



GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA EN EL DESARROLLO URBANO

Lic. Carlos Sánchez Pachón

Área Pensamiento Estratégico

Gestión Sostenible del Agua en el Desarrollo Urbano

1.	<i>Resumen</i>	3
2.	<i>Planteamiento</i>	4
	<i>a. Retos en la gestión de aguas pluviales en zonas urbanas</i>	
	<i>b. El cambio climático y mejoras en la gestión de aguas: Motores para el cambio</i>	
3.	<i>Procesos hídricos naturales en medios urbanos</i>	10
	<i>a. Opciones técnicas de los sistemas de drenaje natural</i>	
	<i>b. Líneas generales en la selección e implementación</i>	
	<i>c. Beneficios de los sistemas de drenaje natural: Control de caudales y mejoras en la calidad del agua</i>	
4.	<i>Una visión para el futuro: Consideraciones para el desarrollo urbano en Argentina</i>	20
5.	<i>Casos prácticos</i>	23
6.	<i>Bibliografía</i>	24

1. Resumen

Argentina ha alcanzado importantes logros en el abastecimiento de agua potable y en la gestión de recursos hídricos en general. Igualmente se están realizando importantes inversiones en infraestructura para el control y la prevención de los daños que causan las inundaciones de grandes ríos. Sin embargo, en las zonas urbanas del país sigue habiendo graves problemas de inundaciones y degradación de la calidad del agua. Por ello, en este estudio se analiza uno de los problemas más apremiantes en la gestión de aguas y el desarrollo urbano en Argentina. A su vez, se evalúa la incorporación de un modelo de desarrollo urbano como solución viable en el ambiente técnico, económico y de sostenibilidad ambiental.

El problema, como consecuencia de una extensa impermeabilización de zonas urbanas y un deterioro del sistema de recolección de aguas pluviales, es una deficiencia grave en la gestión de escorrentías, tanto en su volumen como en su calidad. El resultado es un aumento en la frecuencia de inundaciones en las ciudades y graves daños a los ecosistemas en los que vertimos la escorrentía.

La solución que se evalúa en este estudio es un urbanismo que ralentice la evacuación de aguas pluviales, yendo más allá de las técnicas actuales y logrando con ello beneficios económicos, medioambientales y sociales. Estos beneficios incluyen la reducción de costos en infraestructura, mejoras en la calidad de aguas fluviales y un aumento de la calidad de vida en zonas urbanas y conurbanas en las que se implemente.

En este estudio plantearemos el reto de la gestión de la escorrentía de aguas pluviales, tanto en calidad como en cantidad. A continuación, trataremos en líneas generales la forma en que el reto podrá agravarse en Argentina como consecuencia directa del cambio climático. Evaluaremos técnicas de desarrollo urbano sostenible con beneficios directos para la gestión de aguas, conocidos como sistemas de drenaje natural o sistemas urbanos de drenaje sostenible. Exploraremos en qué consisten las técnicas más comunes y conoceremos los resultados positivos que se están obteniendo en ciudades de los EE.UU. y Europa. Tras analizar los retos más importantes para su implementación, sobre todo en el área de planificación y financiación que puedan ser de interés en Argentina, resumiremos los beneficios que otorgan y propondremos líneas generales de actuación para su fomento en Argentina.

2. Planteamiento

a. Retos en la gestión de aguas pluviales en zonas urbanas

El abastecimiento de agua potable a la gran mayoría de los ciudadanos ha sido uno de los grandes éxitos del desarrollo urbano en Argentina, una meta cumplida en la mayoría de las zonas urbanas del país. Los niveles de desarrollo económico alcanzados a mediados del siglo XX permitieron importantes inversiones en infraestructura civil para la captación, tratamiento y distribución de agua potable, creando una sólida base que generalmente sigue cumpliendo su cometido, a pesar de la falta de inversión en su mantenimiento. En la actualidad, más de un 90% de la población argentina tiene acceso a agua potable, de acuerdo con datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS 1). Este es un nivel comparable con aquellos alcanzados en la mayoría de los países con mayor desarrollo económico del mundo. No obstante, siguen existiendo retos en cuanto al abastecimiento de agua potable a domicilios en ciertas zonas geográficas.

Resuelta la gestión de efluentes industriales y cloacales, una de las principales fuentes de contaminación en cauces de ríos, estuarios y costas cercanos a zonas urbanas proviene de la escorrentía de lluvias de las ciudades (USEPA)

Una proporción igualmente alta de la población se beneficia del acceso al servicio de evacuación de aguas residuales, bien sea por medio de cloacas o pozos negros. Uno de los grandes retos medioambientales en Argentina radica en la gestión y el tratamiento que reciben las aguas cloacales recolectadas, que en su mayoría son vertidas en ríos, estuarios o el mar con solo un tratamiento primario. De hecho, solo un 10% de las aguas cloacales reciben tratamiento antes de ser vertidas (BM 2).

Sin embargo, existen planes ambiciosos de inversión en la mejora de sistemas de recolección y tratamiento de aguas cloacales en Argentina. Y una continua mejora en los porcentajes de tratamiento de aguas cloacales es un paso importante para restaurar la calidad de las aguas en nuestros ríos y costas. Pero esto no es suficiente.

En Argentina prevalece la separación de sistemas de evacuación de aguas pluviales y aguas cloacales. Mientras las aguas cloacales pueden recibir un tratamiento antes de ser vertidas, las aguas pluviales en las alcantarillas reciben un tratamiento mínimo o nulo antes de ser vertidas en ríos y costas. La escorrentía de aguas pluviales tiene altos niveles de contaminación recogidos en las calles y aceras antes de entrar en las alcantarillas. Algunos contaminantes son los hidrocarburos, sedimentos, pesticidas y otros elementos que genera la actividad humana. Estos típicamente contaminan el agua de lluvia al recorrer las superficies de nuestras ciudades. Como consecuencia, se vierten aguas contaminadas sin tratar.

El alto porcentaje de superficies impermeables en zonas urbanas aumenta la proporción de agua que necesita ser evacuada en una tormenta. La rapidez con la que el agua fluye hacia las alcantarillas resulta en un ciclo hidrológico seriamente alterado, con periodos de respuesta mucho más cortos y un pico de volumen más alto. Por ello, los modelos actuales de gestión de aguas pluviales en el desarrollo urbano resultan en serios problemas a corto y largo plazo, como por ejemplo, inundaciones locales en zonas

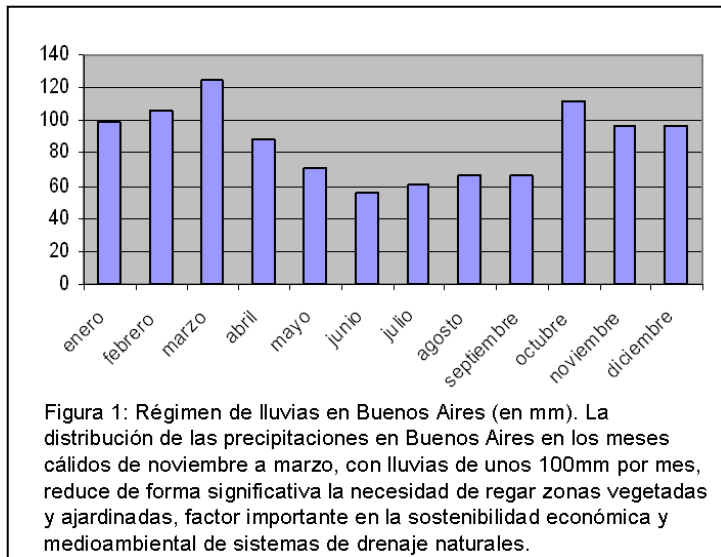
urbanas, erosión y contaminación de los cauces de los ríos, y reducción de caudales a un mínimo en épocas de estío.

Este problema se agravará si se cumplen los pronósticos de cambios meteorológicos resultantes del cambio climático.

Inundaciones en Buenos Aires y otras áreas metropolitanas argentinas

Buenos Aires recibe unos 1.050mm de lluvia por año, con una distribución entre 80 y 120mm por mes, con dos picos: uno en otoño y otro en primavera (figura 1).

Geográficamente la ciudad y su área metropolitana se encuentran en una zona bastante llana, lo cual evita crecidas rápidas de la escorrentía de lluvias, pero a su vez dificulta su evacuación. De acuerdo con datos del Banco Mundial, Buenos Aires sufre inundaciones significativas, si bien localizadas, una media de dos veces por año. Otras fuentes indican que las inundaciones producidas por lluvias, cada vez que éstas superan los 30mm en una hora, afectan a más de 350.000 habitantes en la ciudad de Buenos Aires (CAI 1). Los problemas de inundaciones suelen venir asociados con dos fenómenos meteorológicos: fuertes tormentas de verano y “sudestadas”. El máximo histórico en precipitación se registró el 31 de mayo de 1985, con 306mm de lluvia en un día, lo cual provocó 15 muertos y 120.000 evacuados (BM 1). Las inundaciones originadas a causa de las sudestadas están asociadas con picos en las mareas causadas por el viento, y afectan principalmente



zonas costeras. La distribución de las precipitaciones en Buenos Aires en los meses calidos de noviembre a marzo, con lluvias de unos 100mm por mes, reduce de forma significativa la necesidad de regar zonas vegetadas y ajardinadas, factor importante en la sostenibilidad económica y medioambiental de sistemas de drenaje natural.

Impactos de escorrentías pluviales urbanas en la calidad de aguas

Las zonas urbanas se caracterizan por extensas zonas impermeables en las cuales se acumulan contaminantes que resultan de la actividad humana. Estos contaminantes tienen orígenes diversos, como ser partículas emitidas a la atmosfera, desechos de diversas actividades económicas como el transporte y residuos orgánicos vegetales o animales. A su vez, puede haber derrames de sustancias contaminantes, accidentales o ilegales, de empresas que manejan químicos dañinos para el medioambiente como tintorerías, estaciones de servicio, etc. En periodos de precipitación, dichos contaminantes son

arrastrados a las alcantarillas con altos niveles de concentración, sobre todo con las primeras “purgas” de agua tras periodos sin lluvia (tabla 1). En verano existe el agravante adicional de las elevadas temperaturas que acumula el agua al fluir sobre el asfalto y las aceras recalentados por el sol. Cabe destacar, de particular interés para ciudades como Buenos Aires, que la contaminación proveniente de alcantarillas es la más significativa para aguas en costas y estuarios.

Contaminante	Fuente
Bacterias	Excrementos animales, aguas cloacales
Metales	Automóviles, techos, pequeña industria
Nutrientes	Jardines, deposición atmosférica
Aceites y grasas	Automóviles
Sustancias con alta demanda de oxígeno en aguas	Materia orgánica, residuos urbanos
Pesticidas	Jardines, parques
Sedimentos	Zonas de obras, calles
Sustancias tóxicas	Pequeña industria, automóviles

La presencia de sistemas unificados de redes cloacales y pluviales, existente en algunas zonas de ciudades como Buenos Aires, agrava aun más el problema de calidad de aguas. En periodos de lluvia intensa los caudales de dichos sistemas exceden la capacidad de las plantas de tratamiento y tanto las aguas de escorrentía como las cloacales son vertidos directamente a los ríos y otros medios naturales (Red 1994).

El impacto de todos estos contaminantes al llegar a los cauces de los ríos es múltiple y está ampliamente documentado. Los contaminantes orgánicos y nutrientes como el nitrógeno y el fosfato que traen las escorrentías de lluvia permiten una afloración de actividad biológica, como el crecimiento de algas, que rápidamente agotan el oxígeno disuelto en el agua, causando la asfixia de peces y macroinvertebrados que dependen de él para vivir. Un río o lago en condiciones naturales tiene capacidad de recuperación ante semejante impacto, pero a medida que estos impactos se repiten, va disminuyendo la capacidad de recuperación de dicho ecosistema, y con ella su biodiversidad. Los cauces de los ríos también sufren graves problemas de erosión al tener que absorber repetidas crecidas de aguas de escorrentía de zonas urbanas, causando graves daños ecológicos y económicos (figura 2). Entre otros impactos negativos, las repetidas crecidas aumentan la turbidez del agua, dañan la vegetación ribereña y acuática, y causan estragos en micro-hábitats del lecho de los ríos.



Figura 2: Los cauces de los ríos sufren graves problemas de erosión al tener que absorber repetidas crecidas de las aguas de escorrentía de zonas urbanas, causando graves daños ecológicos y económicos.

Mejoras en la gestión de aguas pluviales en Argentina

A fines de la última década, Argentina realizó importantes inversiones en la prevención de inundaciones, financiados en parte con préstamos del Banco Mundial. Ante las inundaciones de 1982/83 y 1991/92, el gobierno nacional desarrolló el Programa de

Rehabilitación de las Inundaciones con una inversión final estimada en más de US\$600 millones (BM 1). Más recientemente, en el 2006, la ciudad de Buenos Aires elaboró el Plan Director de Ordenamiento Hidráulico y Control de las Inundaciones de la Ciudad de Buenos Aires y Proyecto Ejecutivo para la Cuenca del Arroyo Maldonado. Los problemas de inundaciones no son los únicos en los que invierte el país. Se están haciendo importantes obras para resolver la problemática sanitaria y de agua potable en los principales centros urbanos de Argentina. A modo de ejemplo, el Programa de Agua Potable y Saneamiento para Centros Urbanos y Suburbanos, desarrollado por el Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA), recibió en el 2006 una línea de crédito de US\$890 millones del Banco Interamericano de Desarrollo (BID 1). Con frecuencia, las inversiones tienen varias metas, como ser el abastecimiento de agua potable, el saneamiento de aguas residuales y la prevención de inundaciones. A continuación vemos ejemplos recientes de préstamos recibidos por Argentina de entes internacionales con tales fines:

Ejemplos de estructuras rígidas para el control de inundaciones

Acondicionamiento y/o construcción de terraplenes
 Estaciones de bombeo y descargadores
 Colectores pluviales urbanos y canalizaciones
 Acondicionamiento y/o reemplazo de puentes y alcantarillas
 Defensas de costas (espigones)
 Estabilización de barrancas
 Limpieza de cauces
 Sistematización de cauces

Banco Interamericano de Desarrollo

- Programa de Agua y Saneamiento del Área Metropolitana de Buenos Aires (2008). Préstamo de US\$200 millones para el mejoramiento y la expansión de la infraestructura de agua potable y saneamiento en el área metropolitana de la Ciudad de Buenos Aires y en el conurbano bonaerense. (AR-L1080).
- Agua Potable y Saneamiento en Comunidades Menores (2007). Préstamo de US\$120 millones que financiará parcialmente los sistemas de agua potable y/o de saneamiento en comunidades con 50.000 habitantes en la República Argentina. (AR-L1031).
- Infraestructura Hidráulica (2007). Préstamo de US\$240 millones que abordará problemas específicos de riego y drenaje, así como el limitado acceso a los servicios de agua y saneamiento en provincias norteafricanas de Argentina. (AR-L1015)

Banco Mundial

- Proyecto de Desarrollo de la Inversión Sostenible en Infraestructura en la Provincia de Buenos Aires (2006). Dos préstamos con un total de US\$537 millones financiará principalmente los servicios de infraestructura de alcantarillado y de protección contra inundaciones en comunidades altamente vulnerables y de bajos ingresos en la Provincia de Buenos Aires (APL1 y 2)
- Proyecto de Servicios Municipales Básicos (2006). Un préstamo de US\$175M financia proyectos de agua, saneamiento y alcantarillado en Argentina.

Estas inversiones permitirán importantes adelantos en la prevención de inundaciones en cauces y cuencas fluviales, y en el abastecimiento de agua. Sin embargo, seguirá existiendo el problema del control de volúmenes y caudales de escorrentías de aguas

pluviales en zonas urbanas. Y ha quedado patente que no todas las soluciones a los problemas de inundaciones en áreas urbanas radican en medidas estructurales de captación y desagüe de escorrentía. En Argentina empiezan a oírse recomendaciones de alternativas como aumentar superficies de áreas verdes, por ejemplo, en zonas de estacionamiento (CAI 1). A nivel mundial y en países donde ya se está trabajando a fondo en este problema, éste se está resolviendo con soluciones centralizadas y “convencionales”, combinadas con sistemas de drenaje natural.

Los métodos “convencionales” consisten en su mayoría en importantes inversiones en estructuras para la captación y el desagüe de aguas de escorrentía. Por ejemplo, para controlar el pico de escorrentía sin que se desborden los sistemas de alcantarillado y evitar que el agua llegue contaminada a los ríos, se construyen inmensos depósitos que captan las aguas de escorrentía de las ciudades. Estos depósitos luego drenan hacia plantas de tratamiento con un caudal que no exceda su capacidad. Estos sistemas han demostrado ser muy efectivos, pero también costosos. La ciudad de Chicago en los EE.UU. ha iniciado una serie de proyectos que requerirán US\$3.500 millones hasta el 2019. La ciudad de Madrid, en España, tenía una capacidad de tratamiento de aguas para tormentas con un periodo de retorno de hasta 10 años. Recientemente, la ciudad ha invertido US\$700 millones en construir depósitos que captan aguas de tormentas con un retorno de 10-50 años (MAD 1). Dados los altos costos y la complejidad de dichos proyectos, estas ciudades también están fomentando igualmente alternativas descentralizadas que traten el agua y controlen caudales de escorrentía en su origen.

b. El cambio climático y mejoras en la gestión de aguas: Motores para el cambio

Los efectos del cambio climático repercuten de manera tanto global como local. Uno de los efectos a nivel local que anticipan los expertos en meteorología es un aumento en la frecuencia de tormentas intensas, en las que se concentra la precipitación en un periodo corto de tiempo (OCDE 1). Durante en siglo XX la Cuenca del Río de la Plata demostró una de las más claras tendencias en alza a nivel mundial en la intensidad de precipitaciones. Asociada con esta tendencia observamos más inundaciones. El 80% de las peores inundaciones en los ríos Paraná y Paraguay han sido registradas en los últimos 30 años (OECD 1). En Argentina se están evaluando a fondo los posibles impactos que puedan tener los cambios en el régimen de lluvias sobre la agricultura, tanto en el ciclo de cultivo como en la infraestructura que la mantiene (canales, caminos, sistemas de riego, etc.). Sin embargo, las áreas urbanas se verían igualmente impactadas por el cambio climático, sufriendo inundaciones más frecuentes y severas.

De acuerdo con estudios del Banco Mundial, los impactos de inundaciones en Argentina llegan al 1,1% del PNB. Argentina es uno de los países del mundo más afectados por el cambio climático (OECD 1).

Otra consecuencia anticipada del cambio climático es un agravamiento de los problemas de inundaciones en ciudades y un empeoramiento en la calidad de aguas fluviales y costeras en las que se vierten las alcantarillas. El problema básico es que al ir

aumentando la frecuencia e intensidad de las tormentas, la capacidad de evacuar y tratar el agua de escorrentía en zonas urbanas será aun más deficiente. La capacidad de los sistemas de alcantarillado se verá desbordada cada vez con mayor frecuencia.

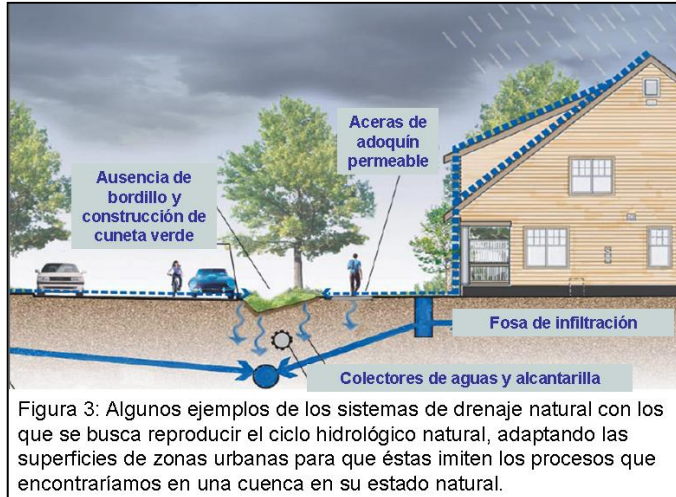
Cabe resaltar que las propuestas técnicas descritas en este análisis sobre los sistemas de drenaje natural favorecen una reducción en la frecuencia e intensidad de las inundaciones a nivel local en zonas urbanas y una mejoría en la calidad de las aguas en los ríos y las costas cercanas. Si se confirma la tendencia hacia un aumento en la frecuencia e intensidad de las tormentas en la zona pampeana (IPCC 1), esto sería motivo adicional para adoptar dichas técnicas, pero no condición necesaria dado el historial de inundaciones ya existente. A nivel regional, o de cuenca, se requiere una serie de políticas de adaptación complementarias, tanto estructurales como no estructurales, para corregir o mitigar los efectos que el cambio climático pueda tener sobre regímenes meteorológicos.

3. Procesos hídricos naturales en medios urbanos

a. Opciones técnicas de los sistemas de drenaje natural¹

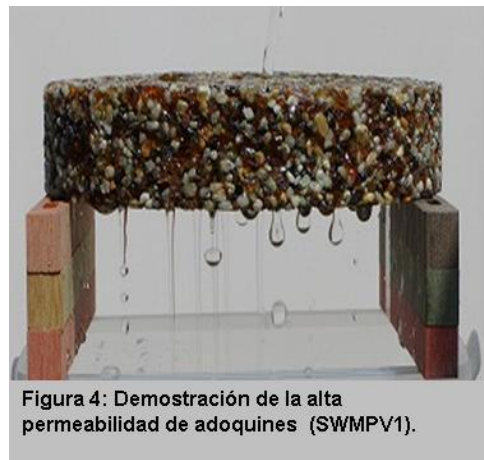
Los sistemas de drenaje natural buscan reproducir el ciclo hidrológico natural, adaptando las superficies de zonas urbanas para que éstas imiten los procesos que encontraríamos en una cuenca en su estado natural.

En la figura 3 vemos algunos ejemplos de las técnicas que se están empleando con mucho éxito en los EE. UU. y Europa. Estas técnicas incluyen opciones para zonas urbanas, suburbanas o periféricas. Estas técnicas pueden ser techos verdes (también conocidos como cubiertas vegetales) para zonas de alta densidad de edificaciones y cunetas verdes para áreas de menor densidad. A continuación se resumen cinco ejemplos de las técnicas más comunes.



1. Superficies permeables: El uso de materiales permeables para pavimentar superficies permite una evacuación eficaz de las aguas en aceras, estacionamientos y otras áreas sin crear escorrentía que contribuya a un pico de caudal o al arrastre de contaminantes. Materiales especiales de alta permeabilidad de uso común y disponibles en el mercado incluyen asfalto, adoquines (figura 4) y mayazo de plástico reforzado en zonas de césped.

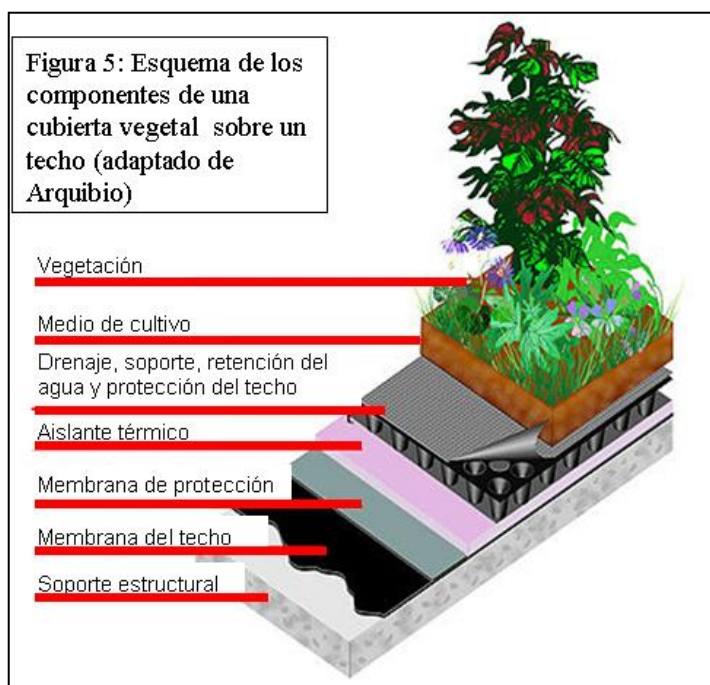
Después de atravesar una capa de grava o material similar bajo el pavimento permeable, el agua es recolectada por un sistema de drenaje para uso posterior (riego, etc.) o es vertida en la alcantarilla. En zonas de menor densidad urbana una alternativa es permitir que el agua drenada recargue las napas. Los beneficios incluyen una disminución del pico de escorrentía, un volumen menor de agua descargada en las alcantarillas y un agua de mejor calidad al ser sometida a un proceso de filtración antes de ser vertida. Los sistemas de pavimentación permeable instalados en los EE.UU. han demostrado tener vida útil de hasta 20 años. En climas de inviernos fríos con frecuentes heladas el drenaje evita que el agua quede atrapada en los poros y quiebre el asfalto u hormigón al helarse.



¹ Existe una nomenclatura diversa para estas técnicas, incluyendo sistemas urbanos de drenaje sostenible, infraestructura verde o mejores prácticas de control.

<p style="text-align: center;">Especificaciones generales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alta permeabilidad (200mm/hr) • Requiere un sustrato granular con vacío del 40% • Capacidad de carga diseñada acorde al uso anticipado (vehículos, peatones, etc.) • Instalación de un sistema de drenaje soterrado con tubos perforados o similar (según emplazamiento) • Requiere 1m de separación sobre el nivel máximo de aguas subterráneas 	<p style="text-align: center;">Utilidad según zona</p> <ul style="list-style-type: none"> • Residenciales: Alta • Comerciales: Alta • Industriales: Alta • Calles/carreteras: Limitada <hr/> <p style="text-align: center;">Beneficios para pluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de caudales pico: Alto • Mejora en la calidad de agua: Alto
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2. Cubiertas vegetadas. También conocidas como “techos verdes”, estas superficies de edificios con cubierta vegetal ayudan a reproducir el ciclo hidrológico natural. Al igual que las superficies permeables, las cubiertas vegetadas reducen el caudal pico de la escorrentía de las lluvias y mejoran la calidad del agua al filtrar contaminantes que hayan adquirido las gotas de lluvia al atravesar la atmósfera urbana. Estas cubiertas vegetadas aportan igualmente ventajas a los edificios en los que se construyen, como ser un aislamiento térmico interior. Adicionalmente, estas cubiertas mejoran las condiciones ambientales en verano reduciendo la temperatura externa. En zonas urbanas, esta ventaja resulta en una reducción del efecto “isla de calor” y en menores costos económicos asociados a reducir el consumo energético para refrigeración. Las cubiertas vegetadas mejoran la calidad de vida en zonas urbanas creando pequeños oasis verdes y creando mejores condiciones ambientales para árboles, plantas y fauna urbana. En ensayos realizados en la ciudad de Chicago se ha demostrado que a dos metros sobre un techo de asfalto se llegaron a medir temperaturas de hasta 76°C en verano, mientras que en un techo verde adyunto, estas temperaturas variaban entre los 33°C y 46°C (EPA 1). Los resultados son muy significativos ya que en zonas urbanas de alta densidad, los techos de edificios representan hasta un 30% de la superficie (EPA 1). Las cubiertas vegetadas permiten también recuperar estas superficies como espacio verde.



En ensayos realizados en la ciudad de Chicago se ha demostrado que a dos metros sobre un techo de asfalto se llegaron a medir temperaturas de hasta 76°C en verano, mientras que en un techo verde adyunto, estas temperaturas variaban entre los 33°C y 46°C (EPA 1). Los resultados son muy significativos ya que en zonas urbanas de alta densidad, los techos de edificios representan hasta un 30% de la superficie (EPA 1). Las cubiertas vegetadas permiten también recuperar estas superficies como espacio verde.

<p style="text-align: center;">Especificaciones generales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Medio de cultivo artificial de alto contenido mineral y de 5-15cm de espesor • Preferible combinar medio y plantas que no requieran fertilizante ni riego • Medio de evacuar aguas de tormentas que rebasen la capacidad del medio plantado • Medio de cultivo en techados que superan los 2/12 de pendiente requieren soporte adicional contra deslizamiento 	<p style="text-align: center;">Utilidad según zona</p> <ul style="list-style-type: none"> • Residenciales: Alta • Comerciales: Alta • Industriales: Alta • Calles/carreteras: Nula <hr/> <p style="text-align: center;">Beneficios para pluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de caudales pico: Alto • Mejora en la calidad de agua: Medio a alto
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Un techo con cubierta vegetal tiene que cumplir las funciones estructurales tradicionales, y, además, requiere algunos componentes adicionales que confieren los beneficios anteriormente descritos (figura 3). La vegetación puede ser simple, como herbáceas o musgos, o compleja, incluyendo arbustos y hasta árboles (DEP 1).

3. Captación y valorización del agua de lluvia. El concepto es tan antiguo como las primeras civilizaciones, pero con la llegada de los sistemas centralizados de abastecimiento de agua, los sistemas de captación de agua de lluvia quedaron en desuso en los siglos XIX y XX. El agua que escurre de los techados y otras superficies es captada y almacenada para su uso posterior. Los depósitos toman múltiples formas y tamaños, desde barriles decorativos de 200 litros drenados por gravedad hasta grandes depósitos soterrados con bombas a motor para extraer el agua para su uso. Una de las grandes ventajas es el bajo costo de instalación y la posibilidad de instalarlos en edificios existentes sin mayores obras. Los depósitos han de estar conectados al sistema de drenaje del tejado u otras superficies, y su tamaño depende del porcentaje de agua que se quiera captar o de las necesidades de riego u otro uso (figura 6). Para tormentas que excedan la capacidad de almacenamiento se instalan escapes que pueden drenar a zonas ajardinadas, superficies permeables o directamente a las alcantarillas.



Figura 6: Ejemplos de depósitos soterrados o sobre la superficie para captar agua de lluvia.

<p>Especificaciones generales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Depósitos que captan parte de las lluvias periódicas • Drenaje por gravedad o sistema de bombeo para riego u otro uso del agua • Requiere drenaje en caso de rebosar la capacidad • El agua ha de ser usada o descargada entre lluvias 	<p>Utilidad según zona</p> <ul style="list-style-type: none"> • Residenciales: Alta • Comerciales: Alta • Industriales: Alta • Calles/carreteras: Limitada
	<p>Beneficios para pluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de caudales pico: Medio/Alto • Mejora en la calidad de agua: Medio • Recarga de napas: Bajo, pero reduce el consumo de agua potable para riego

4. Cuneta y franja filtrantes. Las cunetas filtrantes aprovechan el espacio que con frecuencia encontramos a los laterales de calles y carreteras, separándolas de las aceras peatonales, viviendas, vías laterales, etc. Las cunetas, generalmente con un perfil trapezoidal de poca profundidad, son adaptadas para otorgarles la capacidad de retener la escorrentía de las zonas impermeables adyacentes. En algunos casos, estas cunetas permiten cierto nivel de filtración, reduciendo de esta forma el pico de caudal de escorrentía y su caudal total. Las aguas no infiltradas se vierten parcialmente depuradas de los contaminantes que hayan podido arrastrar. En estructura más simple las cunetas son básicamente depresiones sembradas con herbáceas o arbustos que filtran sólidos, que reducen la velocidad de escorrentía, secan los suelos por evapotranspiración y otorgan otros beneficios como ser reducir las temperaturas máximas en días soleados, evitando así el efecto isla de calor.

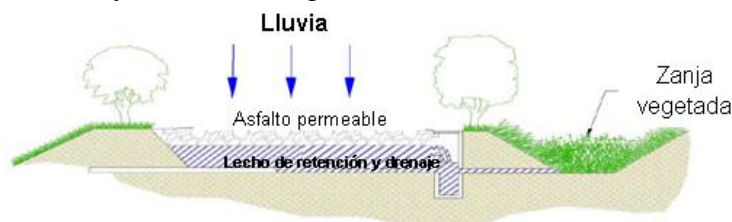


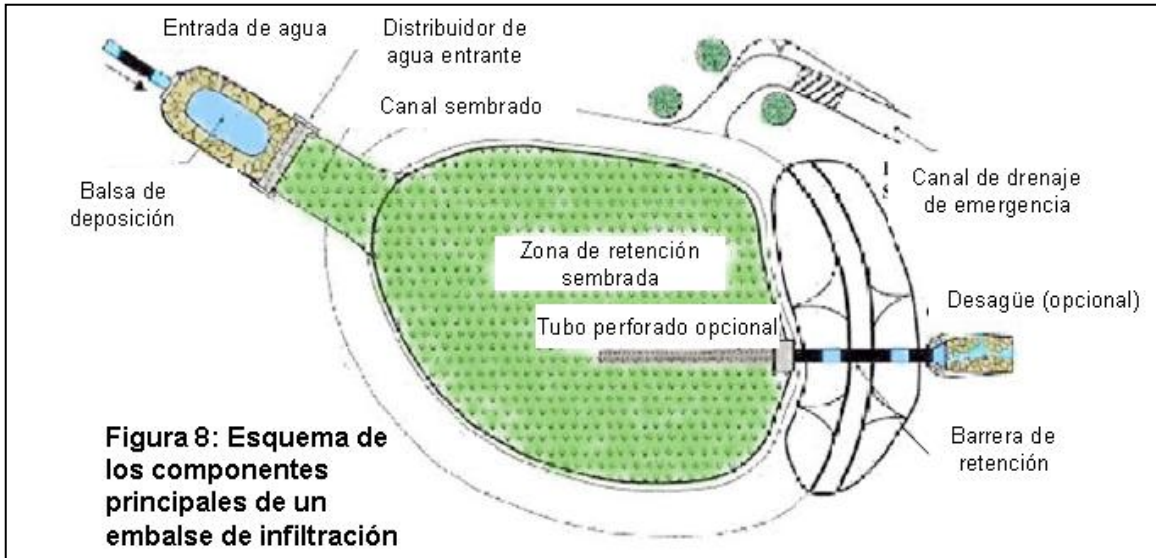
Figura 7: Franja vegetada filtrante acoplada a una zanja filtrante que capta aguas drenadas de una calle con pavimentación permeable

<p>Especificaciones generales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Drenaje de agua en un máximo de 72 horas • Drenaje a la napa o a tubos perforados • Límites de pendiente recomendados del 2-6% Pueden ser instaladas junto con zanjas de infiltración para mayor capacidad • Requiere vía de desagüe para lluvias que excedan la capacidad de retención • Requiere mantenimiento periódico 	<p>Utilidad según zona</p> <ul style="list-style-type: none"> • Residencial: Limitada • Comercial: Alta • Industrial: Alta • Calles/carreteras: Alta
	<p>Beneficios para pluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de caudales pico: Medio • Mejora en la calidad de agua: Alto • Recarga de napas: Alto

Cuando las cunetas son instaladas junto con zanjas de infiltración, estas son generalmente capaces de eliminar la escorrentía de un evento de precipitación de 2,5cm. Si se incluye el volumen de retención temporal de aguas, esta capacidad de eliminación llega hasta eventos con periodos de retorno de 10 años, siempre que hayan sido diseñadas en proporción a la superficie impermeable que drenan. La capacidad de retención puede ser aumentada mediante el uso de pequeñas presas, pero el tiempo de residencia de agua estancada no debe exceder 72 horas, para así evitar mortandad de plantas, proliferación

de mosquitos y otros resultados no deseados. En la figura 7 vemos un esquema de una franja filtrante acoplada a una zanja filtrante que capta aguas drenadas de una calle con pavimentación permeable.

5. Embalses de retención e infiltración: Los embalses de infiltración son áreas reservadas para la captación e infiltración de aguas de escorrentía. Generalmente se sitúan en zonas con suelos permeables y la disposición final del agua suele ser una combinación de infiltración a la napa, evaporación y evapotranspiración. Los embalses son extensos en superficie para permitir la eliminación del agua embalsada en un periodo de 22 horas.



Si se exceden las 22 horas, puede verse perjudicada la viabilidad de las plantas sembradas en su interior y que son parte integral del sistema de gestión y tratamiento de las aguas. El embalse ha de tener una salida para evacuar escorrentías de tormentas que supere el ciclo de retorno para el cual ha sido diseñada. El pequeño embalse de deposición a la entrada permite captar residuos sólidos urbanos que arrastre la escorrentía, facilitando así su recogida. También reduce la velocidad del agua entrante (figura 8).

<p style="text-align: center;">Especificaciones generales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lecho sin compactar • Estudio de infiltración previo • En lo posible, conservar la vegetación existente • Ha de ser diseñada para retener e infiltrar tormentas con un periodo de retorno de hasta 2 años • Requiere una estructura apropiada para drenar el agua de eventos que excedan su capacidad • Nivel mínimo de 1m sobre la napa necesario para una infiltración efectiva 	<p style="text-align: center;">Utilidad según zona</p> <ul style="list-style-type: none"> • Residencial: Limitada • Comercial: Alta • Industrial: Alta • Calles/carreteras: Alta <hr/> <p style="text-align: center;">Beneficios para pluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de caudales pico: Medio • Mejora en la calidad de agua: Alto • Recarga de napas: Alto
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

b. Líneas generales en la selección e implementación de sistemas de drenaje natural

Los sistemas de drenaje natural tienen retos técnicos individuales que han de ser evaluados de acuerdo a la función deseada, al emplazamiento, al clima local, a la topografía, etc. Dos parámetros decisivos en la selección de los sistemas son la superficie afectada y la pluviometría de la zona.

Para superficies pequeñas la recolección y el uso de agua de lluvia sirve para gestionar el caudal de agua. Sin embargo, su impacto a nivel de cuenca es mínimo.

Para superficies a mayor escala es más eficiente gestionar agua de escorrentía por medio de embalses de retención e infiltración y cunetas y franjas filtrantes. No obstante, es importante el uso de soluciones a pequeña y gran escala. Si no hay gestión de escorrentía en su origen, el tamaño y costo de los sistemas de gestión de caudales a gran escala aumenta rápidamente. Consecuentemente, la selección e implementación de sistemas de drenaje natural han de ser coordinadas a nivel de subcuenca para dimensionar sus componentes de forma efectiva en cuanto a costos y eficacia.

El segundo parámetro es la pluviometría en la zona en que se instalen los sistemas de drenaje natural, principalmente el volumen total de lluvia y su distribución temporal. Los eventos de precipitación son en su mayoría de intensidad pequeña y de volumen reducido. Estas lluvias de mayor frecuencia no crean problemas de inundaciones, pero sí suelen arrastrar altos niveles de contaminación. Para este tipo de eventos sería prioritario enfocarse en aquellos sistemas de drenaje natural que sean más efectivos para mejorar la calidad del agua de escorrentía.

Si la meta principal es reducir el impacto y la frecuencia de inundaciones se deben usar sistemas de drenaje natural que reduzcan el pico y el volumen de caudal de escorrentía.

El enfoque más común en la selección e implementación de sistemas de drenaje natural es combinar las técnicas que permitan gestionar un conjunto de problemas asociados con la calidad y el caudal de aguas de escorrentía.

Objetivo de diseño	Periodo de retorno de la lluvia (años)				
	0.01	0.1	1	10	100
Técnicas de infiltración	■				
Control de la contaminación	■				
Control de la erosión en el medio receptor		■			
Control de las inundaciones				■	

Figura 9: Los sistemas de drenaje natural abarcan una gama de funciones. Su implementación requiere una combinación de sistemas que permita gestionar un conjunto de problemas asociados con cada tipo de evento de precipitación (figura adaptada de Momparler y Andrés-Doménech (MOM 1).

La figura publicada por Momparler y Andrés-Doménech (figura 9) representa la relación que existe entre los objetivos de los sistemas de drenaje natural y los periodos de retorno de eventos de lluvia.

Un reto específico a la zona de Buenos Aires y otras áreas llanas con napas poco profundas es el deseo de reducir el nivel de las aguas subterráneas con el objetivo de disminuir la frecuencia con la cual estas áreas llanas se anegan tras periodos de lluvias. En zonas que se enfrentan con dicho problema, se limitaría el uso de aquellos sistemas de drenaje natural que facilitan que facilitan la recarga de napas. Otros sistemas sí podrían contribuir a mejorar la situación sobre todo por evapotranspiración y otros procesos que reducen el volumen de agua que llega a drenarse.

Nuevos marcos para financiar la construcción y el mantenimiento de los sistemas de drenaje natural:

Existe la percepción de que los costos de los sistemas de drenaje natural son altos. Sin embargo, varios estudios demuestran que comparados con métodos tradicionales centralizados, algunos sistemas son competitivos (tabla 2). La distribución de costos es diferente a la de los sistemas tradicionales. En vez de ser asumidos por un ente estatal o paraestatal, con frecuencia son los ejecutores de obras o los propietarios de cada terreno sobre los que se construyen los sistemas quienes asumen el

gasto. Los costos publicados en los EE.UU. vienen representados en una variedad de unidades, como costo por unidad, capacidad, dimensiones, etc.

La ciudad de Seattle en EE.UU. publica por ejemplo unos

costos de US\$285.000 y US\$325.000 por 100 metros de calle construidos con sistemas de drenaje natural en zonas residenciales. Estos costos fueron 40% más bajos que los costos de los sistemas tradicionales de gestión de escorrentía (SEA 1). En varios países de Europa y en los EE.UU. hay nuevos esquemas que permiten asignar un valor económico a los costos de aguas de escorrentía y a la contaminación difusa, y a su vez asignar un costo de gestión en origen. La ciudad de Washington, por ejemplo, está desarrollando un nuevo esquema de tarifas para aguas residuales que ya no dependen únicamente de los volúmenes de agua abastecidos por el ente de aguas. Tradicionalmente, el monto total de la factura del agua está compuesto en un 50% por aguas servidas y en un 50% por aguas evacuadas. Bajo el sistema nuevo de determinación de tasas de gestión de aguas residuales, cuya implementación está prevista para principios del año 2010, la tarifa consistirá en tres variables relativas al volumen de agua que genera cada propiedad (DC 1).

La primera variable consiste en el agua servida. Esta variable refleja el costo de captación, tratamiento y distribución de agua potable.

Sistema	Ecuación de costes	Coste por la gestión de 40,000m ³
Embalse en superficie	$C = 5.2 * V^{0.826}$	US\$35 millones
Depósitos subterráneos	$C = 7.1 * V^{0.795}$	US\$44 millones
Balsas de retención	$C = 62.6 * V^{0.69}$	\$390,000

Composición básica del nuevo modelo de tasación de aguas en la ciudad de Washington (EE.UU.)
Tarifa = (Agua servida) + [(Agua evacuada) + (Superficie x % impermeable x ppt media anual) – factor SDN]

Las aguas residuales consisten en la suma de las aguas evacuadas más las aguas de escorrentía ajustadas por un factor en caso de haber sistema de drenaje natural.

Las aguas de escorrentía se calculan en base a la superficie de la propiedad multiplicada por la proporción de la superficie que es impermeable y, a su vez, multiplicada por la precipitación media anual.

El cálculo de aguas de escorrentía es ajustado, a su vez, por un coeficiente que valora la instalación de sistemas de drenaje natural, reduciendo el porcentaje de superficie impermeable.

Existirá, por lo tanto, un incentivo económico para que los dueños de propiedades asuman el costo de instalar sistemas de drenaje natural.

c. Beneficios de los sistemas de drenaje natural: Control de caudales y mejoras en la calidad del agua

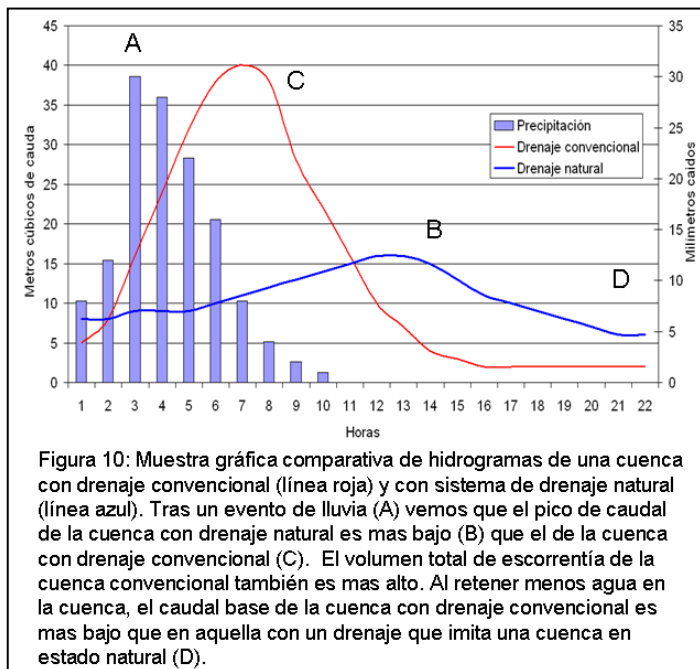
Hasta este punto hemos planteado el problema de aguas pluviales y hemos evaluado los sistemas de drenaje natural como opción viable para solucionar los problemas de inundaciones y de calidad de aguas. A su vez, también hemos resumiendo las características técnicas de dichos sistemas de drenaje natural.

Ahora presentamos el abanico de beneficios a los que nos dan acceso los sistemas de drenaje natural. Los beneficios incluyen la reducción de caudales punta, la mejora en la calidad de aguas fluviales y la recarga natural de acuíferos, así como los beneficios sociales.

1. Beneficios directos en el tratamiento de aguas pluviales
 - a. Sedimentación y precipitación de sólidos y contaminantes: Los materiales sólidos en suspensión transportados en la escorrentía se depositan al bajar la velocidad del agua que entra en los sistemas de drenaje natural. En los sistemas convencionales en los cuales existen altas velocidades de drenaje, dichos contaminantes son arrastrados hasta los ríos o costas en los cuales se vierten las alcantarillas. La sedimentación y los sólidos arrastrados aumentan la carga a tratar cuando existe el tratamiento de aguas de escorrentía. Estos también aumentan la carga de nutrientes y, con ello, la demanda de oxígeno disuelto. Esto conlleva repercusiones negativas en ecosistemas acuáticos.
 - b. Filtración y biofiltración de contaminantes. La filtración física tiene lugar al pasar la escorrentía por superficies permeables o superficies vegetadas. La vegetación en cubiertas vegetadas u otros sistemas con plantas facilita la biofiltración y ayuda a retener materiales sólidos y contaminantes que son degradados por procesos biológicos o por biodegradación.
 - c. Adsorción de los contaminantes. Los contaminantes en el agua se acumulan sobre la superficie de materiales en los sistemas de drenaje natural, evitando así que sigan su camino y dañen la calidad de las aguas donde se vierte la escorrentía.

- d. Biodegradación. Ver filtración y biofiltración.
 - e. Retención de metales pesados y otros contaminantes tóxicos. Por medio de varios procesos tanto biológicos como físicos, los metales pesados y otros contaminantes son eliminados del agua. Por ejemplo, los metales en solución se transforman en partículas insolubles y se eliminan de la cadena trófica por precipitación.
 - f. Consumo de nutrientes por parte de plantas y bacterias. El nitrógeno es un nutriente importante para plantas y microorganismos. Su presencia excesiva en el agua permite un crecimiento descontrolado de plantas y organismos acuáticos. Cuando estas plantas y organismos mueren, su descomposición agota el oxígeno disuelto en el agua. Los sistemas de drenaje natural permiten que actúen procesos naturales del ciclo del nitrógeno, como la nitrificación, la mineralización y la absorción por plantas terrestres, reduciendo así la disponibilidad de nitrógeno en el agua. Lo mismo ocurre con el fosfato, otro nutriente cuya excesiva presencia causa que se agote el oxígeno disuelto en el agua.
 - g. Mejoras en los valores térmicos de las aguas de escorrentía. Los sistemas de drenaje natural son superficies que no se recalientan tanto como el asfalto u otras superficies convencionales. Por ello, las aguas de escorrentía no absorben tanto calor al escurrirse sobre superficies calientes. Adicionalmente, la evaporación que tiene lugar en algunos sistemas ayuda a disminuir su temperatura.
2. Beneficios en la gestión de caudales. Los beneficios derivados de los sistemas de drenaje natural son de efecto inmediatos y a largo plazo, permitiendo la recuperación de cauces naturales dañados por altas y repetidas fluctuaciones del caudal.

- a. Reducción del volumen total de escorrentía. Múltiples procesos en los sistemas drenaje natural, como son la retención, infiltración, evapotranspiración, etc., resultan en una reducción del caudal total de escorrentía en una cuenca, disminuyendo así el costo de gestión.
- b. Control del caudal máximo. La figura 10 describe gráficamente en un hidrograma ficticio los beneficios de la gestión del caudal



pico de escorrentía en una cuenca con sistemas de drenaje que imitan a una cuenca natural. Tras un evento de lluvia (A) vemos que el pico del caudal de la cuenca con drenaje natural es más bajo (B) que el de la cuenca con drenaje convencional (C). Grandes variaciones de caudales en cortos plazos desestabilizan los cauces de ríos, causando daños a los hábitats en sus lechos y riberas, originando problemas de erosión e impactando estructuras como puentes, tomas de agua, etc.

- c. Recarga de acuíferos. Los sistemas de drenaje natural reducen la superficie impermeable y la velocidad de escorrentía, facilitando así la infiltración del agua. Si sumamos a la infiltración del agua la retención de caudales en origen, entonces se aumenta el volumen de agua infiltrada y la recarga de acuíferos.
 - d. Aumento de caudales base de ríos. La recarga de acuíferos y la disminución del caudal pico de escorrentía dan lugar a caudales base más altos en ríos de zonas con sistemas de drenaje natural. Un caudal base sostenible es clave para mantener ecosistemas fluviales sanos con su biodiversidad completa.
3. Beneficios económicos y sociales
- a. Reducción en la frecuencia de inundaciones. Si se controla el volumen total de escorrentía y el pico de caudal queda reducida la probabilidad de que éstos excedan la capacidad de gestión de las alcantarillas. Este problema, común en áreas urbanas y extraurbanas, resulta en cuantiosos daños económicos.
 - b. Mejora en la calidad de vida (estética, biodiversidad, etc.). Las zonas en que se instalan sistemas de drenaje natural suelen tomar un aspecto de zona verde y crean micro hábitats para fauna natural. Con ello mejora la calidad de vida de las personas que habitan o trabajan en ellas. Estas zonas verdes ayudan a su vez a establecer más enlaces entre los ecosistemas en zonas urbanas y sus alrededores.
 - c. Protección de la calidad de aguas y de los ecosistemas en los que vierten las alcantarillas. La protección de organismos acuáticos y de la calidad del agua es uno de los beneficios más importantes obtenidos con sistemas de drenaje natural. Estos beneficios incluyen mantenimiento de niveles de oxígeno disuelto, protección de fauna piscícola y aguas limpias en ríos y costas que permiten usos recreativos como bañarse.
 - d. Menor demanda de sistemas convencionales de evacuación y tratamiento de aguas. Los sistemas convencionales de drenaje son costosos de instalar y operar, más si hay que hacer obras importantes para ampliar o rehabilitar sistemas soterrados bajo las ciudades. La instalación de sistemas de drenaje natural reducen la carga sobre sistemas convencionales, tanto de evacuación como de tratamiento. Este no es siempre el beneficio principal, pero combinado con los tres anteriores resulta innegable la ventaja económica y social de los sistemas.

4. Una visión para el futuro: Consideraciones para el desarrollo urbano en Argentina

El problema de la calidad de aguas y el control de inundaciones es complejo y requiere actuaciones en múltiples frentes técnicos, políticos y normativos. Los sistemas de drenaje natural pueden contribuir significativamente a su resolución, pero solo si van acompañados de mejoras estructurales en los sistemas de drenaje y políticas de regulación del uso del suelo en las zonas inundables.

La adopción de sistemas de drenaje natural en la Argentina, incluyendo acciones clave que puedan facilitar su implementación, requiere una perspectiva global. La adopción de dichos sistemas implica un reparto de costos y beneficios que rompen con el molde tradicional existente para la gestión de aguas de escorrentía. Los sistemas de drenaje natural se basan en la descentralización de actividades para el control de escorrentía, fomentando una serie de proyectos a escala local que controlan la escorrentía en su origen. Estas actuaciones pueden ser de carácter institucional por parte de las administraciones públicas y de carácter privado, es decir, promotoras inmobiliarias, empresas de construcción, estudios de arquitectura y los mismos ciudadanos.

“entre Ciudad, Provincia y Municipios [de Buenos Aires], no hay obra hidráulica que alcance si en las áreas donde nacen esos arroyos y sus afluentes se continúan reduciendo las superficies de terreno y vegetación absorbentes.”

Ingenieros Ignacio Moya y Bernardo Rincón -
Comisión de Área Metropolitana CAI (CAI 1)

Instituciones nacionales o regionales

En el continente europeo y en los EE.UU. un punto de partida importante para el fomento de los sistemas de drenaje natural ha sido el enfoque de legislación reciente en el control de contaminación de agua de origen difuso². Un ejemplo de esta legislación es la Directiva Marco del Agua en la Unión Europea. La implementación de este tipo de legislación, sobre todo en zonas urbanas, resulta en el desarrollo y la implementación exponencial de los sistemas de drenaje natural. Entes públicos en grandes áreas metropolitanas están redactando nuevas normativas que impulsan actuaciones locales, generalmente financiadas por entes privados, que buscan gestionar aguas de escorrentía en su origen. Otras opciones para entes nacionales y regionales incluyen actividades más tradicionales como la difusión de conocimientos y experiencias, incluyendo la elaboración de manuales de diseño y construcción como los del estado de Pensilvania en los EE.UU. (DEP 1). Las instituciones nacionales y regionales son uno de los mayores motores económicos en el sector de la construcción y pueden tener una influencia importante en el mercado por medio de políticas uniformes de adquisición de bienes y servicios.

² Conocida como *Non-point source pollution* en los EE.UU.

Municipalidades

Las municipalidades tienen la capacidad de fomentar la adopción de sistemas de drenaje natural en zonas urbanas a través de ordenanzas, impuestos, etc. Una opción es adoptar políticas que favorecen la gestión de aguas de escorrentía en su origen, sin especificar cómo llegar a ello. Otra opción es la adopción o actualización de las normativas de gestión de aguas de escorrentía, cuya aplicación sea obligatoria para proyectos de construcción. Por ejemplo, la normativa del 2009 de la ciudad de Chicago (EE.UU.) establece un parámetro técnico de rendimiento, limitando el caudal máximo así como el volumen total de escorrentía permitidos para una obra nueva (CHI 2). La normativa no especifica las técnicas que han de ser empleadas, dejando la puerta abierta a la adopción de las mejores prácticas de acuerdo a las necesidades de cada proyecto.

Otros municipios han optado por incentivos financieros, como el caso de la ciudad de Washington descrito anteriormente. En ese caso, según aumenta el caudal de agua de escorrentía de una propiedad, también aumenta la tasa de gestión de aguas residuales para el propietario. Al implementar sistemas de drenaje natural que disminuyan el caudal de escorrentía, se reduce dicha tasa, creando así un incentivo económico para su adopción. Esta es una opción de bajo costo para el municipio, pero no es la única opción.

La ciudad de Chicago ha establecido un equipo “*crack*” para procesar permisos de obra nueva de edificios con techos verdes. Estos equipos han acelerado el plazo de otorgación de permisos de obra de dos años a seis meses. Esta reducción en el tiempo para la otorgación de permisos de obra es un gran incentivo para agencias inmobiliarias y el costo adicional para la ciudad es mínimo (CHI 3).

Las municipalidades juegan un papel clave en la actualización de normativas históricas y recientes en el ámbito de la construcción. Esta actualización debe tener en cuenta los nuevos principios de urbanismo. Existen normativas que pueden imposibilitar la instalación de sistemas de drenaje naturales. Algunos ejemplos de estas normativas son los requerimientos de capacidad mínima de carga de asfaltos, el ancho mínimo de calles para el paso de camiones contra incendios y la localización de infraestructura soterrada para gas, electricidad y telefonía (SEA 1). Este proceso requiere una participación multisectorial, incluyendo empresas de servicios públicos, autoridades gubernamentales, municipales y regionales.

Empresas del sector inmobiliario y de la construcción

Las empresas inmobiliarias también pueden contribuir a la mejora de la gestión de aguas, adoptando por iniciativa propia sistemas de drenaje natural y otros procesos que mejoren la sostenibilidad de nuevas construcciones. Estos procesos crearán un mayor valor añadido a su producto.

Las compañías que poseen departamentos de gestión medioambiental tienen a su vez políticas que regulan la adquisición de bienes inmobiliarios. Estas políticas requieren que se considere la huella medioambiental que podrían dejar sus proyectos y que se determinen medidas para reducirla. Estas compañías son clientes naturales de empresas inmobiliarias que adoptan sistemas de drenaje natural en sus obras nuevas.

En el sector de la construcción existe igualmente un incentivo económico para que las empresas se especialicen en la construcción de sistemas de drenaje natural. Aquellas empresas constructoras que invierten recursos en un estudio de mercado y que ejecutan un plan interno de capacitación pueden mejorar sus cualificaciones al competir por contratos de obras de alto ranking.

Ciudadanos

La concienciación de los ciudadanos sobre los beneficios que surgen de una mejor gestión de aguas de escorrentía hace que aumente su participación en la toma de decisiones al respecto. Aquel ciudadano que conoce los beneficios tanto técnicos como de calidad de vida que le otorgan los sistemas de drenaje natural es más proclive a requerir dichos sistemas, tanto en sus adquisiciones privadas, como por ejemplo su vivienda, como en inversiones públicas por parte de entes gubernamentales que dependen de su voto.

Universidades y centros de capacitación técnica

Los sistemas de drenaje natural surgieron en gran parte de investigaciones universitarias centradas en la gestión sostenible de cuencas. Ahora que los sistemas de drenaje natural han demostrado su efectividad a escala comercial, es necesario que las universidades incorporen el estudio de estos drenajes como parte del programa de estudios de carreras como urbanismo, ingeniería y arquitectura. A su vez, hay que actualizar los programas de capacitación en las escuelas técnicas, donde cursan estudios los futuros jefes de obra. A modo de ejemplo, se recomienda investigar los programas que ofrece la Facultad de Construcción y Medioambiente del Instituto de Tecnología de la Columbia Británica en Canadá. Estos programas ofrecen una amplia variedad de especializaciones y niveles de titulación (BCI 1).

5. Casos Prácticos

Existen múltiples ciudades que han adoptado prácticas de drenaje natural a una escala muy considerable. Ejemplos son Seattle en el estado de Washington en los EE.UU., o Lyon en Francia. A continuación se resumen dos ciudades con programas muy avanzados para fomentar infraestructura verde, incluyendo sistemas de drenaje natural.

Chicago, Illinois EE.UU.

La ciudad tiene más de 3.000km de callejones que no están conectados a la red de alcantarillado, creando problemas de inundaciones locales. Subsidios municipales incentivan el uso de sistemas de captación del agua de lluvia para riego y otros usos.



La ciudad de Chicago (Illinois, EE.UU.) ya tiene más de 100.000m² de cubiertas vegetadas.

Al desconectar los desagües de los techos de las alcantarillas que captaban el agua de lluvia, se ha logrado reducir en un 20% el caudal de escorrentía. Chicago ya tiene más de 100.000m² de cubiertas vegetadas o techos verdes. La ciudad estima un ahorro energético potencial en refrigeración equivalente a una producción de 720 megavatios o 3 plantas térmicas de carbón. La demanda de hormigón permeable por parte de la ciudad ha creado un mercado competitivo, gracias al cual el precio del mismo ha bajado de US\$145/m² a US\$45/m².

Portland, Oregon EE.UU.

Los sistemas de captación de lluvias en las 45.000 viviendas en Portland permiten que se infiltren 4 millones de metros cúbicos de agua por año, evitando así que éstos contribuyan al pico de escorrentía o al caudal de agua que requiere tratamiento.

Los adoquines permeables y los bordillos verdes con franjas de infiltración han eliminado prácticamente la escorrentía de lluvia de las calles.

En la subcuenca de Brooklyn Creek los aumentos de picos de escorrentía que resultaban de la impermeabilización de la cuenca aumentaron el caudal de los sistemas combinados de alcantarilla y cloaca. Éstos superaban la capacidad de tratamiento y eran vertidos al medio receptor.

Por medio de iniciativas públicas y privadas, y empleando una variedad de sistemas de drenaje natural, los gestores han conseguido ahorros de US\$86 millones. Gracias a la reducción en el caudal pico de escorrentía a tratar, quedó reducida la ampliación necesaria de la planta de tratamiento de aguas.



Por medio de adoquines permeables y bordillos verdes con franjas de infiltración, la ciudad de Portland (Oregon, EE.UU.) ha eliminado prácticamente la escorrentía de lluvia de las calles en zonas en donde han sido instalados.

6. Bibliografía

Conforme ha ido evolucionando el conocimiento, en los últimos años ha habido un aumento notable en el número de publicaciones referentes a técnicas alternativas de control de escorrentías urbanas. La bibliografía servirá tanto para documentar las fuentes de información de este informe como para facilitar el acceso a valiosísimos documentos gratuitos disponibles en Internet, como son diseños detallados de sistemas, etc.

BID 1: *Programa de Agua Potable y Saneamiento para Centros Urbanos y Suburbanos (PAyS)*. Proyecto AR-L1084 (Línea CCLIP: AR-X1017). Descargado en septiembre 2009 de <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=1902367>

BCI 1: British Columbia Institute of Technology School of Construction and the Environment. Programa descargado en octubre de 2009 en <http://www.bcit.ca/construction>

BM 1: *Inundaciones en el Área Metropolitana de Buenos Aires*. Banco Mundial (2001). Descargado en julio 2009 en <http://www.proventionconsortium.org/themes/default/pdfs/buenosaires.pdf>

BM 2: *Infrastructure in Latin America: Recent Evolution and Key Challenges* (2005). Descargado en septiembre 2009 de <http://www.worldbank.org/transport/transportresults/regions/lac/cb-argentina-260705.pdf>

CAI 1: *Que Hacer Hoy Ante Las Inundaciones En El Área Metropolitana* (2008). Ingenieros Ignacio Moya y Bernardo Rincón. Centro Argentino de Ingenieros. Descargado en julio 2009 de <http://cai.org.ar>.

CDRN 1: *ROOFTOPS TO RIVERS: Green Strategies for Controlling Stormwater and Combined Sewer Overflows*. Nancy Stoner, Consejo para la Defensa de Recursos Naturales (2006). Descargado en julio 2009 en www.nrdc.org

CHI 1: *Chicago Deep Storage Tunnel Project*. Descargado en julio 2009 en <http://www.mwr.org/>

CHI 2: *City of Chicago Stormwater Management Ordinance Manual (2009)* Descargado en octubre de 2009 de http://egov.cityofchicago.org/webportal/COCWebPortal/COC_ATTACH/2009StormwaterManual_1.pdf

CHI 3: *The Chicago Department of Construction and Permits Green Permit Program*. Descargado en octubre de 2009 de http://www.iccsafe.org/news/green/Chicago_GreenPermitBrochure.pdf

CHI3: *La Gestión de aguas de escorrentía de lluvias con infraestructura verde: Casos prácticos de cinco municipalidades en los EE.UU.* (Managing Urban Stormwater with

Green Infrastructure: Case Studies of Five U.S. Local Governments). Descargado en Noviembre 2009 de <http://www.cnt.org/repository/GreenInfrastructureReportCivicFederation%2010-07.pdf>

DC 1: Committee on Public Works and the Environment Stormwater Management Task Force. Descargado en octubre 2009 de <http://ddoe.dc.gov/ddoe/cwp/view,a,1209,q,497143.asp>

DEP 1: *Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual* (2006). Descargado en agosto de 2009 de <http://www.elibrary.dep.state.pa.us/dsweb/View/Collection-8305>

EPA 1: *Efecto de Islas de Calor. Agencia de Protección Ambiental de los U.U.EE.* Descargado en septiembre de 2009 de www.epa.gov/hiri

IPCC 1: *CAMBIO CLIMÁTICO 2007 IMPACTO, ADAPTACIÓN Y VULNERABILIDAD* (2007) Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). <http://www.ipcc.ch/>

MAD 1: *Plan para la Mejora de la Calidad de las Aguas del Río Manzanares.* Descargado en setiembre de 2009 en <http://www.munimadrid.es>

MOM 1: *Los Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible: Una Alternativa A La Gestión Del Agua De Lluvia.* Sara Perales Momparler(1), Ignacio Andrés- Descargado en agosto de 2009 de http://www.ciccp.es/biblio_digital/V_Congreso/congreso/pdf/010310.pdf

OMS 1: *Progresos En Materia de Agua y Saneamiento. Enfoque Especial Saneamiento.* Organización Mundial de la Salud (2008). Descargado en septiembre de 2009 en http://www.wssinfo.org/pdf/JMP_08_sp.pdf

OECD 1: *Argentina Country Case Study on Domestic Policy Frameworks for Adaptation in the Water Sector* (2006) Descargado en septiembre de 2009 en <http://www.oecd.org/dataoecd/29/2/36448827.pdf>

Red: *Desbordes, Inundaciones Y Diluvios.* Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (1994). Descargado en agosto 2009 en <http://www.desenredando.org/public/revistas/dys/rdys03/index.html>

SEA 1: *Cost Analysis of Natural vs. Traditional Drainage Systems Meeting NDS Stormwater Goals.* Descargado en octubre 2009 en http://www.ci.seattle.wa.us/util/About_SPU/Drainage_&SewerSystem/NaturalDrainageSystems/NaturalDrainageOverview/SPU01_002593.asp

SWMPC 1: Foto de superficie permeable descargada en agosto 2009 de la web de Southwest Michigan Planning Commission en <http://www.swmpc.org/porous.asp>

Fuentes de Información de Particular Utilidad Para Profesionales de la Construcción (Nota - Esta documentación es gratuita pero solo se encuentra disponible en inglés)

Manual de construcción de sistemas de drenaje natural del departamento de medio ambiente del estado de Pensilvania (EE.UU.). Excelente recopilación de sistemas con detalles técnicos para su instalación y mantenimiento.

<http://www.elibrary.dep.state.pa.us/dsweb/View/Collection-8305>

Cursos de capacitación virtuales y en aula y documentación técnica de la agencia de protección medio ambiental de los EE.UU.

<http://cfpub.epa.gov/npdes/greeninfrastructure/gitrainings.cfm>

Métodos de construcción de superficies impermeables

<http://www.resourcesaver.org/file/toolmanager/CustomO16C45F95080.pdf>