

SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SUSTENTABLE EN CONTEXTO DE CALLES COMPLETAS

**SÍNTESIS DE
INVESTIGACIÓN**

Nº9, Noviembre
2020

SINTESIS DE INVESTIGACIÓN
**SISTEMAS DE DRENAJE
URBANO SUSTENTABLE
EN CONTEXTO DE CALLES
COMPLETAS**

© Centro de Desarrollo
Urbano Sustentable
CEDEUS

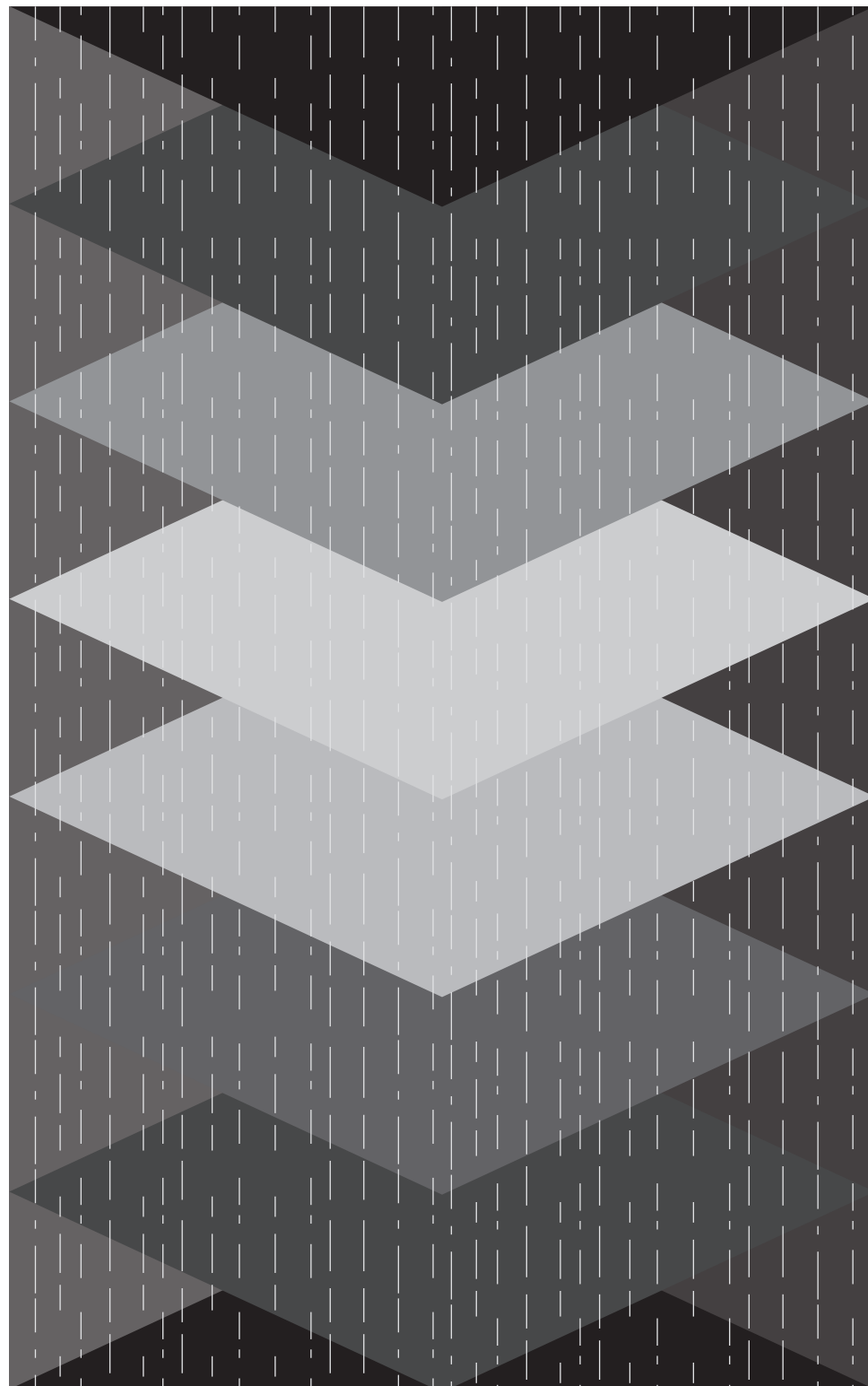
Autores
Valentina Cerda
Jorge Gironás

Cómo citar este documento:

Cerda, V., Gironás, J., (2020).
*Sistemas de drenaje urbano
sustentable en contexto de
calles completas.* Síntesis de
Investigación N°9. Centro de
Desarrollo Urbano Sustentable,
Santiago.



Atribución-NoComercial 4.0
Internacional (CC BY-NC 4.0)
Primera edición,
Noviembre 2020 / N°9



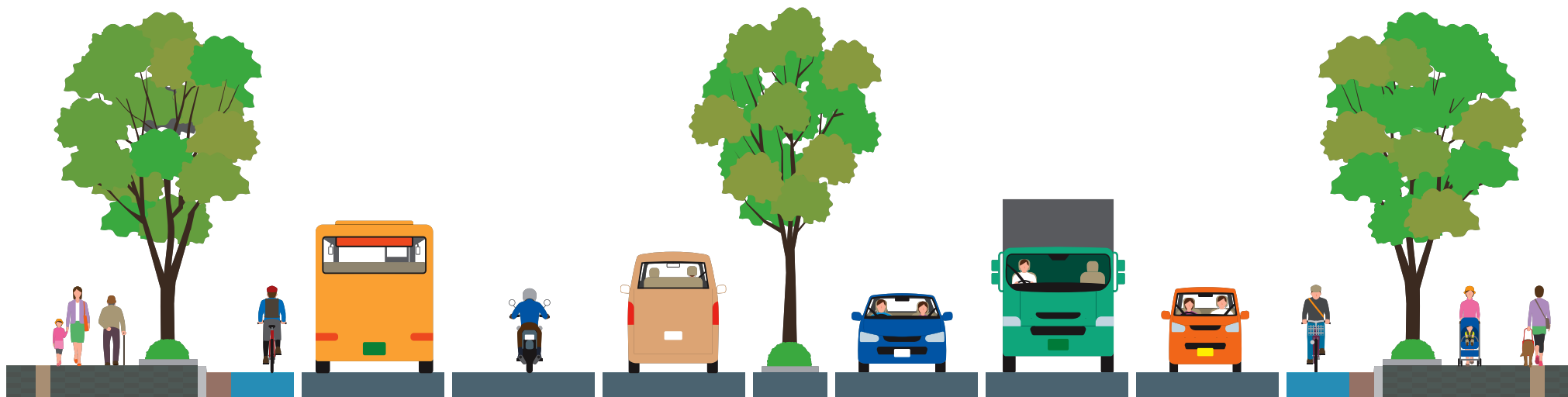
Los Sistemas de Drenaje Urbano Sustentable contribuyen a minimizar las externalidades negativas del proceso de urbanización y a preservar el ciclo hidrológico natural a través del control local de escorrentía.

Pueden complementar o reemplazar los sistemas de drenaje tradicionales basados en colectores subterráneos, particularmente frente a tormentas relativamente frecuentes.

Las calles diseñadas como ecosistemas naturales que capturan e infiltran las aguas lluvias pueden generar enormes beneficios hidrológicos, ambientales y urbanos.

Son un componente crítico en el diseño de Calles Completas, asegurando que las calles sigan siendo utilizables y seguras para todas las personas durante las tormentas, independiente del medio de transporte.





Reconstrucción de calle en base a los principios de Calles Completas con obras de drenaje urbano sustentable.

INTRODUCCIÓN

Las soluciones tradicionales de drenaje urbano consideran las aguas lluvias como residuos, buscando su rápida evacuación hacia un medio receptor aguas abajo, reemplazando el drenaje natural con elementos artificiales como calles, cunetas y colectores enterrados. Este enfoque de gestión está centrado en las consecuencias de la urbanización, principalmente en las inundaciones. Así, los problemas no son resueltos en su origen, sino transferidos hacia aguas abajo aumentando las inundaciones en el largo plazo. Además, otros problemas atribuidos a las aguas lluvias no son solucionados, como por ejemplo las descargas de sistemas unitarios sin tratamiento a cuerpos de agua en eventos de precipitación intensos, el lavado de contaminantes urbanos hacia cuerpos de agua, la erosión de los cauces y la degradación de ambientes acuáticos aguas abajo (Fernández, 2004; NACTO, 2017; Gironás, s.f.).

Ante este panorama es necesaria la gestión de aguas lluvias con un enfoque distinto al tradicional, que integre aspectos hidrológicos, ambientales y urbanos. Durante la segunda mitad del siglo XX, muchas ciudades de países desarrollados reconocieron la necesidad de cambiar el paradigma del drenaje urbano y propusieron un nuevo enfoque, que considera las aguas lluvias como un recurso urbano y enfrenta las causas de los problemas más que

los síntomas (Fernández, 2004). Bajo este paradigma, han desarrollado estrategias sustentables de gestión de aguas lluvias conocidas como Sistemas de Drenaje Urbano Sustentable, *Low Impact Development* (LID) o *Best Management Practices* (BMP).

Estas estrategias buscan reproducir las condiciones de la cuenca previas a la urbanización para el manejo de las aguas lluvias en el lugar en que se originan, a través de captura, infiltración y almacenamiento. Su objetivo es preservar el ciclo hidrológico natural y minimizar las externalidades negativas de la urbanización en cuanto a cantidad y calidad de escorrentía, agregando a la vez valor urbano y ambiental a la infraestructura relacionada (Fernández, 2004; Burgos, 2007; Momparler & Andrés-Doménech, 2008; Herrera et al., 2017). Este control no es solo de caudales, sino también, y particularmente, de volúmenes de escorrentía, porque las crecidas en zonas urbanas son cada vez mayores, más violentas y rápidas si no se planifican sistemas de drenaje sustentables, y las aguas lluvias provocan inundaciones incluso en eventos menores de precipitación, como ha ocurrido en Santiago y otras ciudades de Chile durante las últimas décadas (Fernández, 2004).

Los principios de los Sistemas de Drenaje Urbano Sustentable están muy bien alineados con los principios del concepto de Calles Completas (CEDEUS, 2019). El

concepto de Calles Completas ha surgido como una forma de promover la movilidad sustentable, definiéndose como **calles diseñadas para dar espacios seguros a todos los usuarios, independientemente de su edad, habilidades o modo de transporte**. El concepto propone diseñar ciudades para fomentar actividades que generan bienes a las personas, como la interacción social o la salud, y desincentivar conductas que producen daños, como la contaminación (CEDEUS, 2019). Una calle inundada no es una Calle Completa, puesto que durante las tormentas peatones, ciclistas y usuarios de transporte público son quienes encuentran obstáculos y pierden el acceso a la calle, y son los últimos en recuperarla. Las calles tradicionales presentan obstáculos para la hidrología natural, por lo que existe una gran oportunidad de acción en ellas para un mejor manejo de las aguas lluvias.

Los Sistemas de Drenaje Urbano Sustentable son un componente crítico del diseño completo de una calle, asegurando que esta siga siendo utilizable y segura para todas las personas durante las tormentas, independiente del medio de transporte. Además, estos sistemas pueden apoyar los lazos sociales dentro de los barrios mediante el embellecimiento y el placemaking de los espacios públicos mientras se mejora la movilidad y la seguridad de los usuarios de las calles. **Al pensar las calles como ecosistemas, se pueden construir ciudades que sean**

lugares más resilientes, sustentables y agradables para vivir (NACTO, 2017).

El Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, CEDEUS, realizó un diagnóstico para el rediseño del barrio San Eugenio (Santiago) para adecuarlo hacia un sistema de movilidad sustentable. Luego se generó un plan para la reconfiguración del barrio en base a los principios de Calles Completas, considerando el transporte multimodal, la reasignación del espacio vial y la priorización del transporte público. El rediseño busca que se generen nuevos modos de pensar el barrio y hacerlo más accesible al resto de la ciudad, además de aumentar la sensación de seguridad y satisfacción de las personas. En particular, este trabajo tiene como objetivo el diseño y análisis de un Sistema de Drenaje Urbano Sustentable en contexto de la iniciativa de Calles Completas de CEDEUS para el Barrio San Eugenio.

METODOLOGÍA DE DISEÑO DE SISTEMAS DE DRENAJE

De manera general, el análisis y diseño de sistemas de drenaje urbano considera: la caracterización de las cuencas aportantes incluyendo la caracterización hidrológica, la estimación de caudales de diseño y el diseño hidráulico de las obras de drenaje. Los parámetros de caracterización de las cuencas aportantes se definen según el método de estimación de caudales máximos que se utilice (e.g. pendientes, parámetros de infiltración del suelo, rugosidad de superficies, tiempo de concentración, entre otros). La caracterización hidrológica consiste en el desarrollo de tormentas de diseño, de tal forma que las obras funcionan adecuadamente frente a una variedad de condiciones. Las características que definen a estas tormentas son el periodo de retorno (una medida del riesgo a adoptar), la duración y la precipitación total, además de una distribución temporal y espacial (MINVU, 2005). Para el desarrollo de las tormentas de diseño generalmente se utilizan las relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), las cuales sintetizan y caracterizan el comportamiento de las precipitaciones en el lugar de estudio. Para la estimación del caudal de diseño de las obras de drenaje existen modelos hidrológicos computacionales como *Storm Water Management Model* (SWMM), y también fórmulas empíricas o conceptuales como el Método Racional. Con mediciones de precipitaciones y caudales de la urbanización en estudio es posible calibrar el método utilizado. El diseño hidráulico de las obras de drenaje se propone de tal forma que se cumplan los criterios de diseño establecidos.

En los sistemas de drenaje urbano tradicionales, se utilizan principalmente sumideros y colectores subterráneos. Estos sistemas pueden ser unitarios (*combined sewer systems*) o separados (*separate storm sewer systems*), aunque los últimos son los que se promueven actualmente. En los sistemas unitarios se evacúan aguas servidas y aguas lluvias en una misma estructura típicamente hacia plantas de tratamiento de aguas servidas, mientras que en los sistemas separados se evacúan solo aguas lluvias hacia cuerpos de agua

locales (NACTO, 2017). La función de ambos sistemas es principalmente la conducción y evacuación de las aguas lluvias. Por otro lado, **en los Sistemas de Drenaje Urbano Sustentable las obras generalmente son superficiales y están basadas en la infiltración y almacenamiento temporal de aguas lluvias.**

Las **obras de infiltración** interceptan las aguas lluvias antes que lleguen a la infraestructura gris y escurra, de tal forma que el agua es infiltrada para ser evapotranspirada o liberada lentamente en la forma de flujo subsuperficial o flujo base (NACTO, 2017). Además, son capaces de disminuir los volúmenes de escorrentía, reduciendo la cantidad de agua que entra en contacto con los diversos contaminantes urbanos, la ocurrencia de eventos de descargas o vertidos de sistemas unitarios, y disminuyendo los riesgos de inundación. Estas obras de infiltración además pueden ofrecer valiosos beneficios urbanos si están diseñadas adecuadamente, como reducir velocidades vehiculares, embellecer el paisaje y producir ambientes de recreación (DOH, 2013; NACTO, 2017).

Las **obras de almacenamiento** captan el flujo superficial aguas abajo de áreas aportantes y lo retienen temporalmente para descargarlo durante tiempos más prolongados a tasas menores. Su principal efecto es reducir los caudales máximos a la salida en comparación al que llega, pero no tienen efecto sobre el volumen total de escorrentía generado por la urbanización, ya que sólo postergan su descarga temporalmente. Estas obras pueden controlar localmente la contaminación de las aguas lluvias mediante decantación y pueden proporcionar valiosos beneficios urbanos como el aprovechamiento de espacios abiertos para recreación y paisajismo (MINVU, 1996; DOH, 2013). Tanto la infiltración de los volúmenes frecuentes de lluvia, como el retardo y descarga lenta de estos, permiten controlar el denominado *Volumen de Captura*, i.e. volumen de escorrentía mínimo a controlar en la urbanización con el fin de mejorar notoriamente la calidad de las aguas lluvias urbanas (DOH, 2013). En el caso de Santiago, se recomienda estimar este volumen como aquel producido por las áreas impermeables frente a un evento de precipitación de magnitud de ~12 mm.

En este trabajo se utilizó la herramienta de análisis SWMM para la ejecución de simulaciones por eventos y simulaciones continuas, lo que permitió la evaluación de múltiples alternativas de diseño y la cuantificación de su desempeño. Además, se identificó y analizó los impactos y beneficios asociados a la propuesta final. **El diseño propuesto se basó en una combinación de obras de infiltración y almacenamiento que cumplen tanto funciones hidrológicas como urbanas.** Las primeras fueron diseñadas para el control de tormentas menores y ubicadas en zonas de vegetación de veredas, ciclovías y estacionamientos de los espacios a intervenir propuestos por CEDEUS. Las segundas fueron diseñadas para el control de tormentas medianas y mayores, además de la retención del Volumen de Captura, y fueron ubicadas en plazas y parques que se sitúan en las salidas de la urbanización de estudio.

Las obras de infiltración que se utilizaron en el diseño propuesto fueron celdas de bioretención (e.g. Imagen 1), celdas de infiltración (e.g. Imagen 2) y pavimentos porosos, mientras que las obras de almacenamiento utilizadas fueron estanques de retención superficiales (e.g. Imagen 3).



Imagen 1. Celda de bioretención en la calle Fell Street de la ciudad de San Francisco, EE.UU. (NACTO, 2017).



Imagen 2. Celda de infiltración en la calle 2nd Avenue NW de la ciudad de Seattle, EE.UU. (NACTO, 2017).



Imagen 3. Estanque de retención como área verde en proceso de llenado durante una tormenta en la ciudad de Fort Collins, EE. UU. (DOH, 2013).

NUEVOS RESULTADOS DEL DRENAJE URBANO SUSTENTABLE

Los sistemas de drenaje urbano sustentable proporcionan múltiples beneficios más allá de simplemente el control de escorrentía, y, en particular, más allá del control de inundaciones. En este trabajo, las obras de drenaje cumplen una función urbana, además de la hidrológica. Las obras de infiltración con infraestructura verde (i.e. celdas de bioretención y celdas de infiltración), que son ubicadas en zonas de vegetación de veredas, crean ambientes más acogedores para peatones y ciclistas. Si se ubican en paradas de transporte público mejoran la comodidad de los pasajeros en espera y crean ambientes más agradables. Además, en zonas de segregación ayudan a reducir las velocidades vehiculares, creando calles más tranquilas y seguras tanto para peatones como ciclistas. Las obras de infiltración sin infraestructura verde (i.e. pavimentos porosos) ubicadas en ciclovías mejoran la comodidad de los ciclistas durante y después de los eventos de precipitación. Estas obras ubicadas en estacionamientos de automóviles y bicicletas mejoran la comodidad y seguridad de los usuarios. Por otro lado, las obras de almacenamiento (i.e. estanques de retención) ubicadas en plazas y parques permiten el aprovechamiento de los espacios para recreación y paisajismo en épocas secas.

En este trabajo la implementación del proyecto de drenaje urbano sustentable provocó notorios impactos hidrológicos. La Figura 1 ilustra la curva de frecuencia de caudal máximo a la salida de la urbanización para las 5 alternativas de diseño analizadas, obtenida a partir de la simulación continua. Se obtiene una reducción de los caudales máximos a la salida de la urbanización hasta condiciones cercanas a las naturales para un amplio

rango de tormentas simuladas continuamente. Las obras de infiltración reproducen los caudales máximos a las condiciones naturales para un amplio rango de tormentas a excepción de los eventos mayores, los cuales son controlados por las obras de almacenamiento. La reducción de los volúmenes de escorrentía en las calles es alcanzada únicamente por las obras de infiltración, las cuales contribuyen en la reducción de caudales máximos de tormentas menores. Las obras de infiltración captan el 77% del Volumen de Captura y el 23% restante es retenido por las obras de almacenamiento.

La importancia del control de escorrentía radica en que los volúmenes contribuyen a captar y transportar contaminantes propios de la vida urbana, afectando de manera adversa a la calidad de las aguas lluvias y la salud pública. Además, su control es fundamental para la seguridad y comodidad de los usuarios, especialmente los más vulnerables como peatones y ciclistas, dada las molestias que causan los eventos frecuentes de precipitación. En este trabajo, para el análisis del control de escorrentía debido a la implementación del proyecto de drenaje en el Barrio San Eugenio se contabilizaron las calles inundadas (con más de 1,2 m de ancho de flujo en la cuneta) durante los eventos de precipitación en función del tiempo de simulación continua.

La Figura 2 ilustra la permanencia de inundación en tramos de calle del Barrio San Eugenio con y sin implementación del proyecto de drenaje, obtenidos de la simulación continua. Se obtuvo que sin proyecto de drenaje hay 16 tramos de calle que tienen tiempos de inundación esperados mayores a 5 h por año, mientras que, con proyecto de drenaje, ningún tramo supera las 5 h de inundación por año.

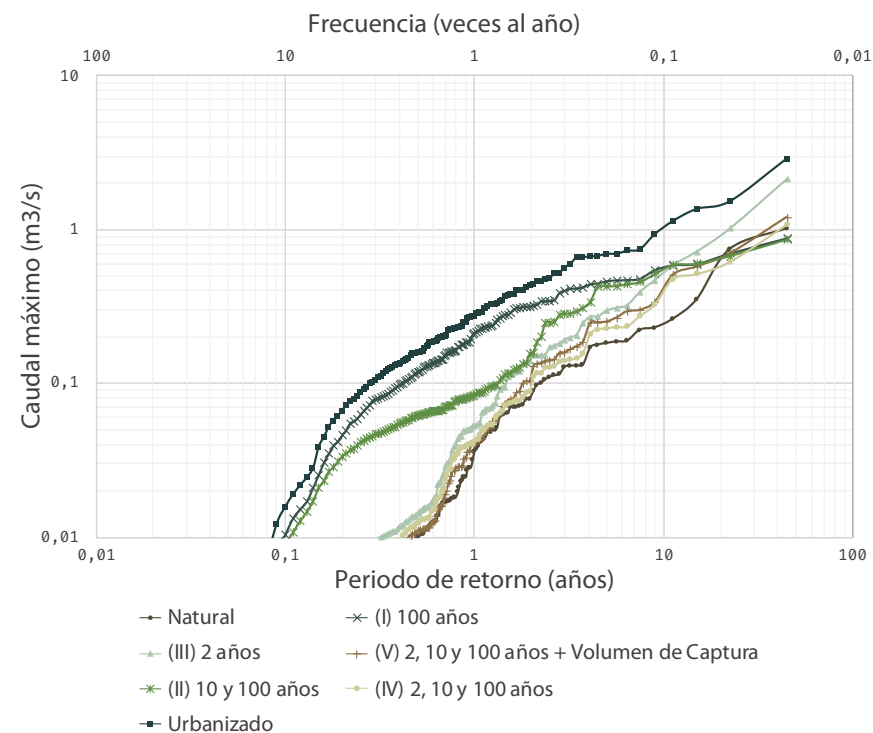


Figura 1. Curva de frecuencia de caudal máximo a la salida de la urbanización para las 5 alternativas de diseño analizadas, obtenida a partir de la simulación continua.

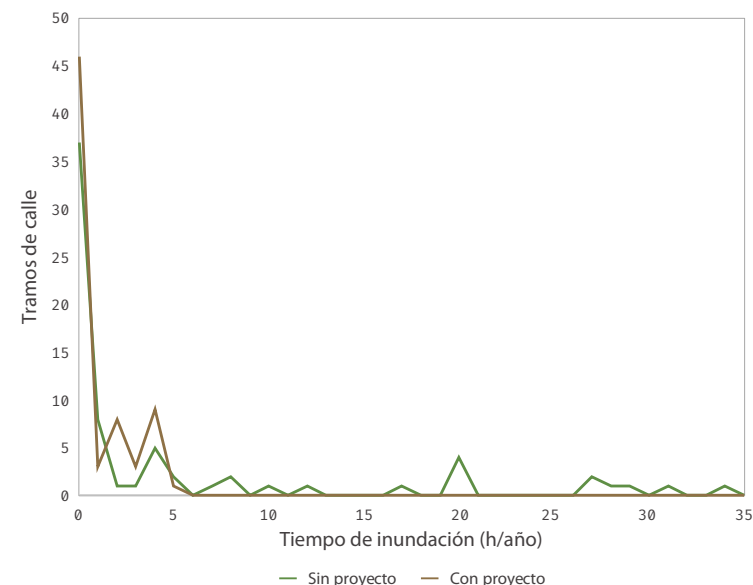


Figura 2. Permanencia de inundación en tramos de calle del Barrio San Eugenio con y sin implementación del proyecto de drenaje, obtenidos de la simulación continua.

Medio de transporte	Vehículo	Transporte público	Bicicleta	Vehículo	Transporte público	Bicicleta
Retraso tiempos de viaje (h)	490	95	1445	205	40	609
Retraso tiempos de viaje (h/año)	11	2	33	5	1	14

Tabla 1. Retrasos en tiempos de viaje para los distintos medios de transporte con y sin implementación del proyecto de drenaje, obtenidos del modelo de transporte a partir de los resultados de la simulación continua.

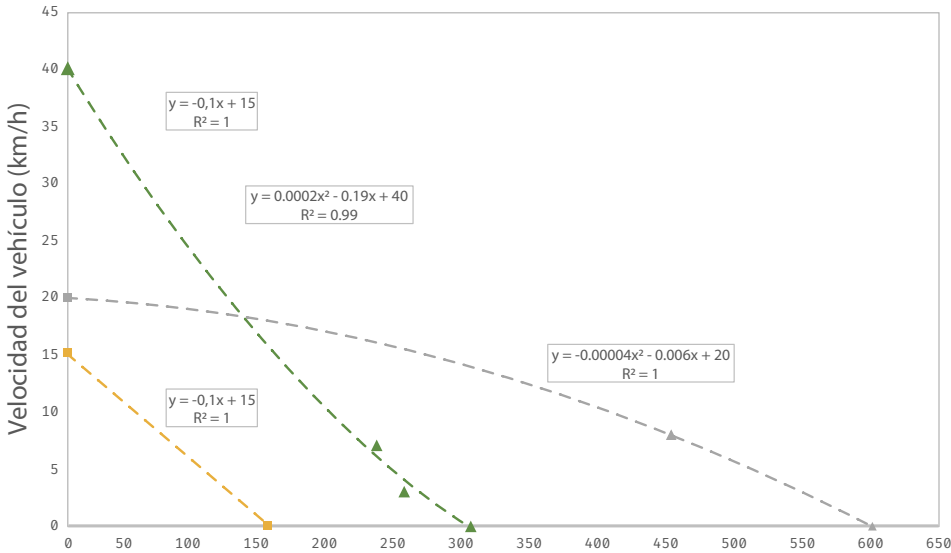
Las inundaciones son la principal causa de origen climático de interrupción del transporte en el sector (Pregnotato et al., 2017). Por lo tanto, durante los eventos de precipitación los distintos modos de sistema de transporte pueden ser afectados por la inundación de las calles, causando interrupciones significativas en la movilidad de las personas e impactos económicos y sociales. En este trabajo se realizó una estimación de los retrasos de los tiempos de viaje del sistema debido únicamente a los eventos de precipitación para los distintos medios de transporte. Adicionalmente, se estimó la disminución de estos retrasos gracias a la implementación del proyecto de drenaje. Para este propósito, se desarrollaron funciones que relacionan la profundidad de inundación con la velocidad de los distintos medios de transporte (Figura 3), basándose en la metodología propuesta por Pregnotato et al. (2017). Estas funciones fueron utilizadas en un modelo de transporte analizado en partir de los resultados de la simulación continua.

En la Tabla 1 se encuentran los retrasos en tiempos de viaje para los distintos medios de transporte con y sin implementación del proyecto de drenaje, obtenidos del modelo de transporte a partir de los resultados de simulación continua. El transporte público corresponde al medio de transporte menos afectado por la escorrentía, ya que tiene la menor reducción de velocidad por unidad de profundidad de inundación. Por otra parte, el más afectado es la bicicleta, ya que corresponde al

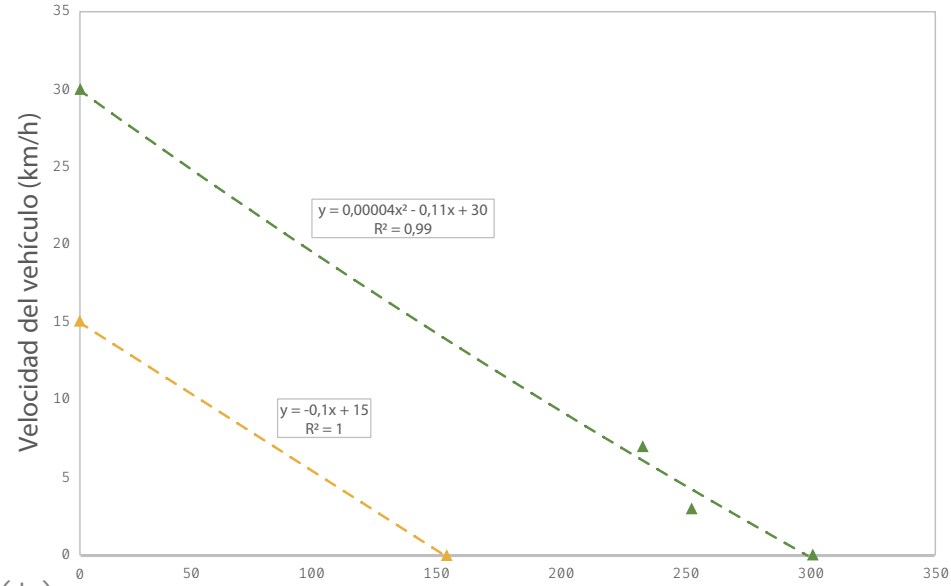
medio de transporte más vulnerable a la escorrentía en las calles por su inestabilidad. Por esa misma razón, la bicicleta es el medio de transporte más impactado con el proyecto de drenaje en términos de tiempo de retraso disminuido.

De modo comparativo a los sistemas de drenaje tradicionales, en este trabajo se analizó un potencial sistema unitario de alcantarillado y aguas lluvias en la urbanización de estudio. En estos sistemas, durante eventos de precipitación intensos los caudales pueden superar la capacidad de las estructuras. Cuando las tuberías y plantas de tratamiento no pueden manejar los caudales, el agua es descargada directamente a cuerpos de agua locales sin tratamiento (NACTO, 2017). Para el análisis del potencial sistema unitario se calculó el diámetro de colector requerido para evacuar correctamente en régimen libre los caudales máximos de los eventos de escorrentía generados por el registro continuo de precipitaciones, en conjunto a las aguas servidas generadas por la urbanización. Con el diámetro requerido por evento se analizó la recurrencia de falla del colector unitario si el sistema se construyera de un cierto diámetro. En particular, se evaluó el diámetro de 200 mm, correspondiente al diámetro necesario para la evacuación de las aguas servidas del sitio de estudio.

En la Figura 3 se encuentra diámetro requerido de colector unitario y el número de eventos que pueden ser evacuados sin presentar fallas con y sin implementación



(a) Vehículo, Transporte público, Bicicleta. Aproximación vehículo, Aproximación transporte público, Aproximación bicicleta.



(b) Vehículo, Bicicleta. Aproximación vehículo, Aproximación bicicleta.

Figura 3. Curvas velocidad-profundidad de inundación y la ecuación que la describe en (a) calles de alto tráfico (b) calles de bajo tráfico del Barrio San Eugenio, utilizadas en el modelo de transporte para la estimación de retrasos en tiempos de viaje.

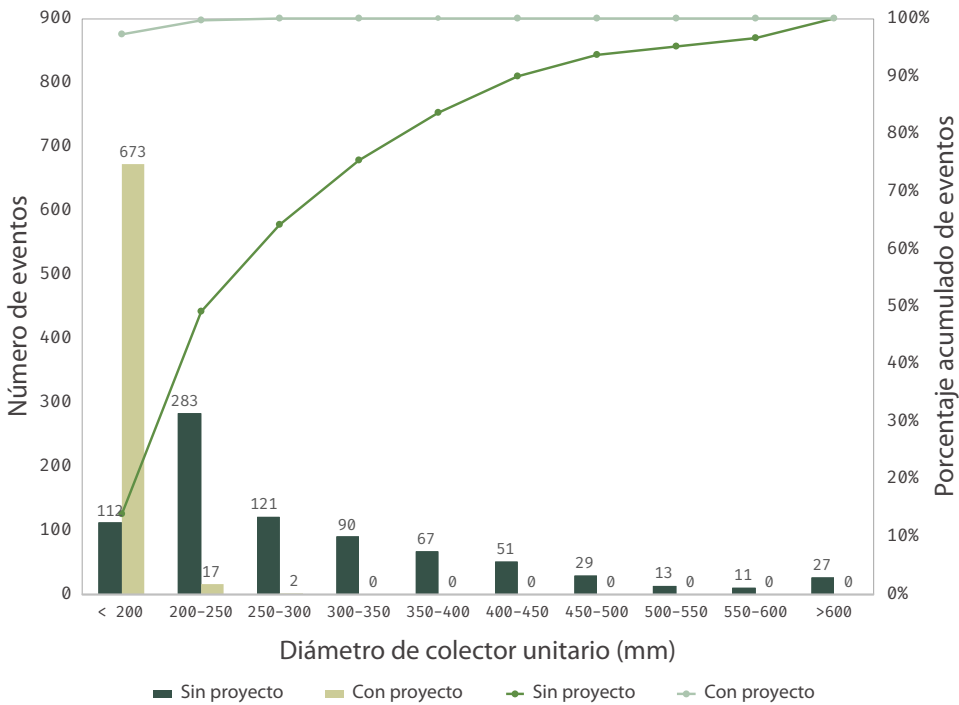


Figura 4. Diámetro requerido de colector unitario y el número de eventos que pueden ser evacuados sin presentar fallas con y sin implementación de proyecto de drenaje en el Barrio San Eugenio, obtenidos a partir de la simulación continua.

de proyecto de drenaje, obtenidos a partir de la simulación continua. Con la implementación del proyecto de drenaje, se obtiene que el colector de 200 mm puede evacuar un 83% más de eventos de precipitación sin presentar fallas. Además, se alcanza una reducción de diámetro máximo requerido de colector en la simulación de 1250 mm a 300 mm, es decir, el control del 100% de los eventos de precipitación se puede lograr con el aumento en solo 100 mm del colector de aguas servidas diseñado para el sitio de estudio. Por otra parte, si el drenaje de las aguas lluvias ocurriese sólo por el hipotético colector de aguas servidas, se esperan 18 eventos de vertido al año desde ese colector y con la implementación del proyecto de drenaje, se esperan que estos eventos de vertido disminuyan a 15 eventos al año. Estos resultados muestran claramente como el control de volúmenes de escorrentía, particularmente de los eventos más frecuentes, reduce drásticamente los potenciales eventos de vertido desde colectores unitarios. Estos resultados son esperables en todo el

territorio nacional, y deben ser tomados muy en cuenta en ciudades y pueblos en la zona sur del país, donde el número de días al año con lluvia, y por ende con eventos de escorrentía, puede superar los 100.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las principales conclusiones del proyecto son las siguientes:

Un sistema de drenaje sustentable que combina elementos de infiltración y almacenamiento reproduce las condiciones hidrológicas naturales de la cuenca en términos de caudal máximo y volúmenes de escorrentía para todo el rango de tormentas simuladas continuamente. Además, se retiene el volumen de captura en su totalidad, lo que permite un buen control de la calidad de las aguas lluvias. Para este propósito, las obras de infiltración son relevantes, mientras que las obras de almacenamiento son claves en el control de caudales máximos asociados a tormentas menos frecuentes.

El control de escorrentía para tormentas frecuentes es casi total, lo que permite que más calles se encuentren despejadas y durante tiempos más prolongados. Además, se reduce en más de la mitad los retrasos en tiempos de viaje de todos los medios de transporte, siendo la bicicleta el medio de transporte más beneficiado.

El sistema de drenaje propuesto puede reemplazar la función de los sistemas de drenaje tradicionales, incluso si este sistema fuese unitario. Puede utilizarse como complemento a la infraestructura existente que puede encontrarse muchas veces en mal estado y tener función limitada. Los resultados muestran que los diámetros de colectores de aguas lluvias se ven bastante disminuidos con la implementación de técnicas de infiltración y almacenamiento.

Las obras propuestas además de cumplir una función hidrológica generan una serie de beneficios urbanos asociados a la infraestructura verde que la componen, o al lugar en el que son empleadas. Esto no podría lograrse con otras obras de drenaje como pozos o zanjas de infiltración, ya que, si bien podrían cumplir los criterios hidrológicos de diseño, no agregan valor urbano en contexto de Calles Completas.

El trabajo mostró lo altamente recomendable que es el uso de simulación continua en proyectos de Drenaje Urbano Sustentable que buscan controlar principalmente tormentas frecuentes mediante infiltración, ya que permite tener una representación más real de la respuesta del sistema. A futuro, se sugiere desarrollar un modelo más completo que considere el flujo de agua subterránea, y la generación, lavado y transporte de contaminantes. Adicionalmente, el modelo SWMM propuesto debiese ser calibrado con datos de caudales, los que no existen para el sitio de estudio. Las obras de drenaje urbano sustentable propuestas pueden ser seleccionadas, diseñadas y ubicadas en conjunto con expertos en arquitectura del paisaje, de tal forma de maximizar su valor tanto hidrológico como urbano. Otras disciplinas y especialidades involucradas en el diseño pueden contribuir aún más a este propósito. A modo de ejemplo, se recomienda el uso de modelos de transporte en proyectos de drenaje para la cuantificación de beneficios indirectos asociados a la escorrentía.

REFERENCIAS

Burgos, V. (2007). *Desarrollo urbano de bajo impacto hidrológico (DUBI): Una alternativa para una adecuada hidrología urbana del Gran Mendoza.* XXI Congreso Nacional del Agua. Mendoza, Argentina.

CEDEUS (2019). *Diagnóstico y propuestas participativas para el rediseño Barrio San Eugenio.* Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, Santiago, Chile.

DOH (2013). *Manual de Drenaje Urbano.* Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Obras Hidráulicas, Chile.

Fernández, B. (2004). *Drenaje de aguas lluvias urbanas en zonas semiáridas.* Arq (Santiago, Chile), (57), 64-67.

Gironás, J. (s.f.). *Hacia un drenaje urbano sustentable en Chile.* CEDEUS (Centro de Desarrollo Urbano Sustentable), Chile. Recuperado el 22-06-20 de: <https://www.cedeus.cl/hacia-un-drenaje-urbano-sustentable-en-chile/>

Herrera, J., Bonilla, C., Castro, L., Vera, S., Reyes, R., & Gironás, J. (2017). *A model for simulating the performance and irrigation of green stormwater facilities at residential scales in semiarid and Mediterranean regions.* Environmental Modelling & Software, 95, 246-257.

MINVU (1996). *Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos.* Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Chile.

MINVU (2005). *Guía de Diseño y Especificaciones de Elementos Urbanos de Infraestructura de Aguas Lluvias.* Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Chile.

Momparler, S., & Andrés-Doménech, I. (2008). *Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia.* Revista Técnica de Medio Ambiente. C&M Publicaciones, 124, 92-104.

NACTO (2017). *Urban Street Stormwater Guide.* National Association of City Transportation Officials, Island Press. Nueva York, USA.

Pregnotato, M., Ford, A., Wilkinson, S., & Dawson, R. (2017). *The impact of flooding on road transport: A depth-disruption function.* Transportation research part D: transport and environment, 55, 67-81.



Centro de Desarrollo
Urbano Sustentable

www.cedeus.cl
comunicaciones@cedeus.cl