

# SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA LA CIUDAD DE DURAZNO (URUGUAY)

Christian Chreties, Luis Silveira, Guillermo López y Magdalena Crisci.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA)

Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

E-mail: chreties@fing.edu.uy, lesy@fing.edu.uy, glopez@fing.edu.uy, mcrisci@fing.edu.uy.

## Introducción

La ciudad de Durazno, capital del departamento homónimo ubicada en el centro del país, se ve afectada frecuentemente por inundaciones producidas por los desbordes del Río Yí, las cuales producen perjuicios socioeconómicos de considerable valor a buena parte de sus pobladores. Se trata de una ciudad de algo más de 33000 habitantes, buena parte de los cuales habita en forma consolidada el valle de inundación del río Yí, lo que se pone de manifiesto al considerar el número de personas evacuadas debido a las frecuentes inundaciones. En efecto, para la inundación acaecida en Mayo de 2007, la de mayor severidad registrada, el número de evacuados ascendió a 6000 personas, mientras que para la inundación reciente de Febrero de 2010, se registraron aproximadamente 5500.



Figura 1.- Localización ciudad de Durazno, río Yí.

El estudio sistemático de la problemática de las inundaciones en la ciudad de Durazno comienza en el año 2002 con la ejecución del proyecto “Plan de emergencia para la ciudad de Durazno, República Oriental del Uruguay” (OEA-BID-CB-MTOP, 2002). En el marco de este proyecto se desarrollaron un conjunto de estudios básicos de carácter hidrológico (hidrología estadística), hidráulico, socioeconómico y de ordenamiento territorial en la zona inundable. En base a ello, se analizaron diversas medidas a ser propuestas como parte del Plan de Emergencia para la ciudad. Como resultados más significativos del proyecto se destacan: la obtención de curvas de inundación en la ciudad para diferentes períodos de retorno de las avenidas del río Yí; el desarrollo de un primer modelo de base estadística de alerta temprana para la ciudad; y la consecución de acciones institucionales y técnicas que permitieron años después la conformación del Centro Coordinador de Emergencias Departamental de Durazno (CECOED). Estos resultados representaron una mejora muy significativa en el manejo de las emergencias de la ciudad. No obstante, diversos aspectos del plan de emergencias han requerido y requieren su revisión, actualización, mejora y en muchos casos la implementación de nuevas herramientas. Esto junto a la ocurrencia en los últimos años de eventos de crecida de alta recurrencia (2007: 500 años y 2010: 250 años) propiciaron la formulación y actual ejecución del proyecto: “Proyecto piloto de alerta temprana para la

ciudad de Durazno ante las avenidas del río Yí”. Este proyecto de la red PROHIMET (ex - CYTED) financiado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), viene siendo ejecutado desde 2009 hasta la fecha, por el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), con la coparticipación del Instituto de Teoría y Urbanismo (ITU), la Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA), el Sistema Nacional de Emergencias (SINAE), la Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE), la Dirección Nacional de Meteorología (DNM), y el Ministerio de Ganadería agricultura y Pesca (MGAP). El principal objetivo del proyecto PROHIMET es mejorar la gestión actual de las inundaciones, a través de la mejora del sistema de alerta temprana actualmente en funcionamiento, incorporando al mismo la modelación hidrológica-hidrodinámica del sistema cuenca-río. Si bien se espera diseñar un sistema de alerta basado fuertemente en la modelación hidrológica-hidrodinámica, se mantendrá, al menos en una primera etapa, un sistema simple de alerta basado en el actual, mejorando algunos aspectos de importancia.

## Sistema de alerta temprana actualmente en funcionamiento

La cuenca del río Yí ocupa aproximadamente 8750 Km<sup>2</sup> aguas arriba de la ciudad de Durazno. Se trata de una cuenca de baja pendiente, respuesta hidrológica lenta, con un tiempo de concentración aproximadamente de 54 horas, calculado por el método de Kirpich (Chow, 1994). El río atraviesa aguas arriba de la ciudad de Durazno, dos localidades: Polanco del Yí y Sarandí del Yí situadas 44 y 107 Km. aguas arriba de Durazno (Figura 2).

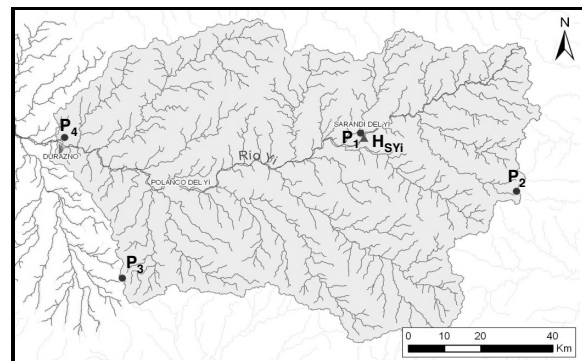


Figura 2.- Estaciones utilizadas para el modelo “Casos Blancos”

El sistema de alerta desarrollado en el marco del Proyecto OEA-BID-CB-MTOP (2002) se basa en un análisis de tipo exclusivamente estadístico. Utilizando información observada de precipitación diaria en la cuenca y niveles diarios en el río Yí en las estaciones de Durazno y Sarandí del Yí, se realizó una regresión de niveles máximos-tormentas que se expresa mediante la ecuación:

$$H_D = \alpha_1 H_{SY}^{\beta_1} + \alpha_2 P_1^{\beta_2} + \alpha_3 P_2^{\beta_3} + \alpha_4 P_3^{\beta_4} + \alpha_5 P_4^{\beta_5} \quad [1]$$

con:  $H_D$  nivel máximo en Durazno,  $H_{SY}$  nivel máximo en Sarandí del Yí,  $P_1$  hasta  $P_4$  es el registro diario de los pluviómetros 2215, 2266, 2395 y 2206 respectivamente.

Se utilizaron para ello un total de 45 eventos extremos ocurridos en el período 1987-2001 60% de los mismos utilizados para calibrar los coeficientes de regresión y 40% para su validación. En la Tabla 1 se presentan los coeficientes resultantes. La bondad del ajuste fue evaluada a partir del coeficiente de correlación ( $r$ ), resultando 0.916. Esta formulación es la base del sistema de alerta actualmente en funcionamiento en la ciudad de Durazno. Si bien esto significa un ajuste estadístico muy satisfactorio, y su implementación ha constituido para el CECOED un importante avance; desde el punto de vista operativo, realizar el alerta en base a esta formulación tiene algunas debilidades que se discuten e intentan mejorar en este trabajo.

**Tabla 1.-** Coeficientes de regresión resultantes.

Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor
$\alpha_1=$	1.4588	$\beta_1=$	0.74302
$\alpha_2=$	0.0402	$\beta_2=$	0.80355
$\alpha_3=$	1.2795	$\beta_3=$	-0.27741
$\alpha_4=$	0.4410	$\beta_4=$	0.56595

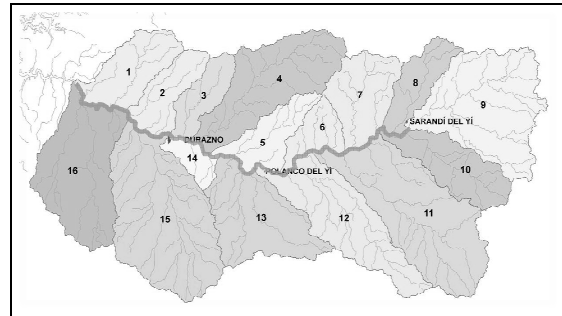
## Objetivo

El objetivo de este trabajo es discutir las fortalezas y debilidades de esta medida no estructural contra inundaciones, actualmente en funcionamiento para la ciudad de Durazno, así como proponer y evaluar posibles mejoras al sistema.

## Metodología

A los efectos de realizar una evaluación del sistema de alerta actual, se realizó un análisis de las variables que intervienen en la formulación del alerta, abarcando los siguientes aspectos: 1) sensibilidad del nivel en Durazno frente a la incertidumbre o falta de información de alguna de las variables, 2) tiempos de antelación con que se realiza el alerta, 3) nivel de acierto en eventos pronosticados. Para ello se contó con la experiencia transmitida por el CECOED en la operación del pronóstico en varios eventos de diferente magnitud, que nos brindó información sobre los 3 aspectos a evaluar planteados anteriormente. Una de las principales dificultades encontradas con el actual pronóstico es la fuerte dependencia del nivel máximo del río en Durazno al nivel máximo del río en Sarandí del Yí. En efecto, operativamente, este último se desconoce al comienzo del evento, y cuando se alcanza el máximo nivel en Sarandí del Yí, el tiempo de antelación de la crecida en Durazno suele ser escaso. En consecuencia, ante la necesidad de disponer de mayor tiempo de antelación, el CECOED realiza una estimación arbitraria del nivel en Sarandí del Yí, durante los primeros días del evento. En muchos casos, esta estimación provoca resultados muy alejados de los reales en Durazno, debido a la fuerte dependencia de este nivel respecto al de Sarandí del Yí. En el marco del proyecto PROHIMET, se realizó una modelación hidrológica de toda la cuenca del río Yí y una modelación hidrodinámica del río Yí entre Sarandí del Yí y una sección del río aproximadamente 40 Km. aguas abajo de Durazno (Figura 3). Se realizó el acople de los modelos que permitió la calibración y validación conjunta de sus parámetros (tiempos de concentración, número de curva, números de manning) utilizando datos de tormentas extremas observadas. En base a esta modelación, se avanzó en el conocimiento físico del comportamiento del sistema frente a diferentes tipos de eventos, determinando tiempos de tránsito en la cuenca y el río, tiempos de alerta, valores mínimos de precipitación que provocan cotas de

evacuación o inundación, etc.



**Figura 3.-** Modelo Hidrológico-Hidrodinámico

## Propuesta de mejora del sistema de alerta temprana.

A los efectos de realizar una mejora del sistema actual, en relación a la estimación del nivel máximo del río en Sarandí del Yí, se propone su obtención aplicando el modelo hidrológico calibrado a la cuenca de Sarandí del Yí, transformando el hidrograma de la cuenca en limnigrama en base a la curva de aforo en dicha estación, ajustada con el modelo hidrodinámico. A su vez, la precipitación en la cuenca de Sarandí del Yí se implementará de la siguiente forma:

- a) En base al valor observado de precipitación en los pluviómetros de la cuenca.
- b) En base al valor observado de precipitación del primer día y completando el hietograma en base a la forma del hietograma más probable construido para dicha cuenca.
- c) En base al valor de precipitación pronosticado a partir de modelos numéricos globales del clima regional.

## Resultados y discusión.

A los efectos de evaluar la propuesta de mejora, se simularon en tiempo real eventos de alerta, entre los que se destacan tres eventos registrados en el 2011, aplicando la metodología habitual y la metodología propuesta. Los resultados muestran que el error en el nivel máximo en Sarandí del Yí disminuye significativamente respecto a la metodología habitual, donde en la gran mayoría de los casos se estimaba arbitrariamente un rango de niveles posibles. Por otro lado, con la metodología propuesta se obtienen resultados de alerta con al menos 48 horas más de antelación, ya que fue posible inferir razonablemente los niveles de Sarandí del Yí a partir de pronósticos pluviométricos. Se prevé realizar un mayor conjunto de simulaciones en tiempo real en particular para eventos de diferentes características a efectos de asegurar la bondad del método. En paralelo, se trabaja en el desarrollo de un pronóstico basado en la modelación hidrológica-hidrodinámica de mayor sustento físico que permita conocer, la evolución temporal del nivel en Durazno con suficiente antelación. Esta información permitirá planificar más adecuadamente los procesos de evacuación.

## Referencias Bibliográficas

**OEA-BID-CB-MTOP** (2002). "Plan de emergencia para la ciudad de Durazno, República Oriental del Uruguay", Informe final, Montevideo, Uruguay.

**Silveira, L. et al.** (2011). "Proyecto piloto de alerta temprana para la ciudad de Durazno ante las avenidas del río Yí". Informe de Avances. PROHIMET-FJR-IMFIA, Montevideo, Uruguay.