

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE PERSONAS DURANTE INUNDACIONES URBANAS A PARTIR DE RESULTADOS DE MODELACIÓN NUMÉRICA

Mariano Re^{1,2}, Daniel Golluscio^{2,1}, Leandro Kazimierski^{1,2} y Nicolás D. Badano^{1,2}

¹ Instituto Nacional del Agua, Argentina.

² Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
E-mail: m.re@ina.gob.ar

Introducción

Los eventos extremos de inundación pueden causar grandes pérdidas económicas y/o humanas. La gravedad del impacto de una inundación dependerá de las condiciones de exposición ante semejante amenaza. La ocurrencia de inundaciones en cuencas urbanas densamente pobladas hace que las personas que ocasionalmente se movilizan dentro de las zonas de anegamiento se encuentren expuestas a la pérdida de la estabilidad y puedan llegar a ser arrastradas por la corriente.

La probabilidad de que un peatón pierda la estabilidad depende principalmente de las condiciones hidrodinámicas y las características antropométricas de la persona. En general, la caracterización de las condiciones hidrodinámicas del flujo de inundación se realiza a partir de dos variables principales: tirante de agua y velocidad del flujo. En tanto, las propiedades del cuerpo humano que se expone a esa corriente suelen representarse a partir de su talla y peso. La vinculación de estas variables con el objetivo de detectar umbrales de inestabilidad se realiza disponiendo de variados criterios de estabilidad.

El objetivo de este trabajo es caracterizar la peligrosidad para las personas, vinculada a la inestabilidad, asociada a un evento extremo ordinario en una cuenca densamente poblada.

Criterios de estabilidad

En la literatura reciente pueden encontrarse nuevas formulaciones de criterios de estabilidad de personas durante una inundación obtenidas con sólida base física (Xia et al., 2014; Milanesi et al., 2015; Arrighi et al., 2016). Todos los criterios basan su análisis en la modelación del cuerpo humano y en el estudio de las ecuaciones de equilibrio que involucran a todas las fuerzas intervinientes. Las diferencias residen principalmente en el abordaje de la modelación del cuerpo (física o numérica) y en el grado de simplificación de las fuerzas dinámicas que actúan sobre el cuerpo humano.

Dos mecanismos diferentes son los que pueden causar la inestabilidad de personas durante una inundación: volcamiento o deslizamiento. El volcamiento se produce cuando el momento movilizador causado por el flujo incidente excede el momento de resistencia ofrecido por el peso resultante del cuerpo. El deslizamiento ocurre si la fuerza de arrastre del flujo es mayor que la resistencia a la fricción entre los pies de la persona y la superficie del terreno.

En este trabajo, el estudio de la estabilidad de personas expuestas a una inundación se realiza a partir de la utilización de los siguientes criterios:

- Xia et al. (2014) obtienen dos fórmulas para la velocidad de flujo incipiente en un cuerpo humano para la inestabilidad al deslizamiento y al volcamiento. Estas relaciones están basadas en un análisis mecánico, y ambas tienen en cuenta el efecto de la flotabilidad del cuerpo y la influencia de un perfil de velocidad de corriente no uniforme actuando desde aguas arriba sobre el cuerpo humano. Estas relaciones fueron validadas con modelos físicos de escala humana.

- Milanesi et al. (2015) presentan un criterio de vulnerabilidad basado en el análisis de un modelo simplificado del cuerpo humano y estudiando la estabilidad ante deslizamiento o volcamiento por medio del equilibrio de fuerzas y momentos. Además, consideran la posibilidad del ahogamiento de la persona a partir de un tirante máximo. Este criterio se validó contrastando una variedad de experimentos en modelos físicos.
- Arrighi et al. (2017) proponen un análisis adimensional basado en la propuesta de un parámetro de movilidad que depende del número de Froude del flujo, y que está validado a partir de la simulación tridimensional de las fuerzas hidrodinámicas que actúan sobre el cuerpo humano durante la inundación.

Modelación numérica

En la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA), la ocurrencia de precipitaciones extremas produce inundaciones urbanas, impactando de manera directa en la calidad de vida de la población. Precipitaciones ocurridas recientemente en la RMBA, como las de Octubre 2012, Abril 2013 o Febrero 2014, con volúmenes del orden de los 100 mm en un día, no solo han ocasionado serios problemas sociales sino también un deterioro en la infraestructura existente.

La cuenca del arroyo Dupuy, en la localidad de Laferrere en La Matanza (Buenos Aires, Argentina) tiene una población de unos 200.000 habitantes. Durante los últimos cinco años, los habitantes de la cuenca baja en Laferrere Sur (la zona de mayor impacto) han sufrido alrededor de 40 inundaciones debido al desborde del arroyo.

En esta región se combinan la alta probabilidad de inundaciones con la alta densidad poblacional. Por este motivo resulta necesario estudiar el peligro asociado a la inestabilidad de las personas de la cuenca durante un evento de inundación.



Figura 1.-Problemática de la estabilidad de personas en la cuenca del arroyo Dupuy, Laferrere (calle García Merou, entre Sáenz y Varela).

Para la evaluación de las características del flujo en calles durante una inundación en esta cuenca, se utilizó un modelo hidrológico-hidráulico presentado por Re et al. (2018), basado

en el código EPA-SWMM implementado para toda la cuenca del arroyo Dupuy a partir de datos preprocesados a través de un Sistema de Información Geográfico.

Resultados

Se realizó la modelación numérica de la cuenca del arroyo Dupuy para la tormenta del 7 de febrero de 2014. Se seleccionó esta tormenta por ser una de las más importantes de los últimos 5 años (llovieron alrededor de 120 mm en unas 8 horas).

De la simulación se extrajeron las series de velocidad y profundidad de flujo en cada tramo de calle de la cuenca. Luego se plantearon las características antropométricas medias de niños y adultos, y se obtuvieron las curvas que representan los umbrales de estabilidad de los tres criterios anteriormente mencionados en función de la profundidad y la velocidad del flujo (se observa que existen diferencias relativamente importantes entre los criterios, sobre todo para las velocidades menores). En cada tramo de calle se vincularon estas curvas con la serie de profundidad del agua y velocidad (Figura 2).

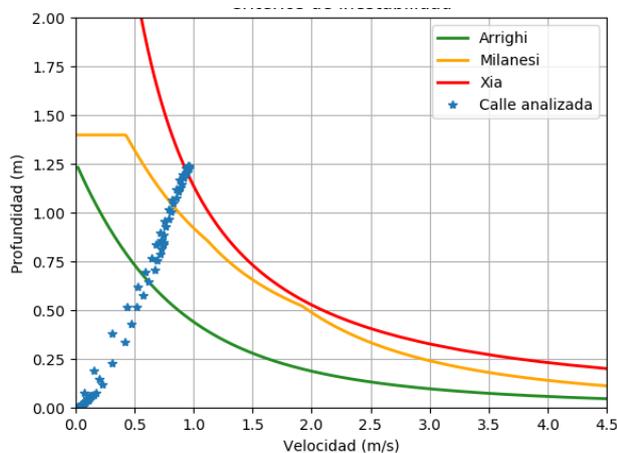


Figura 2.- Análisis de los criterios de estabilidad considerando adultos y la hidrodinámica simulada de una calle particular.

Para cada tramo de calle se obtuvo, según el criterio utilizado, si había sobrepaso del umbral de estabilidad. Este análisis permitió realizar cartografía indicando las zonas con peligro de inestabilidad de personas de acuerdo a la tormenta estudiada (Figura 3).

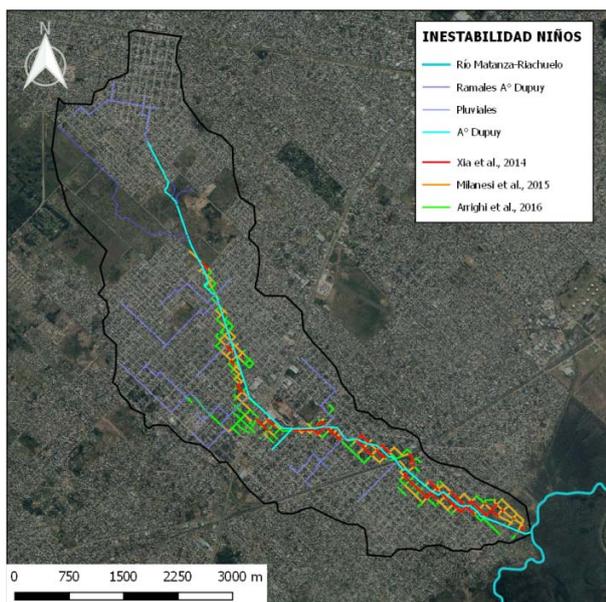


Figura 3.- Mapa de calles con peligro de inestabilidad para niños.

Luego, se calculó el tiempo durante el cual se excede el umbral de estabilidad en cada tramo de calle poniendo en riesgo a distintos grupos de personas. La posibilidad de asociar tramos de calles peligrosas con tiempos de exposición, a través de cartografía específica, ofrece mayor precisión en la caracterización de la amenaza. A modo de resumen, en la Figura 4 se presenta, para toda la cuenca, el tiempo promedio de peligrosidad para cada criterio diferenciando entre personas adultas y niños.

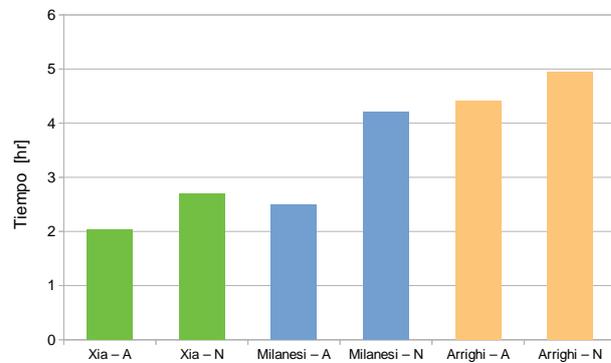


Figura 4.- Duración promedio de la peligrosidad para los distintos criterios para la tormenta del 7 de febrero de 2014.

Conclusiones

La aplicación de criterios de análisis de estabilidad para personas, desarrollados con sólida base física, y validados a partir de distintas estrategias de representación del cuerpo humano, resulta una tarea ineludible en la comprensión de la peligrosidad de las inundaciones en cuencas urbanas.

La cantidad de tramos de calles con peligro de inestabilidad de personas durante una inundación depende del criterio de determinación. Para el evento del 7 de febrero, en la cuenca del arroyo Dupuy, se observa que la cantidad de tramos calles peligrosas no resulta con diferencias importantes, lo que permite establecer con precisión zonas donde se puedan aplicar medidas de mitigación de posibles impactos (señalización, colocación de barandas, etc.).

Debido a las características de los eventos que producen impactos importantes en esta cuenca y a las dinámicas que se dan en la zona en cuanto a la gestión de la inundación, las diferencias entre los criterios en cuanto a los tiempos de duración promedio de la situación de inestabilidad no resultan significativas. El resultado del rango promedio de 2-5 horas de situación de inestabilidad en una zona acotada de calles de la cuenca representa una caracterización muy útil para la gestión del riesgo en la cuenca y para la implementación de medidas que permitan mitigar el impacto de las inundaciones.

Referencias

- Arrighi, Ch., Oumeraci, H., Castelli, F. (2017), Hydrodynamics of pedestrians' instability in floodwaters, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 515–531, doi:10.5194/hess-21-515-2017
- Milanesi, L., Pilotti, M., Ranzi, R. (2015), A conceptual model of people's vulnerability to floods, *Water Resour. Res.*, 51 (1), 182–197, doi: 10.1002/2014WR016172.
- Re, M., Kazimierski, L.D., Badano, N.D. (2018), *High-resolution urban flood model for risk mitigation validated with records collected by the affected community*, *Journal of Flood Risk Management* (en revision).
- Xia, J., Falconer, R.A., Wang, Y., Xiao, X. (2014), *New criterion for the stability of a human body in floodwaters*, *J. Hydraul. Res.*, 52(1), 93–104, doi:10.1080/00221686.2013.875073.