

PRÊMIO  
MERCOCIDADES DE  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
2011

PREMIO  
MERCOCIUDADES DE  
CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
2011



**CERTIFICADO**

Certifico que o trabalho  
*Rehidología y Desarrollo de Modelo de Simulación a Tiempo Real en Sistema de Alerta Hidrológico en Las Cuencas de Los Arroyos Ludeña y Saladillo*  
apresentado por Gerardo A. Riccardi, Erick D. Zimmermann, Pedro A. Basile, Adelma M. Mancinell, Raul Postiglione, Carlos M. Scuderi, Juan Pablo Rentería, Pablo Garcia, Maria Lidia Ciabattari, Albertina González, Victoria López, Soledad Méndez Zacarias e Lucia Odicini  
foi classificado em 2º lugar na 8ª Edição do Prêmio Mercocidades de Ciência e Tecnologia/2011.

São Carlos, 26 de outubro de 2011

**Oswaldo B. Duarte Filho**

Prefeito de São Carlos (Brasil)

Coordenador da Unidade Temática de Ciência,  
Tecnologia e Capacitação da Rede Mercocidades

Realização | Realización



Correalização | Co-realización



Patrocínio | Patrocinio



*Damha*

Apoio | Apoyo

Ministério da  
Ciência e Tecnologia



## **2do PREMIO MERCOCIUDADES DE CIENCIA Y TECNOLOGIA 2011**

### **REHIDROLOGÍA Y DESARROLLO DE MODELO DE SIMULACIÓN A TIEMPO REAL EN SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO EN LAS CUENCAS DE LOS ARROYOS LUDUEÑA Y SALADILLO**

UNIDAD EJECUTORA: Departamento de Hidráulica y CURIHAM, Fac. de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura

#### GRUPO DE TRABAJO

Director de Convenio: Dr. Ing. Civil GERARDO A. RICCARDI

Representante Técnico: Dr. Ing. Civil ERIK D. ZIMMERMANN

Responsable Área Hidrología e Hidráulica: Dr. Ing. Civil PEDRO A. BASILE e Dr. Ing. Civil HERNÁN STENTA

Responsable Área Gestión y Tratamiento de Información: Msc. Inga. Civil ADELMA M. MANCINELLI e Ing. Raul Postiglione

Responsable Área Sistema de Alerta: Ing. Civil CARLOS M. SCUDERI

Responsables Área Informática: Ing. Civil JUAN PABLO RENTERÍA, Tco. PABLO GARCÍA

Becarios Alumnos de Carrera Ingeniería Civil:

Srta. Maria Lidia Ciabattari

Srta. Albertina González

Srta. Victoria López

Srta. Soledad Méndez Zacarias

Srta. Lucia Odicini

#### **RESUMEN**

A los efectos de mitigar la vulnerabilidad de la población frente a las inundaciones en la zona del Gran Rosario (provincia de Santa Fe, Argentina), la autoridad hídrica provincial gestionó el desarrollo del presente proyecto. El mismo comprendió (a) los estudios hidrológicos necesarios para diseñar las obras estructurales y acciones no estructurales necesarias para alcanzar un nivel de protección ante inundaciones para crecidas de hasta 100 años de recurrencia y (b) el desarrollo, puesta en operación, calibración, transferencia, explotación conjunta, entrenamiento de personal, confección y transferencia de manual de uso de un sistema de modelación matemática hidrológica-hidráulica, apto para un Sistema de Alerta Hidrológico (SAH) y pronóstico a tiempo real en las cuencas de los arroyos Ludueña y Saladillo de la provincia de Santa Fe.

## INTRODUCCIÓN

La región de la Llanura Pampeana (centro-este de la República Argentina) posee fuentes seguras de agua para el abastecimiento humano junto a condiciones naturales para el desarrollo agrícola-ganadero; constituyendo un escenario óptimo para el emplazamiento de importantes ciudades. A través de los años la continua migración de la población rural hacia las ciudades en procura de un mejor nivel de vida hizo que el 89% de la población argentina viva en ciudades (INDEC, 2001), situación que incrementó la presión sobre estos sistemas. Este factor sumado a otros hechos como (a) la impermeabilización de los suelos debido a prácticas agrícolas intensivas, (b) construcción de canales no planificados y canales clandestinos, (c) impermeabilización y aceleración de flujo por desarrollos urbanísticos asociados con una deficitaria planificación, hacen que las metrópolis presenten mayores condiciones de vulnerabilidad frente a las inundaciones; por lo que la protección de vidas humanas como de bienes materiales cobra cada vez mayor importancia. La región del gran Rosario ha sido históricamente afectada por las crecidas de los sistemas hídricos de los arroyos Ludueña y Saladillo. En la actualidad el sistema del arroyo Ludueña es el que mayor impacto produce en términos de afectación por inundaciones.

Las medidas a tomar frente a las inundaciones pueden ser clasificadas en dos grandes grupos: estructurales y no estructurales, la diferencia entre ellas es que las primeras actúan sobre los fenómenos durante su formación y ocurrencia, modificando las características hidrológicas e hidráulicas de la cuenca; mientras que las otras tienen como meta alcanzar la convivencia entre el hombre y el agua dentro de un determinado espacio a través de la disminución de los daños producidos por las inundaciones. Los sistemas de alerta contra inundaciones son clasificados dentro del segundo grupo, siendo su objetivo el seguimiento continuo y pronóstico de los eventos que pudieran provocar situaciones de riesgo para la población; constituyendo una importante herramienta en los procesos de toma de decisión. Las dos cualidades principales demandadas a un sistema de alerta son la precisión en el cálculo de niveles para poder actuar en consecuencia según la peligrosidad del evento y la rapidez de respuesta, ya que el mismo debe lograr una adecuada velocidad en el procesamiento y generación de resultados, ya que su objetivo fundamental es la anticipación a la ocurrencia del evento.

Históricamente acciones estructurales y no estructurales se han llevado a cabo para mitigar las inundaciones pero, el aumento de la frecuencia asociadas a caudales máximos por un lado y la ocupación de zonas con riesgo de inundación han producido un descenso de los umbrales de protección ante inundaciones que se han asumido cuando se planificaron obras ejecutadas hace unos 20 años. Entre acciones estructurales podemos citar: canalizaciones, entubamientos de cursos de zonas urbanas, presa de retención de crecidas, terraplenes de defensas; por otro lado entre las acciones no estructurales podemos mencionar el desarrollo de mapas de inundaciones para diferentes recurrencias de los eventos extremos. Sin embargo a pesar de lo que se ha podido actuar, el umbral de protección ante inundaciones ha descendido por lo que es necesario una nueva intervención del estado en las cuencas para estabilizar el aporte de excedentes. Para ilustrar el grado de modificación que ha manifestado el régimen de caudales del arroyo Ludueña podemos listar la siguiente fase secuencial de requerimiento de secciones transversales para evacuar el excedente superficial de lluvias de 50-100 años de recurrencia:

- (a) en la década de 1940 se requerían 23 m<sup>2</sup>;
- (b) en la década de 1960 : 36 m<sup>2</sup>,
- (c) en la década de 1990: 74 m<sup>2</sup> y una presa de retención de crecidas que lamina en la mitad del caudal entrante la crecida generada en la mitad de la cuenca,
- (d) en 2010: 130-140 m<sup>2</sup>.

En el contexto del diagnóstico citado la autoridad hídrica provincial llevó adelante el presente proyecto, estableciendo un convenio con la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario de modo de realizar los estudios hidrológicos necesarios para actualizar el diseño hidrológico y proyectar las obras estructurales necesarias y planificar las acciones no estructurales que se requieren para la estabilización de los aportes de excedentes superficiales tanto en la cuenca del arroyo Ludueña como en la del arroyo Saladillo, y así concretar la mitigación del impacto por inundaciones a una población superior a los 100000 habitantes con afectación directa e indirecta en la ciudad de Rosario, Ibarlucea, Funes, Roldán, Ibarlucea, Perez, Zavalla y Villa Gobernador Galvez, entre las

mas importantes. Además el proyecto comprendió el desarrollo, puesta en operación, calibración, transferencia, explotación conjunta, entrenamiento de personal, confección y transferencia de manual de uso de un sistema de modelación matemática hidrológica-hidráulica apto para un Sistema de Alerta Hidrológico (SAH) en los sistemas hídricos citados.

### **JUSTIFICATIVA**

El proyecto se justifica a partir de que propicia desarrollo de tecnología regional desarrollada en universidades públicas, empleadas para el control de los recursos hídricos y para el mejoramiento de calidad de vida de parte de la población de la región del gran Rosario en lo que concierne de la mitigación del impacto por inundaciones. El proyecto materializa la inserción de la investigación científica y tecnológica desarrollada en la universidad pública al servicio de la solución de problemáticas hídricas regionales concretas, en este caso particular asociadas a inundaciones.

### **OBJETIVOS**

El proyecto tuvo por objetivos generales:

- la elaboración de todos los estudios hidrológicos necesarios para el análisis de las modificaciones en los últimos 25 años de todas las variables y procesos dominantes en el ciclo hidrológico en general y en el régimen de caudales en particular, generados en las cuencas de los arroyos Ludueña y Saladillo, debido a posibles alteraciones y/o modificaciones climáticas y múltiples acciones antrópicas modificadoras como: nuevas canalizaciones, recanalizaciones, cambios del uso del suelo, cambios de prácticas agronómicas, construcciones de nuevas obras viales, alcantarillas y terraplenes.
- el desarrollo, puesta en operación, calibración, transferencia, explotación conjunta, entrenamiento de personal, confección y transferencia de manual de uso de un sistema de modelación matemática hidrológica-hidráulica apto para un Sistema de Alerta Hidrológico (SAH) y pronóstico a tiempo real en las cuencas de los arroyos Ludueña y Saladillo de la provincia de Santa Fe.

#### Objetivos Específicos:

- Mejoramiento de las herramientas existentes de modelación hidrológica-hidráulica físicamente basada, para la descripción de la dinámica propagatoria de los excedentes hídricos superficiales para usos en pronósticos de niveles a tiempo real y a la modelación sedimentológica en cuencas de la región.
- Afianzar la descripción de las variables hidráulicas (altura, caudal y velocidad) predominantes para su utilización como base hidrodinámica para modelos de erosión, transporte y deposición de sedimentos por acción del escurrimiento superficial.
- Generar herramientas tecnológicas (o mejoramiento de las existentes) para la reproducción del fenómeno de escurrimiento superficial compatibles con la integración en sistemas de simulación hidrológica integral.
- Proveer a las herramientas existentes de modelación físicamente basada con capacidad de simulación de crecidas históricas, de aptitud para la simulación a tiempo real en vistas a su posible utilización en sistemas de alerta hidrológico contra inundaciones.
- Optimizar la información topográfica básica demandada por la modelación de escurrimiento mediante el uso de MDT, construidos estos a partir de la información existente.
- Promover la integración de tecnologías de sistemas de información geográfica con modelos matemáticos de escurrimiento superficial para la gestión de la información de entrada y salida de los modelos.
- Promover el mejoramiento del conocimiento de la heterogeneidad espacial sobre la simulación de generación de escurrimiento superficial.

- Aportar mediante mediciones de campo al conocimiento de relaciones entre humedad del suelo y potencial de succión en la vertical, para su utilización como abstracción para la simulación de los mecanismos de pérdidas de escurrimiento en la modelación por eventos.
- Afianzar el desarrollo de tecnología local en modelos matemáticos hidrológicos-hidráulicos para la simulación integral del sistema suelo-vegetación-atmósfera.
- Contribuir a la planificación de los recursos hídricos regionales, con especial énfasis en la mitigación de inundaciones y análisis de vulnerabilidad.
- Aportar a la organización y continua actualización de bases de datos climáticos e hidrológicos.
- Promover la inserción de la investigación científica y tecnológica en la solución de problemáticas regionales en orden a mejorar la calidad de vida de la población.
- Aportar en la formación de recursos humanos en la disciplina de modelación en recursos hídricos.

### **IMPACTO DEL PROYECTO**

El proyecto ha logrado impactar fuertemente en varios aspectos a saber:

Impacto social y económico: se realizaron acciones concretas para mitigar el riesgo de inundaciones con el consiguiente riesgo de pérdida de vidas humanas y materiales en un área donde aproximadamente viven más de 100000 personal en las cuencas de los arroyos Ludueña y Saladillo. En su generalidad los habitantes de estas zonas a mitigar inundaciones son de escasos recursos por lo que se considera de mayor importancia el impacto positivo en los sectores sociales más desprotegidos de nuestra sociedad. Por otro lado la concurrencia del grupo de trabajo a las asambleas organizadas por la autoridad hídrica para debatir con los vecinos de las diferentes áreas involucradas acerca de la definición de pautas de diseño y definición de umbral de protección ha producido un impacto positivo acerca del rol de la universidad en el involucramiento en la solución de problemáticas hídricas concretas.

Impacto científico tecnológico: se considera de suma importancia el desarrollo de una tecnología local para la elaboración del software asociado al modelo de pronóstico de niveles, de esta manera se promueve la inserción de la investigación científica y tecnológica en la solución de problemáticas regionales en orden a mejorar la calidad de vida de la población. Además la realización del proyecto realizó un importante aporte en la formación de recursos humanos en la disciplina de modelación en recursos hídricos aplicado a simulación de flujo en sistemas de alerta hidrológico. Debe destacarse que dentro del marco del proyecto se asociaron dos tesis doctorales, una relacionada con el escalamiento a nivel de grilla del modelado de escurrimiento superficial y otra en el campo de los modelo de pronósticos de niveles para la predicción a tiempo real.

Se entiende que el proyecto es innovador pues acopla distintas tecnologías desarrolladas en nuestra unidad de investigación, por lo que convierte al producto tecnológico en un desarrollo totalmente local. Se han acoplado tecnologías relacionados con la transmisión de datos en tiempo real desde sensores remotos, algoritmos para generación de escenarios hidrometeorológicos extremos y algoritmos para pronóstico a tiempo real de niveles en todos los sectores de la cuenca basado en un concepto de modelación físicamente basada.

El proyecto fue ampliamente aceptado en comunidades científicas y tecnológicas nacionales e internacionales, pudiéndose comprobar mediante la constatación de la publicaciones de trabajos referidos al proyecto en Congresos Nacionales del Agua, Congreso Internacional de Hidrología, Congresos Latinoamericanos de Hidráulica, como así también en revistas internacionales.

Asimismo el proyecto contribuyó a la mejor formación de recursos humanos en grado en ingeniería civil dado que permitió involucrar en los trabajos a 5 becarios estudiantes.

## **REPLICACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto es totalmente replicable, de hecho en el marco mismo del proyecto, el modelo de pronósticos de niveles se aplicó primeramente en la cuenca del arroyo Ludueña y luego en el sistema hídrico del arroyo Saladillo. Podrá ser replicable en cualquier otra cuenca del sur santafecino con características hidrometeorológicas, hidrológicas e hidráulicas, geomorfológicas y de usos y ocupación del suelo similares.

## **RESULTADOS - CONTRIBUCIÓN A MERCOCIUDADES**

- Generación de Hidrogramas e Limnigramas para el diseño hidrológico, asociados a diferentes recurrencias de diseño 10 y 100 años para diferentes escenarios futuros de la cuenca, mediante modelación matemática hidrológica-hidráulica físicamente basada cuasi-2D.
- Determinación de caudales de diseño y cotas máximas para el diseño de obras estructurales.
- Análisis de impacto de inundaciones para evento extremo de corta duración y fuertemente focalizado.
- Mapas de inundación para todos los escenarios de diseño, asociando niveles máximos y permanencias de las aguas.
- Determinación de permanencia de agua en sitios críticos de la cuenca rurales y urbanos durante eventos extremos.
- Definición de pautas y normativas para diseño de acciones no estructurales para garantizar la estabilización de los aportes de excedentes superficiales en el futuro.
- Desarrollo de modelo de pronósticos de niveles en tiempo real mediante modelación cuasi 2D físicamente basada.
- Aceptabilidad de resultados obtenidos en términos de niveles máximos calculados por el modelo desarrollado en comparación con niveles observados en estaciones de medición.
- Mejoramiento del conocimiento del comportamiento del escurrimiento superficial de la cuenca.
- Desarrollo de una herramienta tecnológica local, para su aplicación concreta en una problemática hídrica regional y con potencial replicabilidad en otras cuencas de la región.