

SENSIBILIDAD DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

Luis Silveira, Christian Chreties, Jimena Alonso, Gabriel Cazes, Alejandra De Vera
y Magdalena Crisci

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay.
E-mail: lesy@fing.edu.uy , chreties@fing.edu.uy , jalonso@fing.edu.uy , agcm@fing.edu.uy , adevera@fing.edu.uy , mcrisci@fing.edu.uy

Introducción

En Uruguay se registraron más de 67.000 personas evacuadas en la década pasada debido a inundaciones ribereñas, que son graduales y están asociadas a cuencas hidrográficas de más de 4.000 km² de superficie. El Sistema Nacional de Emergencias (SINAE) califica este tipo de eventos como el más frecuente y de mayor impacto en el país.

Desde fines de los años 90 se ha trabajado activamente en la prevención y en la mitigación de estas emergencias hidrológicas. En particular, como consecuencia de las inundaciones acaecidas en 2007, cuando fueron evacuadas unas 12.000 personas en los departamentos de Durazno, Treinta y Tres y Soriano, las instituciones nacionales (SINAE, Dirección Nacional de Aguas - DINAGUA, Instituto Uruguayo de Meteorología - INUMET e Intendencias Municipales) y la Universidad de la República - UDELAR, comenzaron a desarrollar un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones (SATI-UY) para la ciudad de Durazno, en el marco de un acuerdo entre la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Fundación Julio Ricaldoni (FJR-FING). Al mismo tiempo, las autoridades nacionales encararon el reasentamiento de pobladores identificados como “en situación permanente de evacuados potenciales”, por habitar en zonas inundables con baja recurrencia. Históricamente, la inundación de 1959 es la máxima conocida, con casi 45.000 personas evacuadas, hasta los eventos ocurridos a partir de 1997. Desde ese entonces se han registrado eventos en ciudades ribereñas con hasta 5.000 a 6.500 evacuados por ciudad, sobre poblaciones de entre 30.000 a 45.000 habitantes.

En este contexto, el objetivo de este trabajo consiste en avanzar en la comprensión de la sensibilidad del SATI-UY dependiendo de las características hidrológicas de las cuencas hidrográficas de interés, para su implementación en el Uruguay.

Cuencas seleccionadas para el estudio

Se seleccionaron las cuencas de los ríos Yí, Cuareim y Olimar. La primera corresponde a la ciudad de Durazno, donde se desarrolló el SATI-UY, operativo desde 2011. En la segunda y tercera se ubican las ciudades de Artigas y Treinta y Tres respectivamente, siendo de las más afectadas por inundaciones ribereñas, lo que motiva la extensión del SATI-UY a dichas ciudades.

A diferencia de la cuenca del río Yí, de respuesta lenta, con un tiempo de concentración (Tc) de 54 hs, las cuencas de los ríos Cuareim y Olimar son de respuesta relativamente rápida, con un Tc de 33 y 30 hs, respectivamente.

Tabla 1.- Principales características de las ciudades y cuencas bajo estudio.

Ciudad	Población		Máximo de evacuados	Cuenca	Área	Tc
	[hab]	[hab]	[fecha]			
Durazno	33.576	6.000	5/2007	Yí	8.750	54
Artigas	40.668	7.600	6/2001	Cuareim	4.570	33
Treinta y Tres	25.477	2.800	5/2007	Olimar	4.670	30

Las características más relevantes de las cuencas seleccionadas, así como de las ciudades afectadas, se presentan en la Tabla 1.

Conviene destacar que la cuenca del río Cuareim es trans-fronteriza Uruguay-Brasil, abarcando un 45% de su superficie en territorio brasilero, siendo el propio río Cuareim el límite fronterizo.

Metodología

El SATI-UY se compone de cuatro módulos:

1) adquisición de datos, 2) sistema de pronóstico de niveles (SPN), 3) sistema de información espacial (SIE) y 4) salida operativa (Chreties et al., 2011; Silveira et al., 2012; Silveira et al., 2015). El estudio de sensibilidad comprende los dos primeros módulos y la salida operativa.

Para evaluar la sensibilidad del SATI-UY se analizaron:

1) El tiempo de tránsito, en caso de existir estaciones hidrométricas aguas arriba de las ciudades, y/o el tiempo de respuesta de las cuencas, para los eventos utilizados en el proceso de calibración del modelo hidrológico-hidrodinámico, así como los eventos registrados desde la puesta en operación del SATI-UY. En los casos en que solo se cuenta con información de paso diario, se consideró como tiempo de respuesta el tiempo entre el día de mayor lluvia y el día en que ocurre el nivel máximo.

2) La precisión (margen de errores aleatorios y exactitud (desvíos sistemáticos) de los modelos numéricos de pronóstico meteorológico. Se utiliza un ensemble de tres modelos: i) GFS (Global Forecast System) de la NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos) escalado a las cuencas de estudio; ii) ETA escalado regionalmente por CPTEC (Centro de Previsión del Tiempo y Estudios Climáticos de Brasil) e iii) modelo europeo COSMO (Consortium for Small-scale Modelling) escalado regionalmente por INMET (Instituto de Meteorología de Brasil). En todos los casos se considera el pronóstico emitido el día previo al inicio del evento.

3) El pronóstico de niveles máximos del SATI-UY en base a registros observados de precipitación y modelos numéricos de predicción meteorológica.

Resultados

La Figura 1 muestra los tiempos de tránsito en la cuenca del río Yí entre las estaciones hidrométricas Sarandí-Durazno y Polanco-Durazno, y la Figura 2 los tiempos de respuesta en la cuenca del río Cuareim.

En la cuenca del río Yí, las diferencias entre el pronóstico meteorológico emitido el día previo al inicio del evento y la lluvia registrada no incidieron en el nivel máximo pronosticado.

En cambio, en la cuenca del río Cuareim, la mayor diferencia se produjo en el evento que tuvo lugar entre el 8 y 10 de abril de 2017, según se muestra en la Figura 3.

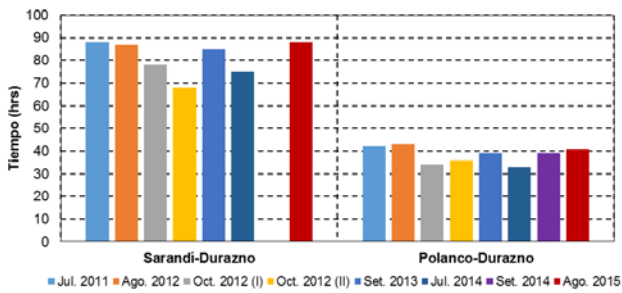


Figura 1.- Tiempos de tránsito en la cuenca del río Yí, entre las estaciones hidrométricas Sarandí-Durazno y Polanco-Durazno.

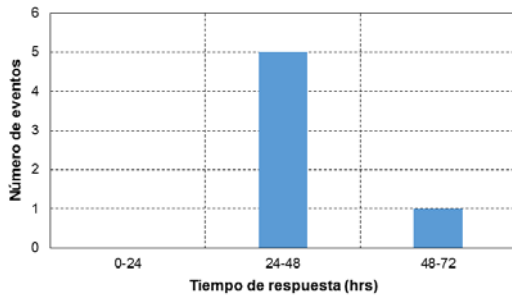


Figura 2.- Tiempos de respuesta en la cuenca del río Cuareim.

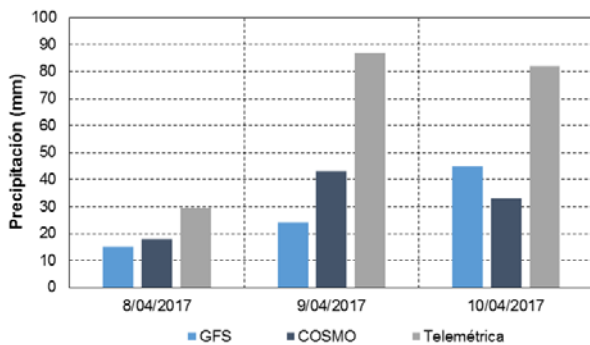


Figura 3.- Precipitación pronosticada por los modelos numéricos de pronóstico meteorológico y precipitación registrada en la cuenca del río Cuareim, en el evento ocurrido entre el 8 y 10 de abril de 2017.

La lluvia total pronosticada por los modelos numéricos GFS y COSMO fue 87,7 y 94,9 mm, respectivamente, mientras que las estaciones telemétricas registraron una lluvia total media sobre la cuenca de 197,5 mm. Es decir, un pronóstico meteorológico -57,6 y -51,9% menor a la lluvia real registrada. Estas diferencias en el pronóstico meteorológico conducen a que el nivel máximo pronosticado por el SATI-UY, con base solamente en pronósticos de lluvia, sea -5,4 y -4,6 m menor que el nivel máximo registrado.

No obstante, el nivel máximo pronosticado por el SATI-UY, con base en registros medidos de lluvia, es aceptable según puede observarse en la Figura 4, en la que se compara la curva de inundación pronosticada para la ciudad de Artigas con los puntos relevados en campo.

Conclusiones preliminares

Del análisis de sensibilidad realizado en función de los datos disponibles actualmente, surge que en la cuenca del río Yí el tiempo de tránsito entre Sarandí y Durazno se ubica en el rango 68-88 hs, para los siete mayores eventos registrados entre 2011 y 2015. Por consiguiente, el tiempo de tránsito es del mismo orden o superior a los pronósticos meteorológicos utilizados.

Por lo tanto, en la cuenca del Yí la precisión de los pronósticos está asociada a la pre-alerta, en tanto que el pronóstico del nivel máximo puede basarse enteramente en datos de precipitación medida en tiempo real. Esto último conlleva a que la precisión del nivel máximo pronosticado dependa de los parámetros de calibración del modelo acoplado hidrológico-hidrodinámico y de la representación de los fenómenos hidrológicos asociados a la relación precipitación-escorrentía.



Figura 4.- Curvas de inundación emitida por el SATI-UY para la ciudad de Artigas y relevada en campo, en el evento ocurrido entre el 8 y 10 de abril de 2017.

En la cuenca del río Cuareim el tiempo medio de respuesta, hasta el momento en base a datos acumulados diarios de precipitación, es de 24 a 48 hs, inferior a las 72 hs de pronóstico meteorológico. Ello conduce a que la alerta emitida por el SATI-UY dependa de la precisión de los pronósticos numéricos meteorológicos. El evento que tuvo lugar en abril de 2017 muestra que la precipitación pronosticada por los modelos GFS y COSMO representó aproximadamente -55% de la precipitación real medida en la red de estaciones telemétricas, lo que produce un error medio de -5,0 m en el nivel máximo pronosticado. El error del SATI-UY en desarrollo, con base en registros medidos de precipitación, fue de -1,3 m. Si bien este error es aún superior al error que puede admitirse cuando el sistema esté completamente desarrollado, una alerta con base en solamente datos medidos resulta inefectiva, puesto que por los tiempos de respuesta de la cuenca, su emisión ocurre cuando la ciudad ya está inundada.

Una situación similar ocurre en la cuenca del río Olimar, donde una de las sub-cuencas afluentes de mayor relevancia (arroyo Yermal) está caracterizada por importantes pendientes que influyen en forma significativa en los tiempos de respuesta y en consecuencia en la importancia del pronóstico meteorológico.

Referencias bibliográficas

- Chreties, C., L. Silveira, G. López, y M. Crisci (2011) Sistema de Alerta Temprana para la ciudad de Durazno (Uruguay). *Memorias del Quinto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Santiago del Estero, Argentina.*
- Silveira, L., G. López, C. Chreties and M. Crisci (2012). Steps towards an early warning model for flood forecasting in Durazno city in Uruguay. *Journal of Flood Risk Management* No. 5 pp. 270-280.
- Silveira, L., C. Chreties, M. Crisci, G. Usera y J. Alonso (2015) Sistema de alerta temprana para previsión de avenidas en la ciudad de Durazno. *INNOTEC Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay.* No. 10 pp. 56-63. ISSN 1688-3691.