp 713-722, Córdoba, Arg. ISBN 950-33-0267-6.
- Zimmermann, E. D. y Riccardi, G. A.** (2000). “*Modelo de Simulación Hidrológica Superficial y Subterránea para Áreas de Llanura*”. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas División Latinoamericana, IAHR. Vol II, pp 169-178, Córdoba, Argentina. ISBN 950-33-0267-6.