

# EVALUACIÓN COMPUTACIONAL DEL IMPACTO DE LOS TECHOS VERDES EN LA REDUCCIÓN INUNDACIONES EN LA REGIÓN CENTRAL DE CHILE

Carlos S. Lopez-Aburto<sup>1</sup>, Daniel Mora-Melia<sup>1\*</sup>, Pablo Ballesteros-Pérez<sup>2</sup>,  
y Jimmy H. Gutierrez-Bahamondes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca.

<sup>2</sup>School of Architecture, Building and Civil Engineering, Loughborough University, LE11 3TU Loughborough, United Kingdom.

E-mail: carlopez13@alumnos.otalca.cl (L-A.C); damora@otalca.cl (M-M.D); p.ballesteros@lboro.ac.uk (B-P.P);

jgutierrezb@otalca.cl (G-B.J) \* Corresponding author

## Introducción

Durante las dos últimas décadas, la mayor parte de las ciudades chilenas han experimentado un gran aumento de población y urbanización, sustituyendo suelos que antes eran naturales y/o agrícolas por superficies impermeables urbanas. Obviamente, este cambio en el uso del suelo provoca un aumento de la escorrentía superficial ocasionando desbordes, inundaciones, erosión, difusión de contaminantes, entre otros, cuando se producen fuertes precipitaciones (Berardi et al. 2014). Particularmente, muchas de las ciudades de la región central de Chile presentan numerosos sectores conflictivos que quedan inundados durante las lluvias invernales. Adicionalmente, la falta de espacios verdes en las ciudades acarrea complicaciones relacionadas con pérdida de biodiversidad, aumento de temperaturas, mayor demanda energética, impermeabilidad, etc. En este sentido, los techos o cubiertas verdes están valorados como elemento de mitigación del cambio climático y pueden disminuir el caudal de escorrentía superficial en las ciudades (Benvenuti 2014).

Este trabajo plantea la generación de un modelo basado en cubiertas verdes que permita reducir la escorrentía urbana y por tanto, mitigar las inundaciones en determinados sectores conflictivos de las ciudades. En base a lo anterior, este trabajo establece un marco operativo de actuación en las calles de una ciudad de la región central de Chile (Curicó), identificando una serie de sectores conflictivos que se inundan cuando se registran lluvias. A partir de los datos obtenidos en terreno y con la colaboración de las instituciones públicas se construye un modelo hidrológico bajo el entorno de SWMM, se introducen lluvias de diseño de diferente intensidad en base a datos reales y se simula la instalación de distintos modelos de cubiertas verde comercial en edificios cercanos a los puntos de inundación identificados. Las simulaciones permiten establecer, entre otros datos, el área que debería permeabilizarse con cubiertas verdes para evitar inundaciones.

Los resultados finales demuestran que la utilización de techos verdes en el entorno de estos sectores conflictivos produce una reducción considerable de escorrentía superficial, evitando la saturación de los mismos, y por tanto, inundaciones durante eventos cortos con lluvias intensas.

## Metodología

El empleo de modelos hidrológicos permite simular los procesos de transformación lluvia-escorrentía en una cuenca representada como un sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos interconectados. Este trabajo utiliza como modelo dinámico de simulación el proporcionado por el software EPA-SWMM (James et al. 2010), que modela las cubiertas verdes como una variante de una célula de biorretención, con una capa drenante bajo la capa suelo que evacúa el exceso de agua percolada tras un episodio de lluvia.

Así, a partir de la información suministrada por la Dirección de Protección Civil (DPC) y salidas a terreno se identifican numerosos puntos críticos con frecuentes inundaciones en caso de lluvia. Sin embargo, aquellas localizaciones con reducida

densificación de viviendas son descartadas. Adicionalmente, la selección de puntos de inundación sobre los que realizar la simulación computacional se clasifican en base a distintos criterios, como i) Inspección visual; ii) Disponibilidad de m<sup>2</sup> en los alrededores; iii) Pendiente en las cubiertas verdes ya construidas; iv) Capacidad y resistencia de las viviendas elegidas que permita soportar el peso estructural de la cubierta verde. Tras un primer análisis, y en base a los criterios de clasificación anteriores, se consideran seis puntos representativos, a fin de construir el modelo computacional y evaluar los resultados.

Para la construcción del modelo hidrológico es imprescindible recolectar la información de los distintos parámetros y variables que van a intervenir en la simulación computacional. Así, en primer lugar y por medio de aplicaciones de software libre como Google Earth se delimitan y calculan todas las superficies donde es viable la instalación de cubiertas verdes. Una vez recopilada toda la información se construye el modelo hidrológico bajo el entorno de SWMM. La figura 1 muestra el modelo del diseño hidrológico creado para uno de los casos de estudio, donde se definen los nudos de descarga (colectores), los conductos existentes entre nudos, los puntos de vertido y el pluviómetro.



**Figura 1.-** Caso de estudio: a) Delimitación superficies en Google Earth; b) Construcción del modelo en SWMM

Respecto a la lluvia de diseño, se han generado curvas IDF utilizando la información disponible en los anuarios Climatológicos de la Dirección Meteorológica de Chile. Así, se incorporan al modelo dos eventos distintos de lluvia. El primero de ellos (ST\_01) acumula una precipitación máxima de 55.698 mm en 24 horas (evento de lluvia moderado), mientras que el segundo (ST\_02) acumula 87.291 mm en 24 horas (evento de lluvia fuerte).

Por último, respecto de las cubiertas verdes seleccionadas para el modelo se considera que dado el nivel socio-económico promedio de la región analizada, es deseable que las cubiertas verdes sean económicas y no requieran de mucho mantenimiento. Además, debido a la tipología de edificación predominante en los sectores de estudio, es necesario instalar cubiertas inclinadas entre un 10 y un 30%. Por último, teniendo en cuenta que las fuerzas de empuje aumentan con la pendiente de las cubiertas y que estas deberán ser transferidas a la estructura mediante bordes perimetrales fuertes o barreras de retención estables, se considera que las cubiertas de tipo extensivo y semi-extensivo serían las más aconsejables.

En base a esto, las simulaciones computacionales del modelo hidrológico son realizadas con tres soluciones comerciales

distintas de cubierta verde, donde las variaciones principales entre unas y otras son el tipo de vegetación, la inclinación, el espesor del sustrato, el espesor de la vegetación, y el espesor de la capa de drenaje.

## Resultados

Una vez completado el modelo se realiza una primera simulación sin modificaciones a la situación original detectada en terreno. El objetivo es comprobar que las inundaciones observadas son replicadas por el modelo hidrológico construido. Los resultados obtenidos por SWMM representaron correctamente las inundaciones en todos los casos estudiados.

Una vez validados los modelos hidrológicos, estos son modificados para incluir las distintas opciones de cubierta verde comercial en los techos disponibles alrededor de cada caso de estudio. Cada uno de los tres modelos de cubierta verde propuestos en este trabajo se analiza por separado.

La utilización de los módulos LID dentro de un proyecto de SWMM permite implementar las cubiertas verdes a toda el área de estudio o bien a cualquier combinación y tamaño deseado a las sub-cuencas seleccionadas. En este trabajo, cada caso de estudio contempla cuatro alternativas a fin de comprobar la cantidad de escorrentía superficial que podría reducirse en función del porcentaje de superficie verde instalada respecto del total de superficie disponible. La figura 2 muestra la reducción de escorrentía (%) en función de la superficie de cubierta verde instalada en relación a la superficie total disponible para el caso de estudio n° 4.

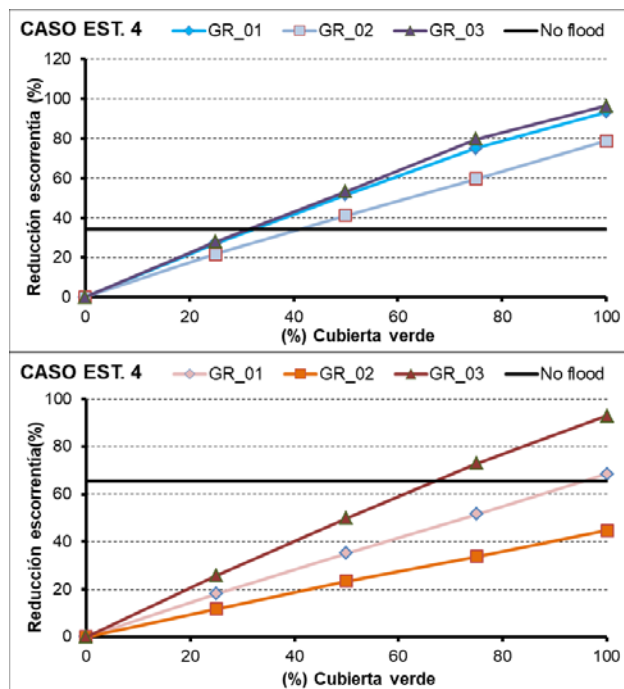


Figura 2.- Reducción de escorrentía superficial al incorporar cubiertas verdes.

La figura muestra, para el evento de lluvia moderado (figura superior), como todos los modelos de techo verde implementados evitan la inundación del colector cubriendo al aproximadamente un 30% de la superficie disponible para cubiertas. En el caso del evento de lluvia de mayor intensidad (figura inferior) es necesario aumentar la superficie de cubierta verde al menos hasta un 70% para el tipo GR\_03, mientras que las otras dos cubiertas ensayadas no son capaces de evitar la inundación para lluvias de mayor intensidad. Este protocolo se repite para el resto de casos de estudio analizados. En términos

generales, los resultados muestran como para lluvias de intensidad moderada todos los sectores críticos evitan la inundación cubriendo como máximo el 50% de la superficie disponible en los alrededores con techos verdes.

Por otro lado, si las lluvias son de fuerte intensidad no todos los tipos de cubierta verde pueden evitar la inundación, independientemente de la superficie de cubierta verde instalada. Así, la cubierta GR\_02 no fue capaz de evitar la inundación en cuatro de los seis casos de estudio, ni siquiera cubriendo el 100% de superficie disponible. En este sentido, para lluvias de fuerte intensidad, la cubierta GR\_03 es la que mejor comportamiento tiene, dado que es capaz de retener suficiente agua y evitar la inundación en todos los casos.

Además, atendiendo a las características constructivas de las tres cubiertas analizadas, los resultados muestran como el espesor de la capa de vegetación y del sustrato influyen considerablemente en la capacidad de retención del agua. En este sentido, la cubierta GR\_02 requiere de mucha mayor superficie que las otras dos para reducir la misma escorrentía y evitar la inundación.

## Conclusiones

La metodología propuesta tiene como objetivo definir si es posible controlar la inundación en sectores localizados mediante sistemas de drenaje sostenible. Para ello se identifican una serie de sectores críticos y se realiza un modelo computacional que permite analizar el impacto que tendría que la instalación de cubiertas verdes en estos puntos. De acuerdo a los resultados obtenidos, es posible afirmar que:

- La instalación de cubiertas verdes en los sectores críticos analizados reduce considerablemente la escorrentía urbana, permitiendo controlar razonablemente bien las inundaciones cuando las precipitaciones son de intensidad moderada.
- Ante precipitaciones de fuerte intensidad, la superficie de cubierta verde necesaria para controlar la inundación es mucho mayor, y se da el caso de que dos de las tres cubiertas simuladas no pueden controlar las inundaciones en cuatro de los seis casos de estudio.

De acuerdo a lo anterior, en términos generales puede concluirse que las cubiertas verdes pueden ayudar a controlar la inundación en los sectores conflictivos de las ciudades, al menos cuando estas se producen con precipitaciones de intensidad moderada.

Como conclusión final, y de acuerdo al trabajo desarrollado, el promover tecnologías verdes debe ser una prioridad para países en desarrollo como Chile. Sin embargo, las condiciones socio-económicas del sector a intervenir es un factor relevante a la hora de tomar una solución de compromiso acerca del mejor tipo de cubierta a instalar en cada caso. En este sentido, el desarrollo de una política de incentivos o beneficios por parte del gobierno local para instalar o promover el uso de estas infraestructuras es una herramienta esencial que deberá ser analizada en trabajos futuros.

## Referencias

- Benvenuti, S. (2014). "Wildflower green roofs for urban landscaping, ecological sustainability and biodiversity." *Landscape and Urban Planning*, Elsevier, 124, 151-161.
- Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., and GhaffarianHoseini, A. (2014). "State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs." *Applied Energy*, Elsevier, 115, 411-428.
- James, W., Rossman, L. A., and James, W. R. C. (2010). "User's guide to SWMM 5:[based on original USEPA SWMM documentation]." CHI.