



**SWITCH**

# Kit de capacitación SWITCH

GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA URBANA  
PARA LA CIUDAD DEL FUTURO



# Módulo 4

AGUAS PLUVIALES

Explorando las opciones





## Editorial

Producido por:	ICLEI – Local Governments for Sustainability, European Secretariat   Gino Van Begin (responsable)
Autor principal:	Ralph Philip, (ICLEI European Secretariat)
Basado en la labor de los siguientes socios del consorcio SWITCH:	Heiko Sieker, Christian Peters (Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH); Mike D. Revitt, Bryan J. Ellis, Lian Scholes, Brian Shutes (Middlesex University); Chris Jefferies, Alison Duffy (Abertay University); Jacqueline Hoyer, Wolfgang Dickhaut, Lukas Kronawitter, Björn Weber (Hafen City University)
Editores:	Ralph Philip, Barbara Anton, Anne-Claire Loftus (ICLEI European Secretariat)
Diseño:	Rebekka Dold   Grafik Design & Visuelle Kommunikation   <a href="http://www.rebekkadold.de">www.rebekkadold.de</a> Imagen de portada por Loet van Moll-Illustraties   <a href="http://www.loetvanmoll.nl">www.loetvanmoll.nl</a>
Layout versión en español:	Coordinador y responsable: M. en I. Edgar Villaseñor Franco (ICLEI Oficina México); Traducido y adaptado al español por Imanol Chávez Góngora (University of Texas-Pan American); M. en I. Paulina Soto, Arq. Ramón Delgado Aguirre, M. en I. Itzel Alcérreca Corte (ICLEI Oficina México); Layout: LDG Ma. del Pilar Martínez Melendez y LDG Ozcielle A. Castellanos Maldonado.
Copyright:	 © ICLEI European Secretariat GmbH, Freiburg, Germany 2011 El contenido de este kit de capacitación está bajo una licencia de Creative Commons especificada como atribución. No comercial-Compartir bajo la misma licencia 3.0. Esta licencia permite a otros combinar, modificar, y construir sobre los materiales del Kit de capacitación SWITCH con fines no comerciales, siempre y cuando se atribuyan los créditos a ICLEI European Secretariat y la licencia de sus nuevas creaciones bajo los mismos términos legales. <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/">http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/</a> El texto legal completo sobre las condiciones de uso de esta licencia se puede encontrar en: <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.es_ES">http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.es_ES</a>
Agradecimientos:	Este kit de capacitación ha sido producido como parte del proyecto SWITCH - Gestión del Agua para la Ciudad del Futuro (Enero 2006 a abril 2011). El proyecto fue cofinanciado por la Dirección General de Investigación de la Comisión Europea dentro del Sexto Programa Marco. <a href="http://www.switchurbanwater.eu">www.switchurbanwater.eu</a>  Asimismo agradecemos a las instituciones y funcionarios de México quienes apoyaron en la revisión de este módulo: Ing. José Antonio Jiménez Ferrero, Subgerente de Drenaje Pluvial de la Gerencia de Infraestructura Hidráulica Pluvial de la Subdirección General de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CONAGUA; Ing. Sergio Loustaunau. Vocal Ejecutivo de la Comisión Estatal del Agua de Querétaro (CEAQro); Lic. Efraín García Mora. Coordinador General del Sistema de Agua y Saneamiento (SAS) del Ayuntamiento de Centro, Tab.
Descargo de responsabilidad:	Esta publicación refleja únicamente la opinión de los autores. La Comisión Europea no se hace responsable del uso que pueda hacerse con la información contenida en esta publicación.

# Kit de capacitación SWITCH

GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA URBANA  
PARA LA CIUDAD DEL FUTURO

## Módulo 4

AGUAS PLUVIALES

Explorando las opciones

# Kit de capacitación SWITCH

## Gestión Integral del Agua Urbana para la Ciudad del Futuro

El Kit de capacitación SWITCH es una serie de módulos acerca de la Gestión Integral del Agua Urbana (GIAU) desarrollados en el marco del proyecto 'SWITCH – Gestión del Agua para la Ciudad del Futuro. El Kit está diseñado principalmente para realizar actividades de entrenamiento enfocándose principalmente en los siguientes grupos.

- Autoridades que tomen decisiones en los gobiernos locales.
- El personal superior de las áreas gubernamentales locales que:
  - esté directamente relacionados con la gestión del agua,
  - sea gran consumidor de agua, como parques y centros de recreación,
  - tenga un gran impacto sobre los recursos hídricos, tales como la planificación del uso de la tierra,
  - tenga interés en el uso del agua en general, como los departamentos de medio ambiente.
- Los administradores y profesionales de los organismos operadores de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Todos los módulos están estrechamente vinculados entre sí, además de que estos vínculos están claramente indicados a través de los módulos. La información contenida en los módulos está respaldada por una biblioteca de recursos en línea, casos de estudio y enlaces de internet con material externo, el cual está marcado en los casos que aplica. Los siguientes símbolos se utilizan para indicar cuándo hay información adicional disponible:



Se refiere a otro módulo del Kit de capacitación SWITCH, donde se puede encontrar más información.



Se refiere a material adicional SWITCH almacenado en el portal de entrenamiento en línea SWITCH.  
([www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources))

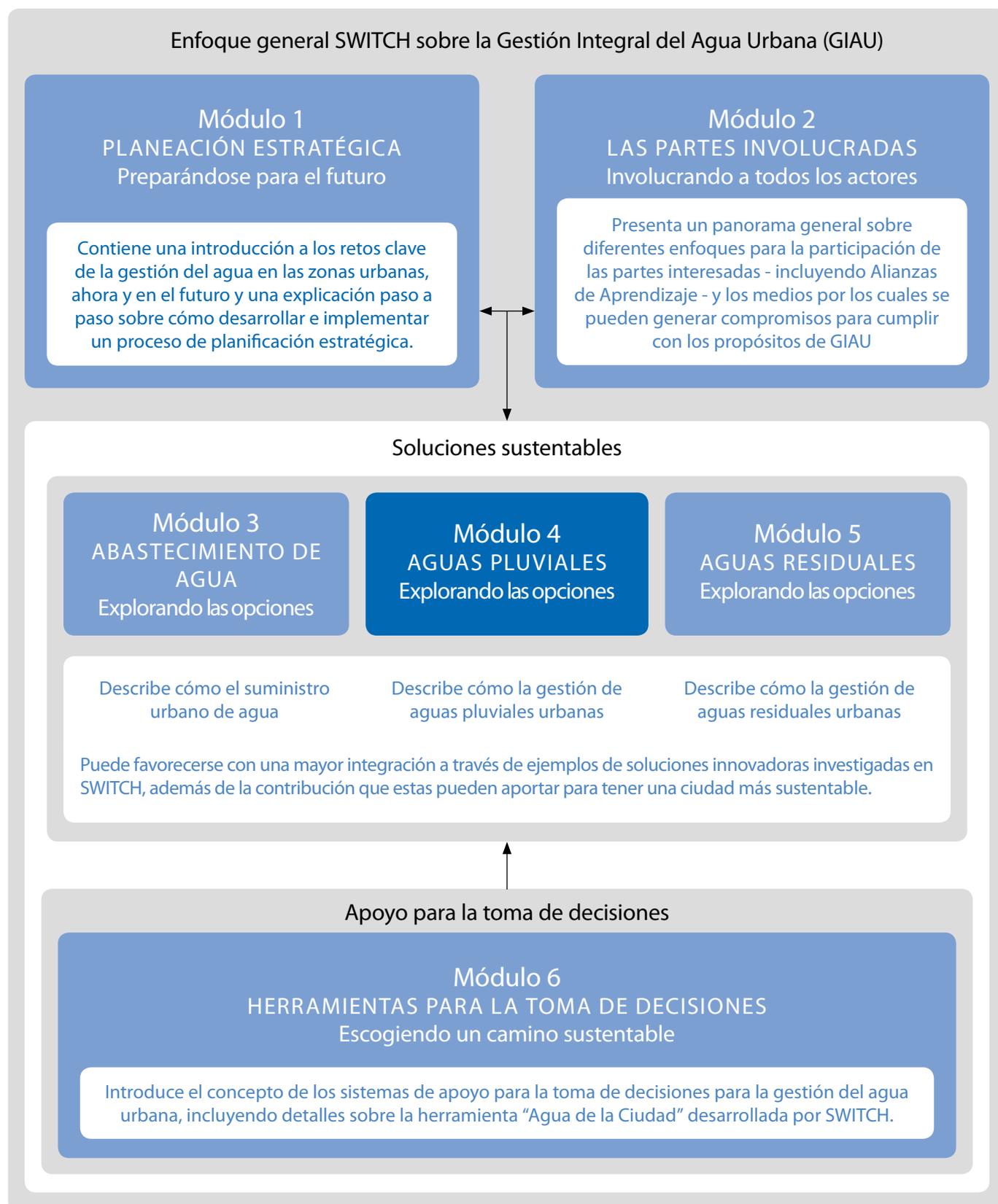


Se refiere a un caso de estudio en el portal de entrenamiento en línea SWITCH.



Se refiere a un enlace de internet con información externa.

# Kit de capacitación SWITCH: Todos los módulos



# Módulo 4: Contenido

<b>1</b>	Introducción .....	7
<b>2</b>	Objetivos del módulo .....	8
<b>3</b>	La necesidad de una gestión sustentable de las aguas pluviales.....	9
	3.1 Enfoque convencional de la gestión de las aguas pluviales.....	10
	3.2 Los problemas que enfrenta un enfoque convencional para la gestión de las aguas pluviales .....	11
	3.3 Un enfoque mas sustentable para la gestión de aguas pluviales.....	13
<b>4</b>	Aguas pluviales en la ciudad .....	15
	4.1 Vínculos con el ciclo urbano del agua .....	15
	4.2 Vínculo entre la gestión de aguas pluviales y la gestión de otros sectores urbanos .....	16
	4.3 Gestión de las aguas pluviales y el ambiente urbano -Diseño Urbano Sensible al Agua .....	18
<b>5</b>	Dirección General: Gestión de las aguas pluviales y sustentabilidad .....	21
	5.1 Gestión sustentable de aguas pluviales .....	21
	5.2 Objetivos, indicadores y metas para la gestión de las aguas pluviales...	23
<b>6</b>	Poniendo en práctica la gestión sustentable de aguas pluviales .....	25
	6.1 Implementando una gestión de aguas pluviales más sustentable .....	25
	6.2 Obstáculos en la gestión sustentable de las aguas pluviales .....	26
<b>7</b>	Opciones para la gestión sustentable de aguas pluviales .....	29
	7.1 Prácticas para la Mejor Gestión (PMG) de las aguas pluviales .....	29
	7.2 Ejemplos de soluciones PMG de las aguas pluviales .....	30
	7.3 Evaluación y selección de soluciones .....	47
<b>8</b>	Recapitulando .....	48
<b>9</b>	Referencias .....	49

# 1 Introducción

Las ciudades y las aguas pluviales no son, a primera vista, compatibles entre sí. Por un lado la necesidad de espacio de los sistemas de drenaje naturales como ríos, arroyos, pantanos y estanques, restringen el desarrollo urbano. Por otro lado, la infraestructura urbana altera y contamina los sistemas naturales de escurrimiento. En consecuencia, el desarrollo de las ciudades tiende a incluir la corrección de cauces, el entubado de arroyos, el drenado de agua estancada y la construcción de redes de drenaje de la mayor capacidad posible para eliminar las precipitaciones de las zonas urbanas lo más rápidamente .

El objetivo general del módulo 4 es demostrar que la gestión sustentable de las aguas pluviales y el crecimiento urbano no necesariamente tienen que estar confrontados. Al hacer énfasis en las limitaciones del drenaje urbano tradicional y explorando un enfoque alternativo más integrado, el módulo muestra cómo las aguas pluviales son factibles de considerarse un recurso que puede ser utilizado en lugar de ser un inconveniente a eliminar, que puede conducir a un desarrollo urbano más sustentable.

Las aguas pluviales tienen el potencial de proporcionar beneficios tangibles en una ciudad, incluyendo el control de inundaciones, protección del medio ambiente, áreas verdes urbanas y el abastecimiento de una fuente alternativa de suministro de agua. Sin embargo, para identificar dichas oportunidades, una ciudad tiene que apreciar la naturaleza integrada de las aguas pluviales en el contexto del sistema de agua urbana y otros sectores de la gestión urbana. El módulo 4 propone que mediante el reconocimiento de esos vínculos y aprovechando soluciones innovadoras, se puede conseguir un drenaje urbano más sustentable y al mismo tiempo mejorar y no restringir, el desarrollo urbano en su conjunto.

El módulo 4 está estrechamente relacionado con los módulos 3 y 5, que cubren de manera similar un enfoque práctico para la gestión del ciclo del agua, desde el punto de vista del abastecimiento de agua y el manejo de aguas residuales respectivamente.



## 2 Objetivos del módulo

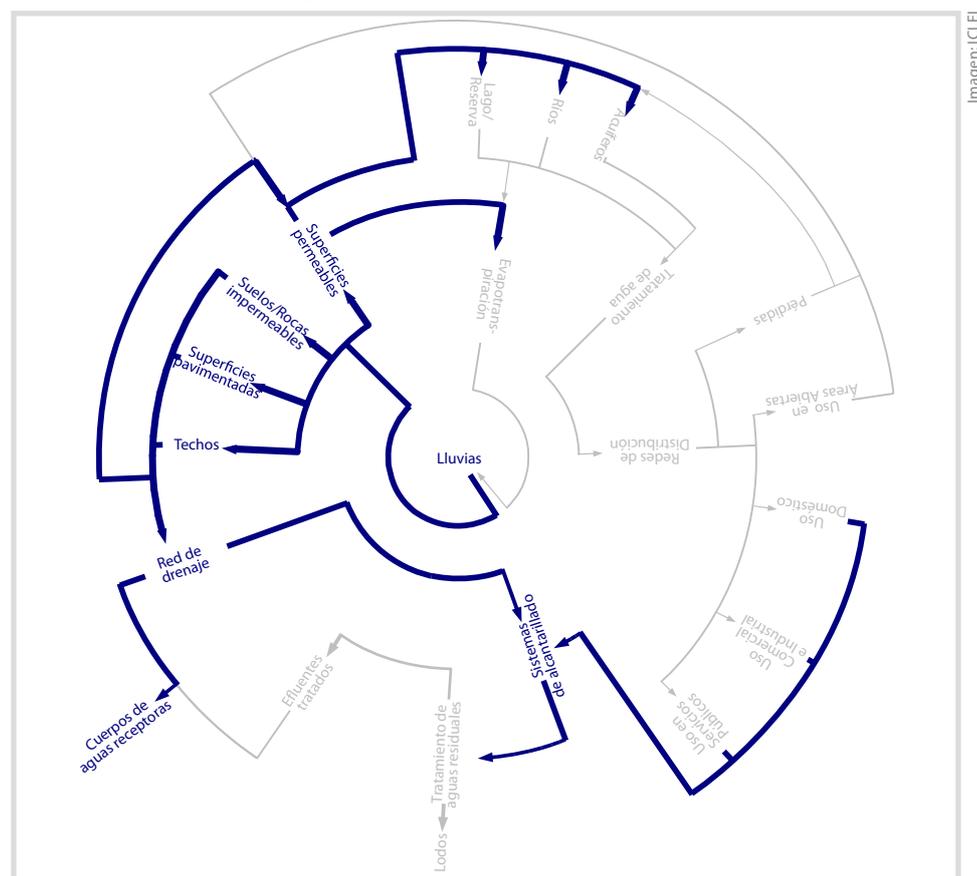
El Módulo 4 presenta una visión general de la gestión de las aguas pluviales y cómo éstas influyen y son influenciadas por el ciclo de agua urbana y el desarrollo urbano en su conjunto. El objetivo es enseñar a los usuarios las limitaciones asociadas con un enfoque tradicional del drenaje urbano y cómo un enfoque integral y la selección de soluciones alternas, que no solo pueden superar estas limitaciones, sino también proporcionan beneficios adicionales. El módulo es adecuado para todas las ciudades, independientemente de la situación actual de sus sistemas de drenaje.

Más específicamente, el módulo ayudará a los usuarios a obtener una mejor comprensión de:

- lo que constituye un enfoque más sustentable de la gestión de las aguas pluviales y cómo se diferencia de un enfoque tradicional;
- los beneficios directos e indirectos que una ciudad puede obtener al considerar las aguas pluviales como un recurso y no como una restricción dentro del desarrollo urbano y
- las soluciones disponibles para poner en práctica un enfoque más sustentable en la gestión de las aguas pluviales, incluyendo el uso de los sistemas naturales.

Cabe señalar que el propósito del módulo no es proporcionar a los usuarios detalles técnicos para seleccionar, diseñar y/o construir las soluciones de gestión adecuadas de aguas pluviales para cada situación local. A los usuarios que quieran dar el siguiente paso hacia la implementación, se busca fomentarles la consulta de manuales técnicos y guías disponibles para este propósito. Algunos de los recursos del módulo pueden ser fácilmente localizados a través de mecanismos de búsqueda en Internet.

Figura 1: Gestión del agua pluvial dentro del ciclo urbano del agua.



### 3 La necesidad de una gestión sustentable de las aguas pluviales

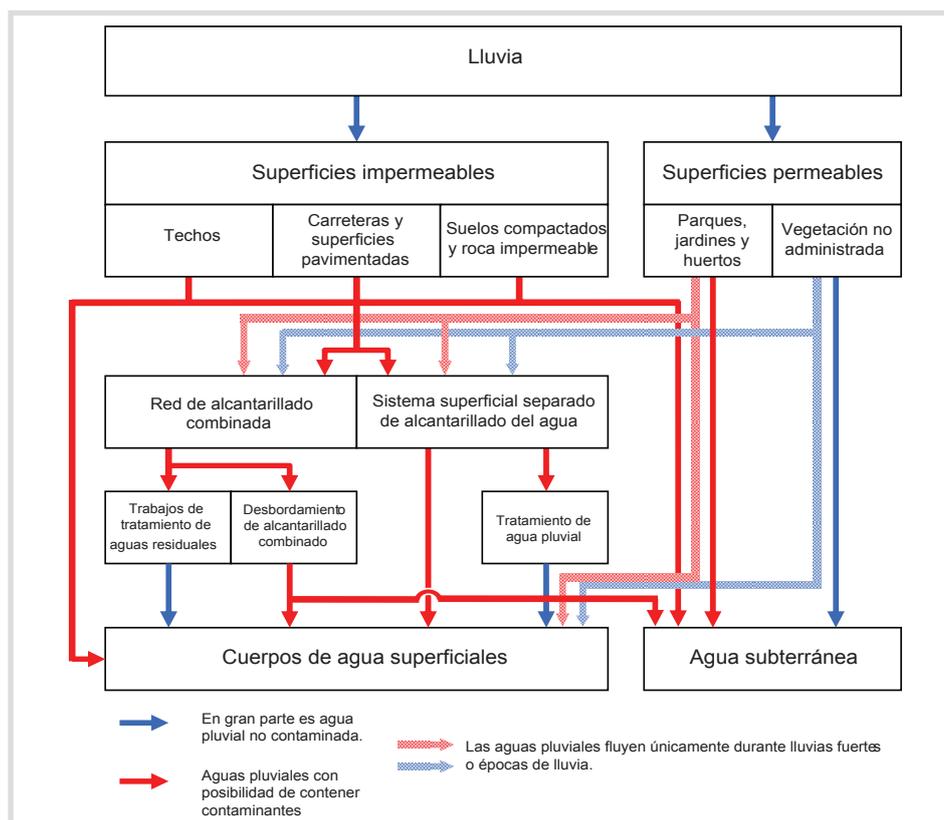
Para la mayoría de las personas que viven en las ciudades, cuando llueve su principal preocupación es evitar mojarse. A menos que sus casas y calles se inunden, son pocos los que dan mucha importancia a lo que ocurre con la lluvia una vez que ha fluido a través de los tubos de drenaje hacia los canales, ahorrándoles la tarea de regar el jardín. Sin embargo, esto es sólo el comienzo de la gestión de las aguas pluviales en el entorno urbano y las tareas que siguen son un requisito esencial para mantener el desarrollo social y económico de una ciudad.

El objetivo general para los responsables de las aguas pluviales urbanas puede ser descrito de la siguiente manera:

Encauzar las aguas pluviales para reducir el impacto de las inundaciones, la erosión y la dispersión de contaminantes en el medio ambiente urbano y aguas abajo.

El proceso de gestión para lograr este objetivo requiere considerar la interacción entre la cantidad de lluvia que cae sobre una ciudad, la infraestructura urbana y natural por la cual la lluvia fluye y los cuerpos de agua en los que finalmente termina. La figura 2 muestra una simplificación del flujo de aguas pluviales a través del medio ambiente urbano y las distintas vías que puede tomar antes de entrar en los cuerpos de agua receptores.

Figura 2: Los flujos de aguas pluviales y el medio ambiente urbano (nota: la evapotranspiración ha sido excluida del diagrama)



### 3.1 Enfoque convencional de la gestión de las aguas pluviales

El enfoque convencional para la gestión de las aguas pluviales urbanas consiste en trasladar las lluvias de la ciudad lo más pronto posible usando canales de drenaje y tuberías subterráneas. Normalmente este método utiliza una combinación de dos sistemas para lograr este objetivo:

- Un sistema de alcantarillado combinado en el que las aguas pluviales se mezclan con las descargas domésticas e industriales antes de ser tratadas en una planta de tratamiento de aguas residuales, y descargadas posteriormente a un cuerpo de agua receptor.
- Un sistema separado de alcantarillado superficial que recoja sólo las aguas pluviales y las descargue a los cuerpos de agua receptores con poco o ningún tratamiento.

Estos sistemas son generalmente diseñados basándose en los datos meteorológicos históricos y las proyecciones de los patrones de desarrollo urbano. El objetivo primordial es reducir el riesgo de inundaciones a pesar de que estos sistemas son implementados con poca consideración en el impacto aguas abajo.

La infraestructura que se utiliza normalmente para recolectar y transportar las aguas pluviales bajo un enfoque tradicional se muestra en la Imagen.

**Drenajes:** El escurrimiento de lluvia de los techos, carreteras y flujos de otras áreas impermeables de las tuberías de desagüe y canaletas hacia una tubería subterránea o algún canal para asegurar la eliminación rápida de la superficie.

**Tuberías:** Las tuberías garantizan la entrega rápida y eficaz del flujo de las aguas pluviales hasta el punto de descarga.

**Canales de drenaje de concreto:** Canales con poca resistencia hidráulica que transportan rápidamente las aguas pluviales hasta el punto de descarga.

**Planta de tratamiento de aguas residuales:** En los sistemas combinados, la recolección de aguas pluviales se mezcla con los flujos de aguas residuales domésticas e industriales y son tratados en la planta de tratamiento de aguas.

**Descarga:** En sistemas separados de aguas pluviales se vierten directamente altos volúmenes a cuerpos de agua receptores. En los sistemas combinados, las descargas se hacen con aguas residuales previamente tratadas en las plantas correspondientes.



## 3.2 Los problemas que enfrenta un enfoque convencional para la gestión de las aguas pluviales

Los sistemas convencionales de drenaje siguen siendo la solución más común para la gestión de aguas pluviales en las ciudades de todo el mundo, a pesar de diversos aspectos que cuestionan la sustentabilidad de dichos sistemas a largo plazo, como por ejemplo su constante incapacidad para evitar las inundaciones, la contaminación y los daños al medio ambiente.

Algunos de los problemas que actualmente enfrenta la gestión de las aguas pluviales urbanas son:

- **Desbordamiento del alcantarillado combinado:** Las fuertes lluvias causan que el alcantarillado combinado supere su capacidad teniendo como resultado un desbordamiento de aguas residuales sin tratar al medio ambiente.
- **Contaminación difusa:** Los contaminantes procedentes de fuentes indeterminadas, tales como los metales pesados y aceites de los techos, carreteras y estacionamientos, así como también nutrientes, pesticidas y herbicidas de los jardines, parques y huertos, son dispersados a través de escurrimientos en los cuerpos de agua receptores.
- **Disminución de la infiltración:** El aumento de superficies impermeables agota los acuíferos al reducir su recarga natural.
- **Erosión y sedimentación:** Los escurrimientos de alta velocidad promueven la erosión y el aumento en la sedimentación de arroyos, ríos y esteros receptores.
- **Costos:** El tratamiento final para las aguas pluviales es costoso y requiere un uso intensivo de la energía.
- **Efecto de isla de calor:** La eliminación rápida de las aguas pluviales de las zonas urbanas reduce la evapotranspiración. Cuando se combina con el calentamiento de las superficies selladas, da lugar a un microclima urbano más caliente.
- **Pérdida de un valioso recurso:** La eliminación rápida de las aguas pluviales de las zonas urbanas impide que se utilicen para el suministro de agua no potable y para el paisaje urbano.
- **Inundaciones aguas abajo:** La rápida recolección y eliminación de aguas pluviales hacia los cuerpos de agua receptores tales como ríos y arroyos, aumenta el riesgo de inundaciones aguas abajo.

Las soluciones para el drenaje urbano son a menudo seleccionadas en base a la prioridad local de eliminar las aguas pluviales de una determinada zona. Sin embargo, estas soluciones no consideran los impactos a gran escala urbana, tales como la falta de capacidad del drenaje en otras partes del sistema, para hacer frente a los flujos adicionales y los daños causados por el aumento de los escurrimientos y la contaminación, que posiblemente, entra a los ríos y arroyos.

Las estructuras de gestión en la ciudad rara vez ofrecen un enfoque integral, el cual es necesario para el manejo adecuado de las aguas pluviales, mismas que involucran muchas áreas de responsabilidad. Las carreteras, viviendas, parques y tratamiento de aguas residuales son sólo algunos de los departamentos de la ciudad que influyen o son afectados por la gestión de las aguas pluviales y los cuales suelen funcionar de manera independiente. Esto aumenta el riesgo de que al tener una mala gestión en un área de responsabilidad, tenga efectos no deseados en las demás. Por ejemplo:

- El organismo responsable de la planeación urbana aprueba la construcción de un nuevo centro comercial. Al aumentar la velocidad del escurrimiento de las aguas pluviales resultantes, causa erosión en un arroyo urbano y el colapso de la infraestructura cercana.
- El organismo responsable del desarrollo urbano construye una serie de viviendas con conexiones que llevan las aguas pluviales al sistema de alcantarillado combinado de la ciudad. El sistema de alcantarillado es incapaz de hacer frente a los volúmenes adicionales y los desbordamientos del sistema se vuelven más frecuentes causando la contaminación del río de la localidad.
- El organismo responsable de las carreteras construye superficies impermeables para mejorar el drenaje de las carreteras no pavimentadas anteriormente. Esto aumenta el volumen de escurrimiento de las carreteras al no haber infiltración el cual dispersa los contaminantes del tráfico en un río local causando la muerte de los peces.



Véase también el artículo de SWITCH "Revisión de la capacidad de adaptación y la sensibilidad de las tecnologías de control de aguas pluviales actuales para conductores ambientales y socioeconómicos extremos. - Sección C: El impacto de los cambios en condiciones ambientales y socioeconómicos de las tecnologías para la gestión de las aguas pluviales las tecnologías "(Sieker et al 2006)

Las ciudades también se enfrentan a cambios que aumentan la presión sobre el manejo de las aguas pluviales urbanas. La expansión urbana formal e informal, los cambios en la población, una legislación más estricta sobre la normatividad relacionada con la calidad del agua y el cambio climático, aumenta la necesidad de reevaluar la forma con que las aguas pluviales son manejadas en las zonas urbanas. Algunas de estas presiones son las siguientes:

**Urbanización:** La expansión de áreas pavimentadas y suelos compactados alteran el paisaje natural, creando altos volúmenes de escurrimientos de las aguas pluviales, incremento en la velocidad de concentración de los mismos, así como también aumenta la cantidad de contaminantes diseminados en los escurrimientos.

**Cambio climático:** las variaciones en las lluvias alteran los volúmenes y la intensidad del escurrimiento urbano. Actualmente, la infraestructura de gestión de las aguas pluviales tiende a ser diseñado en base a los registros históricos de lluvia y se lucha para hacer frente si estos son excedidos (vea el recuadro).

**Preocupaciones ambientales:** El mayor reconocimiento de los daños ambientales causados por las aguas pluviales contaminadas al entrar a los cuerpos de aguas naturales, da lugar a una legislación más estricta que prevenga las descargas incontroladas.

**Infraestructura inadecuada:** Un aumento en el escurrimiento de las aguas pluviales a través de la expansión urbana y el cambio climático pueden conducir a problemas en la infraestructura existente, como la erosión de los canales de transporte, desbordamientos de las tuberías combinadas y flujos de reserva que pueden provocar inundaciones.

### Cambio climático y gestión de las aguas pluviales

Se espera que el cambio climático tenga un impacto significativo con respecto a la gestión de las aguas pluviales urbanas. Particularmente en las ciudades donde, debido al aumento de la temperatura, la capacidad de la atmósfera para retener el agua aumenta causando un incremento en los niveles de lluvia durante las tormentas. En dicho escenario con sistemas tradicionales de drenaje urbano se tendrá que luchar para salir adelante. Los sistemas diseñados bajo criterios estadísticos basados en datos meteorológicos históricos disponibles (Picouet, Soutter 2006), ya no serán competentes ya que carecen de la flexibilidad para adaptar los parámetros de diseño cuando ya no son adecuados para el clima local.

Otros efectos menos evidentes del cambio climático son también relevantes. Los cambios en la temperatura del aire repercuten en la evaporación y tasas de humedad, alterando la vegetación y la capacidad de retención de agua de los suelos. Esto tiene un efecto en cadena sobre las aguas pluviales, como la atenuación natural y la infiltración de escurrimientos, la cual se desequilibra. Otros efectos similares también pueden ser causados por cambios en la precipitación promedio que provocan diferencias en la saturación de humedad del suelo (Shaw y otros 2005).

En los sistemas tradicionales, las aguas pluviales no se pueden ajustar a la incertidumbre del cambio climático y en muchas ciudades, la infraestructura existente puede resultar insuficiente. El desafío que enfrentan las ciudades es la adaptación a la infraestructura existente de manera que se pueda tener la solidez para poder hacer frente al máximo posible de escenarios.



Para más información sobre planeación de aguas pluviales y cambio climático véase el artículo 'Las implicaciones del cambio climático en la gestión urbana de las aguas pluviales: Construcción de escenarios' (Picouet, Soutter 2006, Resource Ref. D.2.1.1)

### 3.3 Un enfoque más sustentable para la gestión de las aguas pluviales

Además de los problemas señalados en la sección 3.2, un enfoque tradicional del drenaje tampoco aprovecha los beneficios que se pueden obtener del agua de lluvia de una ciudad. Al cambiar la percepción de las aguas pluviales de ser "una molestia que debe ser eliminada", a "un recurso que debe ser utilizado", los problemas actuales se pueden superar y de esta manera obtener oportunidades asociadas con la cantidad y calidad del agua, servicios sociales, biodiversidad y el abastecimiento de agua, las cuales pueden evidenciarse de manera fácil. Este cambio fundamental de mentalidad es la base de un enfoque más sustentable a la gestión de aguas pluviales urbanas.

Las principales diferencias entre un enfoque tradicional de las aguas pluviales y un enfoque más sustentable son:

- Eliminación rápida contra la atenuación y reutilización;
- Infraestructura física contra infraestructura natural;
- Soluciones de control centralizadas contra descentralizadas.

La tabla 1 describe estas diferencias con más detalle mediante la comparación de los dos sistemas de drenaje urbano.

**Tabla 1:** Principales diferencias entre un enfoque tradicional de las aguas pluviales y un enfoque más sustentable.

Aspectos de las aguas pluviales	Enfoque convencional – Aguas pluviales como una ‘molestia’	Enfoque alternativo – Aguas pluviales como un ‘recurso’
Cantidad	Las aguas pluviales se transportan fuera de las zonas urbanas lo más rápido posible	Las aguas pluviales se atenúan y se retienen a través de una fuente que les permita infiltrarse en los acuíferos y fluir gradualmente en los cuerpos de agua receptores
Calidad	Las aguas pluviales son tratadas junto con residuos de origen humano en plantas de tratamiento de aguas residuales y/o se descargan sin tratamiento en cuerpos receptores de agua	Las aguas pluviales son tratadas con sistemas descentralizados naturales tales como los suelos, la vegetación y los estanques
Actividades recreativas y beneficio público.	No se considera	La infraestructura de las aguas pluviales está diseñada para mejorar el paisaje urbano y proporcionar oportunidades de recreación
Biodiversidad	No se considera	Los ecosistemas urbanos son restaurados y protegidos a través del uso del agua de lluvia para mantener y mejorar los hábitats naturales
Recursos potenciales	No se considera	Las aguas pluviales se cosechan para el abastecimiento de agua y son retenidas para apoyar a los acuíferos, vías fluviales y la vegetación

Considerando que un enfoque convencional se basa en un objetivo - la eliminación de las aguas pluviales de una zona determinada -, un enfoque más sustentable trata de identificar soluciones que permitan alcanzar beneficios sociales, económicos, ambientales y reducir al mínimo cualquier impacto negativo.

Por ejemplo, la construcción de un canal de drenaje de concreto tradicional puede alcanzar el objetivo de eliminar el escurrimiento de cierta zona, pero también podría causar la contaminación, erosión e inundaciones aguas abajo al aumentar la velocidad del escurrimiento, así como descartar el uso de una fuente potencial de abastecimiento de agua. En cambio, las medidas para atenuar las aguas pluviales pueden alcanzar múltiples objetivos de reducir el riesgo de inundaciones, la mejora de la calidad del agua, la recarga de aguas subterráneas y de esta manera proporcionar valor recreativo.

Específicamente, las soluciones no convencionales para la gestión de las aguas pluviales pueden alcanzar uno o varios de los siguientes beneficios:

**Control de inundaciones:** La atenuación y la infiltración de aguas pluviales durante las lluvias fuertes reducen la velocidad y la cantidad de escurrimientos. Esto libera la presión de la capacidad de carga de los canales de drenaje y los cuerpos de agua receptores, reduciendo el riesgo de desbordamientos a nivel local y aguas abajo.

**Control de contaminación:** Dependiendo del uso de la tierra, las aguas pluviales pueden contener una variedad de contaminantes tales como aceites, metales y nutrientes. Los sistemas naturales como los suelos, la vegetación y los humedales tienen diferentes capacidades de tratamiento y éstas pueden ser explotadas de forma individual o en secuencia para tratar contaminantes específicos. El tratamiento del agua de lluvia evita la contaminación de cuerpos de aguas naturales a fin de proteger los ecosistemas y la reducción de los costos de tratamiento al utilizar estos cuerpos para el suministro de agua.

**Protección contra la erosión:** La alta velocidad de los flujos de escurrimientos puede erosionar las riberas y depositar sedimentos en el cauce de los ríos y arroyos provocando la sedimentación y daños al medio ambiente. Los ecosistemas acuáticos se protegen al reducir los escurrimientos y la retención de sedimentos.

**Fuentes de aguas alternas:** En las zonas de escasez de agua, la explotación de las aguas pluviales para su reuso puede liberar la presión sobre las fuentes de abastecimiento de agua. Las aguas pluviales se pueden recolectar y volver a utilizar ya sea directamente con fines no potables o, después de un tratamiento para uso potable. El reuso indirecto es también posible a través de la recarga de los acuíferos de los que el agua puede ser re-extraída en tiempos de sequía.

**Beneficio público:** La construcción de estanques y humedales con el fin de tratar las aguas pluviales, también tienen como ventaja la creación de hábitats naturales, el aumento de la biodiversidad y proporcionar oportunidades para la construcción de áreas de recreación.

**Adaptación al cambio climático:** Muchos sistemas de drenaje urbano se han diseñado basándose en los registros históricos de caudales. Esto puede ser insuficiente en las zonas donde se prevé que la intensidad de los eventos de precipitación aumente debido al cambio climático. El uso de los sistemas naturales para atenuar los escurrimientos, reduce y retrasa la descarga de aguas pluviales y proporciona una mayor flexibilidad para hacer frente a las corrientes de las lluvias inesperadas.

**Eficiencia económica:** La construcción de soluciones descentralizadas de aguas pluviales es de bajo costo, al igual que su mantenimiento, en comparación con las tecnologías convencionales. La separación de los escurrimientos de aguas residuales en la red de alcantarillado también reduce el costo de tratamiento de éstas.



Los beneficios y los aspectos prácticos de la integración de la gestión de aguas pluviales en el ciclo urbano del agua se discuten en el documento SWITCH "Aguas pluviales como un recurso valioso en el ciclo urbano del agua" (J. Ellis & M. Revitt 2010, Resource Ref. D.2.2.4a)

## 4 Aguas pluviales en la ciudad

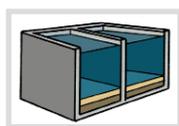
### 4.1 Vínculos dentro del ciclo urbano del agua

El manejo de las aguas pluviales es una parte fundamental del ciclo del agua urbana en su conjunto. La estrecha relación entre las aguas pluviales, el abastecimiento de agua y el tratamiento de aguas residuales, justifica la necesidad de integrar la gestión del drenaje urbano con todas las demás partes del sistema.

Algunos ejemplos de los vínculos entre la gestión de las aguas pluviales y otras áreas del ciclo urbano del agua incluyen:



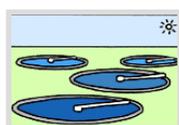
**Abastecimiento de agua:** Las aguas pluviales se pueden reusar directamente con fines no potables, como el riego y/o para uso industrial, así como también después de su tratamiento se pueden utilizar como fuente complementaria de los suministros de agua potable de una ciudad.



**Tratamiento de agua:** El agua pluvial que entra a una fuente de abastecimiento de agua como los acuíferos, ríos y embalses, puede determinar la calidad de agua de éstas. Los contaminantes en el escurrimiento, tales como nitrógeno, fósforo y los metales pesados dificultan el proceso de tratamiento y los costos del agua potable, además de conducir a períodos donde la fuente no puede ser utilizada.



**Recolección de aguas residuales:** La recolección de aguas pluviales está vinculada con la gestión de aguas residuales, a través de las redes de alcantarillado combinado. Las fuertes lluvias pueden causar desbordamientos de la red, liberando aguas residuales sin tratar al medio ambiente.



**Tratamiento de aguas residuales:** La combinación de las aguas pluviales con las residuales aumenta el volumen y el costo de tratamiento de las aguas residuales. Las medidas de tratamiento también deben hacer frente a los contaminantes adicionales que figuran en las aguas pluviales, tales como metales pesados y aceites.



**Calidad del agua:** Los contaminantes potenciales llevados en el escurrimiento de aguas pluviales urbanas incluyen fósforo, nitrógeno, detergentes, metales pesados, aceites, productos químicos, sedimentos y escombros. Al entrar en cuerpos de agua receptores estos contaminantes causan el deterioro de la calidad del agua, con impactos sobre la biodiversidad, la salud y lo atractivo del lugar.



**Recarga de aguas subterráneas:** La sustitución de vegetación natural por superficies impermeables reduce las tasas de infiltración de aguas pluviales, de las cuales los acuíferos dependen para su recarga. Esto reduce el volumen de las aguas subterráneas para la extracción y puede causar que los manantiales se sequen.

Los ejemplos anteriores de los vínculos entre el manejo de las aguas pluviales y el ciclo del agua urbana en su conjunto, demuestran la influencia que las aguas pluviales pueden tener sobre otras áreas de la gestión del agua urbana y viceversa. Estas influencias pueden ser negativas, tales como los desbordamientos de las redes de alcantarillado combinado, pero también pueden ser positivas, como la implementación de una fuente adicional de abastecimiento de agua en una ciudad. Un enfoque integral para la gestión del agua urbana hace que estos vínculos sean más fáciles de identificar y explotar, así como también reducir al mínimo las consecuencias negativas en todo el sistema.

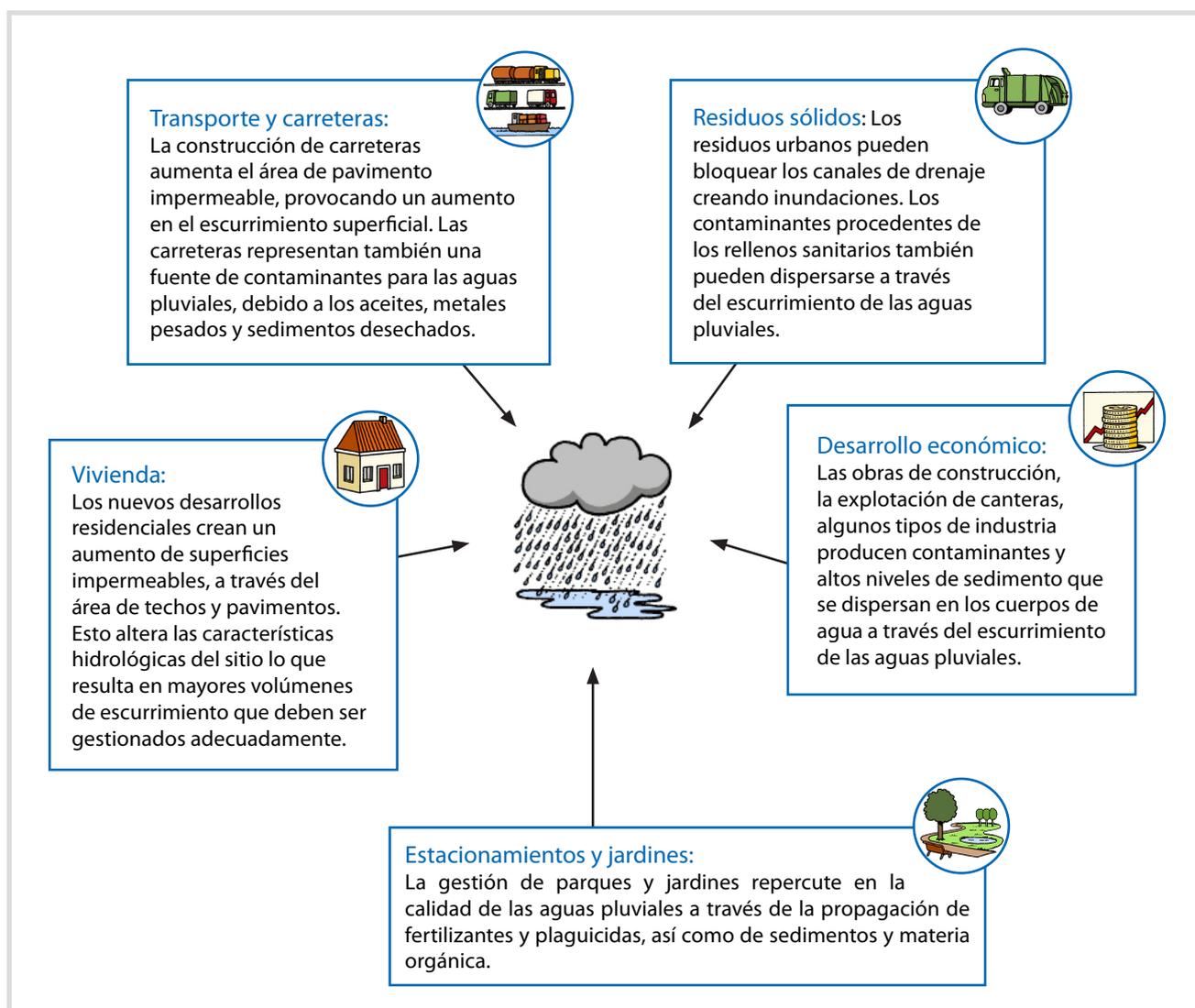


Los vínculos dentro del ciclo urbano del agua en su totalidad se describen con más detalle en el Módulo 1

## 4.2 Vínculo entre la gestión de las aguas pluviales y la gestión de otros sectores urbanos

Más que en otras áreas de la gestión del agua urbana, las aguas pluviales son sumamente influenciadas por el desarrollo urbano. Como se ha mencionado en la sección 3, la urbanización tiene grandes implicaciones para el escurrimiento de las aguas pluviales. Las decisiones que provocan que los paisajes naturales se conviertan en edificios, superficies pavimentadas, canales de drenaje y vegetaciones alteradas, son llevadas a cabo por un amplio abanico de actores. Pocos de ellos consideran la gestión de las aguas pluviales como una prioridad, así como la legislación, reglamentación y los incentivos financieros son a menudo insuficientes para poder persuadir a los restantes.

**Figura 3:** Ofrece algunos ejemplos de por qué las decisiones adoptadas en los distintos sectores de la gestión urbana pueden influir en la gestión de las aguas pluviales.



A pesar de no ser necesariamente prioritario para una ciudad, cuando hay una mala gestión o de plano se abandona el asunto de las aguas pluviales, se pueden tener grandes repercusiones en el desarrollo urbano. El ejemplo más obvio son las inundaciones y la erosión que pueden resultar en daños económicos considerables y, en casos extremos, en la pérdida de vidas. Sin embargo, también existen riesgos con la salud asociados con un mal drenaje y con el deterioro de los recursos hídricos causado por la contaminación de las aguas pluviales.

Por otro lado, algo bueno y verdadero es que la gestión adecuada de las aguas pluviales, puede proporcionar un amplio rango de implicaciones positivas para la calidad de vida urbana. Esto no solo incluye evitar daños por inundaciones y la reducción de la contaminación ambiental, sino también la creación de oportunidades que se pueden presentar para mejorar la biodiversidad urbana, promover la jardinería ornamental en las zonas urbanas, así como también la creación de instalaciones recreativas.

Los ejemplos anteriores muestran que la integración de la gestión de las aguas pluviales (y por lo tanto del ciclo del agua urbana en su conjunto) a los planes y estrategias de desarrollo urbano, es una necesidad para avanzar hacia una gestión más sustentable de las aguas pluviales y, además, para garantizar que las aguas pluviales se conviertan en un beneficio para el desarrollo urbano en general en vez de ser una amenaza.



Imagen: Stock.xchng/shortsand

## 4.3 Gestión de las aguas pluviales y el ambiente urbano– Diseño Urbano Sensible al Agua

El Diseño Urbano Sensible al Agua (DUSA) es un concepto que tiene como objetivo integrar la gestión del agua urbana, en particular las aguas pluviales, a un diseño urbano más moderno incluyendo la planificación del paisaje. El DUSA es la respuesta a los problemas de desarrollo urbano causados por los sistemas de drenaje mal diseñados o con escaso mantenimiento, la falta de fuentes de agua urbana y áreas verdes, así como también el deterioro de la calidad del agua causado por los escurrimientos contaminados. El DUSA tiene como objetivo fomentar el potencial del agua para mejorar la función, el diseño urbano y el paisaje, enfocándose en la sociedad; de esta manera la gestión del agua, proporciona beneficios que la planificación urbana en el pasado tendía a descuidar.

El concepto de DUSA se rige por un conjunto de principios. Estos principios tienen por objeto promover la arquitectura y el paisaje sensibles al agua, a través del diseño urbano y la selección de tecnologías con múltiples beneficios, las cuales son adecuadas a nivel local, y son adaptables a los cambios del futuro.



Véase el Diseño Urbano Sensible al Agua de SWITCH (Hoyer et al 2011) para una explicación más detallada de los principios de la DUSA, así como una serie de ejemplos en todo el mundo.

### Principios básicos del DUSA

Las soluciones de DUSA deben.....

- llevar la gestión del agua urbana más cerca al ciclo natural del agua
- proporcionar un beneficio ornamental donde sea posible
- ser compatibles con las características y la cultura de la zona
- tener la flexibilidad para adaptarse a un futuro incierto
- tener funciones polivalentes
- ser seleccionadas en consulta con todos los interesados
- ser comparables en costo a las soluciones tradicionales
- ser planeadas y administradas a través de cooperación interdisciplinaria

(Adaptado de Dickhaut, Hoyer & Weber, Hafencity University Hamburg, 2010)

Siguiendo estos principios, el desarrollo urbano es más probable que seleccione las opciones que permitan alcanzar objetivos tales como:

**Sensibilidad del agua:** Los principios del DUSA fomentan el desarrollo urbano que sea capaz de imitar al ciclo natural del agua de una ciudad tanto como sea posible. En la mayoría de los casos se trata de incorporar superficies permeables, la vegetación natural y las medidas de atenuación de las aguas pluviales a desarrollos nuevos y/o restaurados.

**Atractivo:** A diferencia de ocultar la infraestructura de aguas pluviales de la vista pública, los principios del DUSA promueven su uso como elemento de diseño positivo y visible. El valor estético de los arroyos, lagunas y la vegetación llevan a un entorno urbano y puede ser utilizado como un factor clave de diseño en la construcción de nuevos desarrollos y la regeneración de barrios desfavorecidos.

**Soluciones Personalizadas:** En lugar de optar por soluciones tipo y pre-diseñadas de ingeniería, las soluciones de DUSA se basan en las condiciones específicas del lugar, la viabilidad de los requisitos, el mantenimiento y las prioridades económicas y sociales de la población local. Esto asegura que lleve a cabo sus funciones y sea aceptado en el entorno local.

**Adaptabilidad:** El DUSA es pensado a largo plazo y requiere de flexibilidad para adaptarse a las condiciones futuras, las cuales pueden variar con las actuales. En lugar de la adopción de diseños basados en pronósticos esperados, los principios buscan diseños que pueden ser fácilmente modificados para hacer frente al cambio futuro.

**Multi-funcionalidad:** Los principios del DUSA promueven soluciones que combinan los usos prácticos de la tierra con la gestión sustentable del agua. Las soluciones pueden incorporar la recreación social y/o simplemente la conservación natural, que adopta un diseño que permite que el sitio sea utilizado (y mantenido) tanto para control de escurrimientos como para, por ejemplo, actividades deportivas, áreas infantiles y reservas naturales.

**Aceptación pública:** Un buen diseño urbano se basa principalmente en las necesidades de la gente para quien fue creado. Cuando este no es el caso, las infraestructuras nuevas y las instalaciones son propensas a dejarse a un lado y deteriorarse. El principio del DUSA con la participación de múltiples actores, en la etapa de planificación tiene como objetivo garantizar que el público en general comprenda el propósito de soluciones nuevas y estén convencidos de su implementación.

**Colaboración sectorial integral:** La cooperación entre los gestores y planificadores de una serie de disciplinas, son necesarias para encontrar soluciones que permitan alcanzar las sinergias entre el diseño urbano y de paisaje, la gestión del agua, la protección ecológica y el bienestar social. La cooperación entre diferentes sectores de la gestión urbana, como el agua, la planeación, la arquitectura del paisaje, etc., no sólo aumenta la probabilidad de que las soluciones del DUSA sean aplicadas satisfactoriamente, sino también abre el camino para una planeación integral del desarrollo urbano.

Una ventaja importante del DUSA es que las prioridades del diseño urbano, tales como la funcionalidad y la estética, no se ven afectados como consecuencia de las necesidades de la gestión del agua, sino más bien reforzada por éstas. La arquitectura vanguardista y el diseño urbano es cada vez más la combinación de elementos naturales con los materiales de construcción más usuales para lograr el doble objetivo de crear un diseño único y un desarrollo "verde". Ejemplos recientes incluyen techos verdes en la Academia de Ciencias de California, edificio en San Francisco, la construcción de "paredes vivas" como parte del museo de Quai Branly en París, así como también el uso del agua de lluvia y vegetación acuática para mantener los canales y lagunas como parte del diseño del desarrollo de Potsdamer Platz en Berlín.

Algunos ejemplos de arquitectura mundialmente reconocida demuestran que la gestión del agua puede ser un efecto colateral positivo al diseño urbano, en lugar de que sea el principal motor para la inversión. Esta alternativa ofrece incentivos para la implementación de una gestión del agua urbana más sustentable, aumentando la aceptación pública a gran escala y asimismo las probabilidades de adopción.



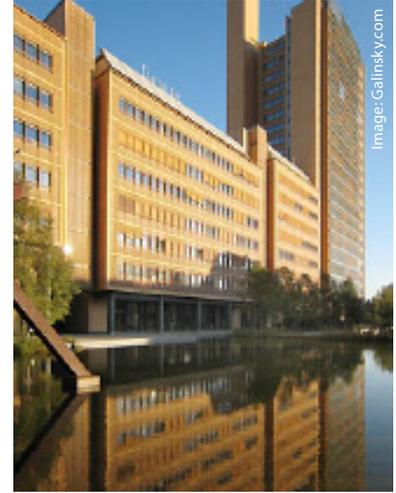
Los techos verdes de la Academia de Ciencias de California, Estados Unidos



"La Pared Viva" en el Musée du Quai Branly, Paris, Francia

### Potsdamer Platz, Berlin

Un área grande destruida durante la Segunda Guerra Mundial y olvidada durante la división política de Berlín, la Potsdamer Platz se le concedió una nueva vida tras la reunificación de Alemania en 1991, cuando la zona se convirtió en un foco de reurbanización integral. El complejo de edificios resultante fue diseñado con el objetivo de utilizar la naturaleza, en particular el agua, para crear un paisaje único donde las características naturales forman parte del contexto urbano. Los estanques, cascadas, canales y juncales, son alimentados por un complejo sistema de reciclaje de agua de lluvia que interactúa con la arquitectura comercial para crear un espacio estético urbano donde los ciudadanos pueden escapar del tráfico, la contaminación y el ruido de la ciudad.



Potsdamer Platz, Berlin

Con la gestión del agua la ciudad también se beneficia. La sensibilidad del agua en el diseño asegura que los escurrimientos de lluvia en todo el complejo sean manejados con éxito. El agua de lluvia recolectada alimenta no sólo las necesidades de agua en el lugar, sino también contribuye al consumo de agua no potable para inodoros y riego de jardines. Además, la presencia de grandes superficies de agua proporciona un mecanismo de enfriamiento natural, creando un microclima con temperaturas reducidas durante el verano.

La incorporación de un Diseño Urbano Sensible al Agua en el desarrollo de Potsdamer Platz ha contribuido significativamente al éxito de uno de los lugares más famosos de la ciudad, lo que demuestra que incluso en el corazón de una metrópoli densamente poblada donde el espacio es esencial, el DUSA es una opción atractiva y viable.



Más información acerca del diseño de Potsdamer Platz se encuentra en la sección de casos de estudio en el manual SWITCH 'Diseño Urbano Sensible al Agua'(Hoyer y otros 2011)

## 5 Dirección general: Gestión de las aguas pluviales y la sustentabilidad

### 5.1 Gestión sustentable de las aguas pluviales

En las secciones anteriores se ha demostrado que las aguas pluviales están estrechamente relacionadas con diferentes áreas de la gestión del agua y la planeación urbana. Es necesario un enfoque integral para garantizar que la gestión de las aguas pluviales no dé lugar a problemas inesperados. También se puede ayudar a identificar y explotar todas las oportunidades para obtener beneficios intersectoriales.

Al reducir los problemas de manera integral y aumentar los beneficios a largo plazo, la conclusión es que los resultados de un enfoque integral proporciona una mayor sustentabilidad. Este argumento es válido pero sigue siendo necesario acordar los criterios de sustentabilidad con los cuales los cambios pueden ser cuantificados y evaluados. Esto es necesario para determinar si los beneficios obtenidos y los impactos evitados en efecto, dan lugar a un mayor desarrollo urbano sustentable a largo plazo.

En resumen, la gestión sustentable del agua se puede definir como una integración de las necesidades sociales, económicas y ambientales, así como la creación de condiciones que permiten que estas necesidades también se cumplan en un futuro <sup>1</sup>. La Figura 4 muestra cómo se puede relacionar con las aguas pluviales.



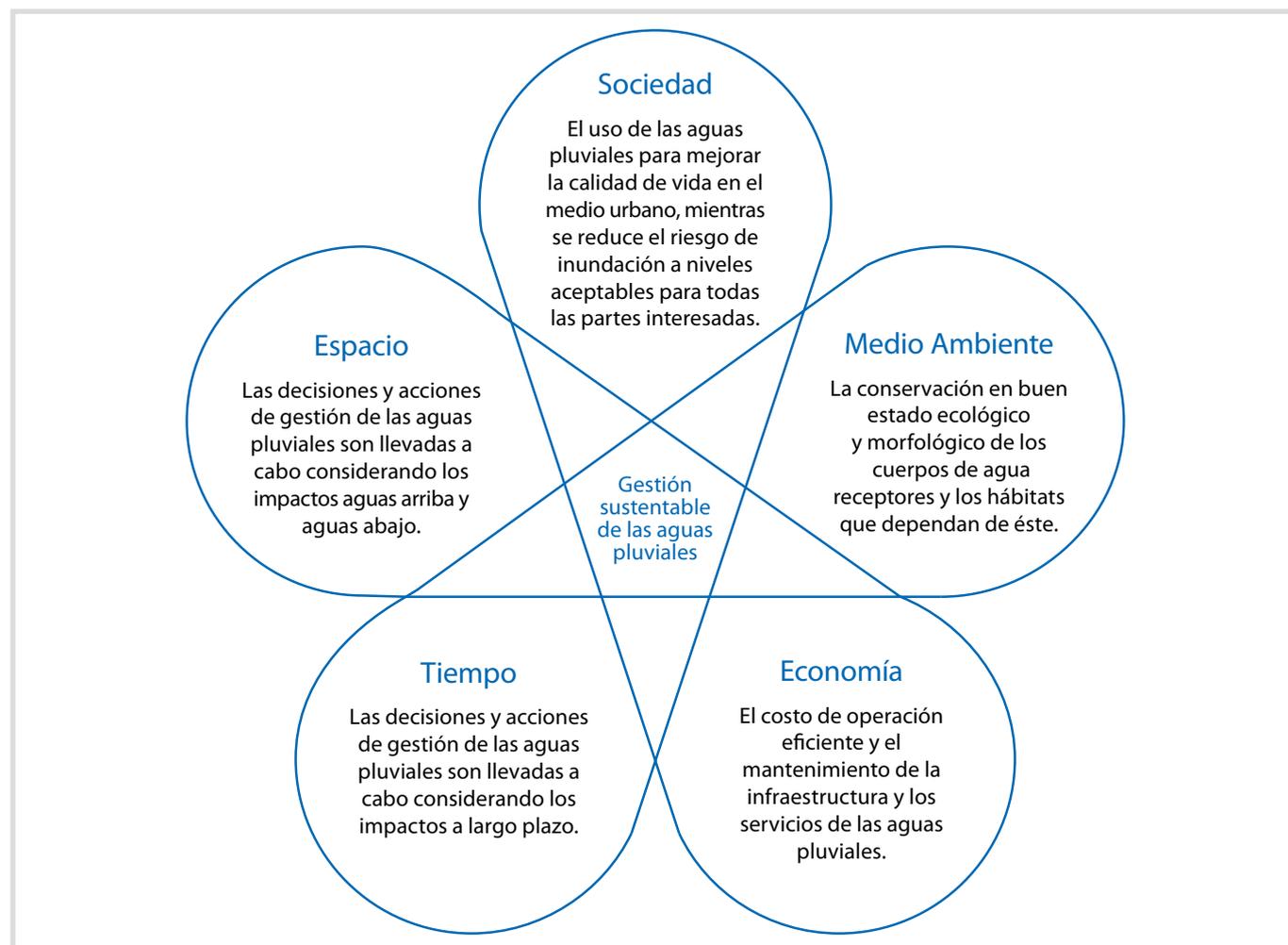
El Módulo 1 incluye información más detallada sobre la sustentabilidad en el contexto de la gestión del agua urbana.



Imagen: Ralph Philip

<sup>1</sup> La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo define el desarrollo sustentable como "el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades" (1983)

Figura 4: Gestión sustentable de las aguas pluviales



Avanzar hacia una mayor sustentabilidad requiere que las decisiones en el manejo de las aguas pluviales sean tomadas bajo el mismo criterio. La adopción de una solución que proteja a los hogares de las inundaciones y aumente los hábitats naturales no será sustentable si los costos de mantenimiento son altos a largo plazo. Del mismo modo, una solución para reducir el riesgo de inundación que es barata de construir y conservar, puede terminar dando lugar a una serie de problemas no deseados si las consecuencias ambientales a futuro no se toman en cuenta. En resumen, si uno de los criterios de sustentabilidad no se cumple, las posibilidades de que haya una solución para mejorar la gestión de las aguas pluviales que contribuya al desarrollo sustentable a largo plazo, se reducen considerablemente.



Véase el módulo 2 para obtener más información sobre la importancia de la participación de los interesados y los aspectos prácticos en la búsqueda de compromiso.

Finalmente, cualquier evaluación de sustentabilidad tiene que estar respaldada por la participación de las múltiples partes interesadas. Esto garantiza que las acciones, opiniones y necesidades de todos los que tienen cierta influencia o son influenciados por la gestión de las aguas pluviales, sean tomadas en cuenta. La inclusión de los servicios públicos y departamentos pertinentes, tales como las entidades a cargo de las carreteras, el transporte, la vivienda, la planeación urbana, el sector privado, las organizaciones no gubernamentales, los residentes locales y las empresas, son esenciales para el diseño de soluciones con las que los interesados puedan identificar los impactos directos e indirectos de las decisiones de gestión, con el fin de que sean realmente entendidos.

## 5.2 Objetivos, indicadores y metas para la gestión de las aguas pluviales

El reconocimiento de vínculos entre el drenaje y el resto del ciclo urbano del agua, así como la selección de objetivos e indicadores para la gestión de las aguas pluviales, se debe hacer como parte del proceso de planeación estratégica de la GIAU, en la que la visión global de la ciudad ha sido acordada y los problemas prioritarios han sido identificados.

Considerando que los objetivos para la gestión tradicional de las aguas pluviales tienden a centrarse en el aspecto del transporte de los escurrimientos, con un enfoque integral es probable que elijan los objetivos que cubran muchos aspectos más como el control de flujo, la prevención de la contaminación, la creación de infraestructura pública, la mejora ecológica y el reciclaje.

Los objetivos son elegidos en base a lo que se requiere para avanzar hacia la meta, o "visión", para la gestión del agua urbana. El logro exitoso de un objetivo da lugar a que la ciudad esté más cerca de alcanzar su meta general de aumentar la sustentabilidad. Se deben de añadir indicadores y metas a cada objetivo con el fin de medir el progreso y cuantificar el cambio deseado. Estos indicadores y metas deben ser realistas y de medición fácil.

La tabla 2 muestra algunos ejemplos de los objetivos genéricos de las aguas pluviales y sus correspondientes indicadores y metas basadas en un enfoque integrado de manejo de aguas pluviales. Cabe señalar que estos objetivos han sido elegidos al azar para dar una idea de las diferentes áreas relacionadas con las aguas pluviales que podrían abordarse. En realidad los objetivos, indicadores y metas serán seleccionados en base a las prioridades locales y el progreso requerido para cumplir los objetivos generales de la gestión del agua para la ciudad.



Tabla 2: Ejemplos de objetivos, indicadores y metas para la gestión de las aguas pluviales urbanas.

Ejemplos de objetivos para la gestión de las aguas pluviales	Ejemplos de indicadores asociados	Ejemplos de metas asociadas
Reducir el riesgo de inundaciones en zonas vulnerables a niveles aceptables para todas las partes interesadas, incluso en escenarios futuros debido al cambio climático.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frecuencia de crecidas y profundidad</li> <li>• Deterioro económico (peso/(per)cápita/año)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La frecuencia de inundaciones reducida a un período X para el año X</li> <li>• El costo de daños por inundaciones de menos de X pesos por zona de uso de tierra para el año X</li> </ul>
Proteger y mejorar la calidad del agua y el estado ecológico de las aguas receptoras urbanas, tanto para aguas superficiales como subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel del estado químico de los cuerpos receptores</li> <li>• Nivel del estado ecológico de los hábitats acuáticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• X% de las aguas que cumple los requisitos mínimos de calidad del agua tal como se especifica en la legislación X para el año X</li> <li>• Clasificación de la salud de los ríos X para el año X</li> </ul>
El uso de las aguas pluviales para contribuir a la calidad de vida en el medio urbano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de la población que valora los cuerpos de agua con fines recreativos</li> <li>• Cambio en la propiedad y los valores locales de la tierra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• X% de los residentes encuestados reconoce el valor del agua en su vecindario</li> <li>• X% de incremento en el valor catastral de las propiedades locales y la tierra (independiente de las tendencias externas)</li> </ul>
Cosecha de agua de lluvia y de las aguas pluviales para su reuso con fines no potables	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción en la demanda de agua potable</li> <li>• Reducción de las corrientes de aguas pluviales de las propiedades al reciclarlas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de la demanda de agua potable en un X% por año X</li> <li>• El total del escurrimiento de la zona X reducido en un X% durante las tormentas de magnitud especificada por año X</li> </ul>
Utilizar las aguas pluviales para volver a establecer un ciclo del agua equilibrado (en conjunto con el desarrollo del paisaje)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relación de recarga/evaporación / almacenamiento /escurrimientos</li> <li>• Niveles de agua subterránea</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relación de recarga / evaporación / almacenamiento / escurrimientos establecida para que coincida con la situación de Greenfield</li> <li>• Tasas de recarga de agua subterránea de X % de volúmenes de lluvia específicos</li> </ul>

(Adaptado de Ellis, Scholes, Shutes & Revitt, Middlesex University, 2008))



Los diferentes tipos de indicadores pueden ser utilizados para otros propósitos dentro de la gestión del agua urbana. Para más información sobre el uso de los indicadores y las metas asociadas, véase el Módulo 1.

## 6 Poniendo en práctica la gestión sustentable de las aguas pluviales

### 6.1 Implementando una gestión de aguas pluviales más sustentable

Un drenaje urbano más sustentable requiere un cambio en la mentalidad de cómo se gestionan las aguas pluviales. En la práctica, esto puede ocurrir en una variedad de formas, sobre todo aprovechando las oportunidades que se presentan en un contexto de desarrollo urbano e impulso económico.

La búsqueda de oportunidades oscila desde la implementación a gran escala de sistemas de drenaje no tradicionales a medidas pequeñas e individuales que estén adaptadas a la infraestructura existente. A escala de una ciudad, un cambio completo de drenaje urbano tradicional a uno en el cual las aguas pluviales se retienen y reusan en el ámbito local, es un objetivo a largo plazo que en muchos casos sólo podría lograrse de manera radical a través de la reconstrucción total de la infraestructura. Sin embargo, el progreso hacia este objetivo se puede lograr sin grandes recursos financieros y en todas las ciudades se pueden avanzar mediante la implementación de una combinación de medidas de pequeña y gran escala, conforme las oportunidades se vayan presentando. Algunos ejemplos de dichas oportunidades son las siguientes:

- **Construcción:** Los requisitos de planificación pueden asegurar que las nuevas carreteras, proyectos de viviendas, complejos comerciales, polígonos industriales y otras de infraestructuras urbanas, se construyan con las medidas de manejo de aguas pluviales en lugar que tratar el agua de escurrimientos y de esta manera mantener un balance del agua cerca de las condiciones de pre-desarrollo.
- **Mejoras incrementales:** La identificación de puntos clave en la ciudad, en los cuales una mejora o cambio en la infraestructura de drenaje es una prioridad de planeación, promueve la selección de opciones sustentables en vez de otras convencionales. Estos podrían ser las zonas propensas a inundaciones, los sitios en remodelación y otros lugares donde la inversión en el drenaje es una necesidad inmediata.
- **Incentivos financieros:** El costo de la gestión de las aguas pluviales es a menudo asumido por los dueños de las propiedades a través de la factura de los servicios de agua y aguas residuales. La carga de una tarifa independiente para la gestión de las aguas pluviales (en base al área de superficie impermeable) proporciona un incentivo financiero para los propietarios, en particular para las empresas, para reducir la cantidad del escurrimiento de las aguas pluviales generadas en su sitio.
- **Paisajismo y sitios de usos múltiples:** Las características de la vegetación natural y el agua utilizada para el paisaje urbano pueden ser fácilmente adaptadas para poder atenuar el escurrimiento de las aguas pluviales. Además, los sitios como patios de recreo, campos deportivos y estacionamientos subterráneos, pueden ser diseñados para almacenar las aguas pluviales temporalmente durante eventos de lluvia severa.
- **Explotando la necesidad de inversión en otros sectores:** Debido a su relación con el sector del agua y otros sectores de planeación urbana, la inversión en medidas sustentables para las aguas pluviales pueden ser implementadas para hacer frente a problemas en otros sectores urbanos. La capacidad insuficiente de tratamiento de aguas residuales, la restauración de los hábitats naturales y la escasez del agua, son temas de desarrollo urbano que la gestión sustentable del agua de lluvia puede ayudar a mitigar.



Para una revisión de los lineamientos de diseño existentes para la gestión de las aguas pluviales de todo el mundo véase "el manual de diseño que incorpora las directrices sobre mejores prácticas para las opciones de gestión de las aguas pluviales y el tratamiento en condiciones extremas, Parte A: Revisión de las directrices de diseño para la gestión de las aguas pluviales en determinados países" (Scholes et al. 2008) [www.switchtraining.eu/switchresources](http://www.switchtraining.eu/switchresources)



Las cuestiones legislativas y reglamentarias que rodean la gestión de las aguas pluviales no tradicionales se discuten en el artículo "La evaluación de las estrategias actuales para las aguas pluviales" (Ellis et al 2007) [www.switchtraining.eu/switchresources](http://www.switchtraining.eu/switchresources)

## 6.2 Obstáculos en la gestión sustentable de las aguas pluviales

Las oportunidades para implementar prácticas más sustentables en la gestión de las aguas pluviales, existen en todas las ciudades. Está disponible la tecnología para que se pueda sacar provecho a estas oportunidades, además de ser barata, accesibles y confiable. (Véase la Sección 7). Sin embargo, la implementación exitosa de estas soluciones dependerá de un entorno que permita aceptación común y el mantenimiento continuo. La introducción de alternativas para la solución de aguas pluviales en un ambiente de actitudes profesionales opuestas, estructuras institucionales rígidas, marcos legales contradictorios y la misma oposición pública, es probable que termine en fracaso.

Tabla 3: Ejemplos de obstáculos en la gestión sustentable del agua pluvial

Obstáculos	Descripción	Consecuencias
Legislaciones y regulaciones	Gran parte de la legislación existente, así como también de la reglamentación y normatividad, relativas a la gestión de las aguas pluviales, se han desarrollado basándose en ingeniería dura y los sistemas de drenaje tradicionales.	Las soluciones alternativas para la gestión de las aguas pluviales pueden enfrentarse a problemas legales, ya que pueden incumplir con la normatividad existente.
Estructuras institucionales	El carácter intersectorial de las soluciones no convencionales de las aguas pluviales, no es compatible con las estructuras organizacionales en función y/o con las responsabilidades de planeación de los encargados de la gestión del agua y otros organismos municipales a cargo de ofrecer los servicios convencionales de drenaje.	La relación entre el drenaje urbano y otros sectores urbanos, tales como la planeación del uso del suelo, no se refleja en las estructuras institucionales existentes, dando lugar a una fragmentación en el enfoque de gestión de los aspectos relacionados con las aguas pluviales.
Aversión a los riesgos	La oposición de los encargados de tomar decisiones para adoptar soluciones innovadoras, se debe a la percepción de que las tecnologías no han sido probadas y el riesgo de fracaso y la responsabilidad legal son inaceptablemente altos.	La implementación continua de infraestructura para aguas pluviales tradicionales en lugar de la inversión en soluciones no convencionales.
Percepción de los costos	La inversión inicial para la sustitución de los sistemas centralizados de drenaje por soluciones no convencionales, o la inclusión de soluciones descentralizadas en los nuevos desarrollos, se consideran demasiado altos para justificar la inversión.	La infraestructura centralizada de drenaje sigue siendo reparada y ampliada a pesar de los altos costos durante el ciclo de vida.
La resistencia al cambio por parte de profesionales	Actitudes conservadoras en la gestión de las aguas pluviales y el deseo de mantener un monopolio sobre los servicios de drenaje.	Renuencia de los funcionarios de los municipios y empresas de servicios públicos para conocer y adoptar nuevas tecnologías.
Aceptación pública	La oposición pública a las opciones alternas para el manejo de las aguas pluviales, debido a la falta de información y de fundamentos.	Las soluciones no convencionales se consideran inaceptables y una pérdida de dinero para la población local dando lugar a la oposición y la falta de disposición por llevarlas a cabo.
Espacio requerido	La necesidad de la tierra para soluciones no convencionales en zonas densamente pobladas son costosas y difíciles de adquirir. El uso de áreas con propósitos múltiples tales como campos de juego para almacenamiento temporal, también puede ser políticamente polémico.	Los terrenos necesarios para poner en práctica soluciones alternativas no están disponibles o son caros de adquirir.

Muchos de los obstáculos en una gestión sustentable de las aguas pluviales pueden ser superados, pero para ello es necesario reconocer cuáles son estos obstáculos y cómo influyen en el drenaje urbano. Los obstáculos pueden ser ubicaciones específicas y tienden a surgir debido a factores locales, políticos, económicos y sociales. Sin embargo, hay medidas generales que pueden superar varios obstáculos a la vez, las cuales son aplicables a muchas ciudades del mundo. Algunos de estos obstáculos y sus consecuencias se muestran en la tabla 3.

Una vez identificados, los obstáculos de las soluciones para las aguas pluviales no convencionales, tales como los que se muestran en la Tabla 3, son generalmente superables. Al estar consciente de su existencia, hay medidas que se pueden poner en práctica para mitigar la amenaza y ayudar a crear mejores condiciones, para la adopción generalizada de opciones sustentables. Algunos ejemplos de tales medidas incluyen:

- **Proyectos piloto para demostrar la evidencia de los resultados y la viabilidad del mantenimiento:** La eficacia, fiabilidad y costos de las soluciones alternas para la gestión de las aguas pluviales, son inevitablemente cuestionables. El éxito en la implementación durante proyectos piloto aportará las pruebas necesarias para promover las inversiones a gran escala.
- **Compromiso público:** Hacer caso omiso a la opinión pública puede causar desconfianza en general y de esta manera oposición para las soluciones de drenaje alterno. La participación del público en general a principios de la etapa de planeación es importante para abordar todas las preocupaciones locales, dar a conocer los beneficios y así mismo desarrollar un sentido de pertenencia entre la población local.
- **Coordinación institucional:** La influencia de numerosos sectores públicos y privados en la gestión de las aguas pluviales, requiere la necesidad de un organismo para su coordinación que tenga una visión general del drenaje urbano en su conjunto. Este órgano (que puede ser establecido como parte de una unidad de mayor integración para la gestión del agua urbana en general) es capaz de reunir a los responsables de lo que sería un enfoque fragmentado de la gestión.
- **Legislación y cambio en las regulaciones:** Los cambios en la legislación pueden ser necesarios para garantizar que las soluciones alternas sean aceptadas como opciones legales de drenaje. Una mayor regulación, por ejemplo, en las normas de construcción, también puede asegurar que el permiso de planeación para nuevos desarrollos dependa de la inclusión de medidas que gestionan las aguas pluviales con eficacia.
- **Mercados fomentando los cambios:** Promover soluciones no convencionales para la gestión de las aguas pluviales a través del otorgamiento de subsidios en ciertas tecnologías, crea un mercado para estos productos y la competitividad aumenta, en comparación con las soluciones tradicionales. Esto proporciona incentivos para los desarrolladores y consultores privados para adoptar nuevas tecnologías y también puede fomentar a los hogares y negocios a invertir en medidas como los sistemas de captación de aguas pluviales.
- **Voluntad política:** Conseguir el apoyo político a través de la aprobación de políticas alternas para la gestión de las aguas pluviales por parte del ayuntamiento, ofrece un motor clave para la implementación generalizada de soluciones sustentables. La sensibilización a los problemas (y costos) asociados con un enfoque de un drenaje convencional, así como los beneficios de un enfoque alterno, pueden presentar incentivos claros para que las autoridades tomen decisiones.

De las medidas mencionadas, el apoyo político es sin duda la más importante. El respaldo político de alto nivel puede dar lugar a una reforma institucional y una revisión de obstáculos significativos en la legislación para la implementación de medidas alternas para las aguas pluviales. Una vez en el lugar, tales cambios proporcionan los elementos necesarios y los incentivos para que los planificadores, los profesionales y desarrolladores, aprueben, inviertan y aumenten la capacidad de aplicar estas soluciones a gran escala.



La participación del público en la toma de decisiones aguas pluviales se discute dentro del artículo de SWITCH "Evaluación de la toma de decisiones en la gestión de las aguas pluviales urbanas" (Ellis et al 2009) [www.switchtraining.eu/switchresources](http://www.switchtraining.eu/switchresources)



Para obtener orientación en la identificación de las estructuras de gobernanza e institucionales más relevantes para la gestión de las aguas pluviales, véase el documento de SWITCH "Lineamientos para la elaboración de un mapa institucional para las ciudades, identificando las áreas que actualmente carecen de poder y/o de fondos con respecto a la gestión de las aguas pluviales" (Ellis et al 2009) [www.switchtraining.eu/switchresources](http://www.switchtraining.eu/switchresources)



Véase el Módulo 1 para más información sobre la coordinación institucional y el compromiso político.

### Proyecto 15/15 en la región de Emscher, Alemania

Situado en el antiguo corazón industrial en el noroeste de Alemania, la región de Emscher es un ejemplo de lo que puede lograrse cuando existe un compromiso político suficiente para llevar a cabo cambios generalizados en el ciclo urbano del agua. Como parte de una regeneración urbana integral y el proyecto de restauración de río, la junta regional de agua y 17 municipios de la cuenca del río Emscher, acordaron la necesidad de reducir el volumen de las aguas pluviales al entrar en el alcantarillado local. El proyecto 15/15 fue el resultado.



El río Emscher cerca de Duisburgo, Alemania

El convenio 15/15 establece el objetivo de desconectar el 15% de las superficies impermeables de la red de alcantarillado dentro de 15 años para evitar la sobrecarga en las plantas de tratamiento de las aguas residuales y así las aguas pluviales sin tratar entren al río. El convenio fue firmado por los alcaldes de los 17 municipios ubicados de la cuenca, así como la compañía suministradora de agua y el Ministro de Medio Ambiente del Estado de Renania del Norte-Westfalia. Dado que el convenio fue firmado en el 2005, aproximadamente 40 km<sup>2</sup> de superficie impermeable se ha desconectado de la red de alcantarillado (Salian 2011).



Para más información sobre la convención 15/15 véase el caso de estudio de la región Emscher.

# 7 Opciones para la gestión sustentable de las aguas pluviales

## 7.1 Experiencias Exitosas para la Gestión de las aguas pluviales (EEG)

La alternativa más común de las técnicas tradicionales para la gestión de las aguas pluviales es lo que se conoce como Experiencias Exitosas para la Gestión (EEG)<sup>2</sup> de las aguas pluviales. El concepto de EEG de las aguas pluviales promueve un enfoque integral del drenaje urbano, basándose en opciones que conservan, tratan y reutilizan los escurrimientos. El entorno natural juega un papel importante para la elección de la tecnología con los sistemas naturales como los humedales, la vegetación y los suelos, los cuales son muy utilizados en las distintas soluciones.

A diferencia del enfoque tradicional del drenaje urbano, usando un enfoque de soluciones EEG para las aguas pluviales, se busca conseguir objetivos multidimensionales relacionados con la cantidad, la calidad y los aspectos socioeconómicos de las aguas pluviales. Por ejemplo, la construcción de depósitos de infiltración para recoger los escurrimientos de las carreteras con el fin de reducir los flujos de aguas pluviales de las superficies pavimentadas (control de calidad), asimismo puede proporcionar características atractivas en la carretera para mejorar el valor estético de la zona (mejoras sociales). Más detalles sobre los beneficios multidimensionales que las EEG del agua pluvial pueden alcanzar, se proporcionan en los resúmenes de las soluciones individuales en la sección 7.2.

La selección de soluciones de EEG de las aguas pluviales depende de las condiciones y requisitos locales. Sin embargo, el concepto general que sigue "códigos" los cuales son esenciales para tener en cuenta al poner la gestión sustentable de las aguas pluviales en la práctica. Estos incluyen:

- **Planeación integral:** La implementación de diversas soluciones EEG de las aguas pluviales puede afectar a varios campos. La protección contra inundaciones, el control de la contaminación, la creación de hábitat, servicios públicos y el uso del espacio - y los departamentos responsables de estas tareas- son todas las áreas que pueden verse influenciados por la implementación de una sólo opción. La existencia de estos vínculos tiene que ser reconocida a través de la planeación integral, para garantizar que las repercusiones sean conocidas y gestionadas adecuadamente.
- **Adaptabilidad al contexto local:** Las soluciones EEG de las aguas pluviales sólo serán sustentables si se pueden adaptar a las condiciones locales. La elección de una solución por lo tanto debe tener en cuenta aspectos como la disponibilidad de espacio, el clima local, tipo de suelo, niveles de agua subterránea, la topografía, el tipo de construcción, las prácticas de uso de suelo, condiciones socio-económicas, etc. Otro aspecto crucial es la necesidad de adaptar soluciones en la infraestructura existente.
- **Flexibilidad:** el manejo de las aguas pluviales está fuertemente influenciada por el crecimiento urbano y las condiciones climáticas - dos factores que son difíciles de predecir con exactitud. La flexibilidad para adaptarse en un futuro incierto es por tanto, un criterio fundamental de la planificación de las soluciones EEG de las aguas pluviales. A diferencia de los sistemas de drenaje tradicional que han fijado los parámetros de diseño, las soluciones EEG pueden ser diseñadas para cumplir su propósito en diferentes escenarios futuros.
- **Aspectos especiales:** Las aguas pluviales tienen que ser gestionadas en diferentes escalas espaciales, cada una de ellas debe ser tomada en cuenta al seleccionar las soluciones de EEG. Las consideraciones espaciales comienzan a partir de la construcción individual y la expansión para incluir el terreno edificable en una zona, la sub-captación, la captación y, en última instancia, toda la cuenca. Cuando se implementa en mayor escala, el impacto para las soluciones EEG de las aguas pluviales deben ser cuidadosamente considerados.



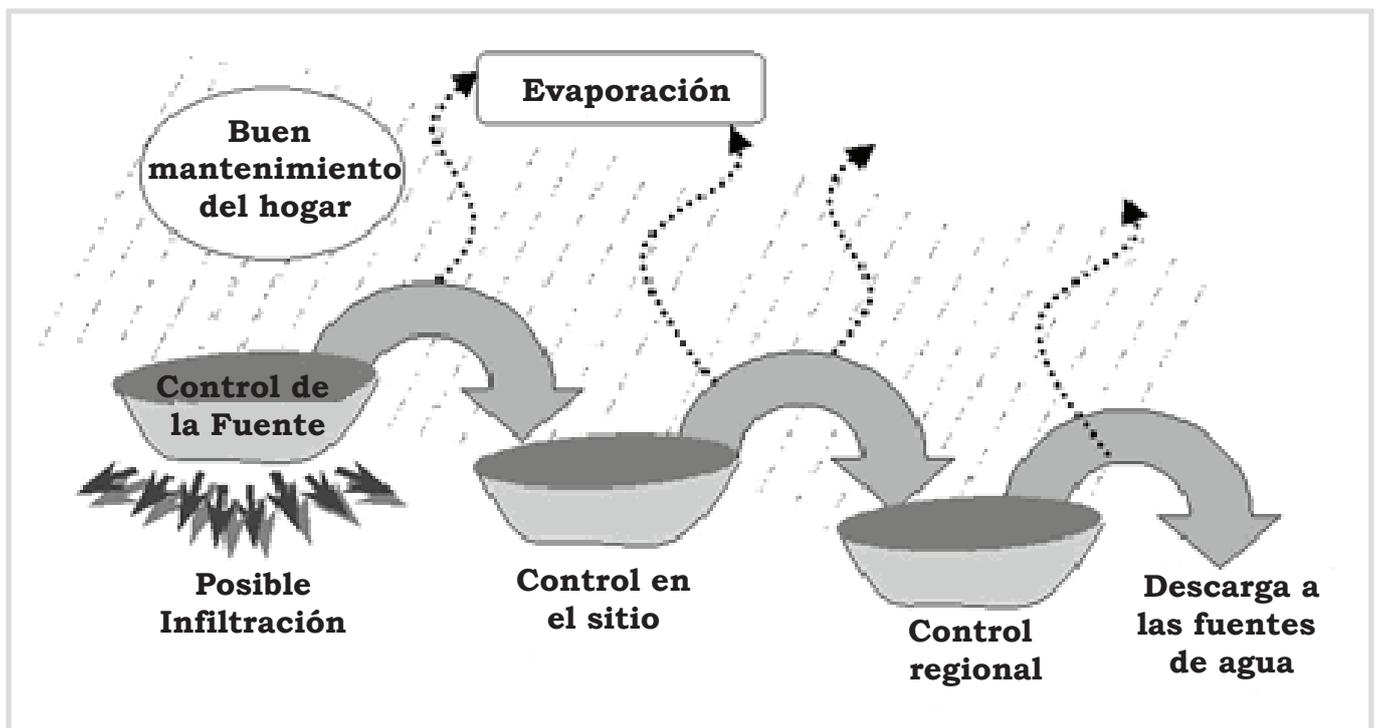
Para más información sobre ejemplos comprensibles de las EEG dentro del ciclo urbano, véase el artículo "El potencial de las EEG para integrarse con la infraestructura existente (es decir, los sistemas retro-fit/hybrid) y contribuir con otros sectores del ciclo urbano del agua (Shutes, B. 2008, Ref. de recursos. 2.1.2b)

<sup>2</sup> También comúnmente referido como Sistemas de Drenaje Urbano Sustentable (SUDS, por sus siglas en inglés)

## 7.2 Ejemplos de soluciones de EEG de las aguas pluviales.

Las soluciones de EEG de las aguas pluviales están diseñadas para diferentes escalas en función al propósito y a las condiciones locales en que se implementan. Estas escalas forman una jerarquía de medidas preferibles partiendo de medidas proactivas de prevención y el control de las precipitaciones en la fuente, aumentando la escala para la gestión de los escurrimientos en un área geográfica amplia. Esta jerarquía se muestra en la Figura 5:

Figura 5: La jerarquía de las soluciones de las aguas pluviales EEG



**Buena gestión interna:** Las medidas no estructurales para controlar los escurrimientos y prevenir que los contaminantes entren en contacto con las aguas pluviales como, la educación y sensibilización de fondo, la planificación de sitios y la gestión del uso del suelo y la basura.

**Control en la fuente:** La atenuación y el tratamiento de los escurrimientos cerca de donde cae la lluvia tan pronto como sea posible, a través de pavimentos porosos, colillas de agua, cunetas y techos verdes.

**Control sobre el sitio:** La atenuación y el tratamiento de los escurrimientos de un área grande, como una urbanización o parque comercial, a través de cuencas de retención y sistemas de infiltración.

**Control sobre la región:** La atenuación y el tratamiento de los escurrimientos de diferentes sitios a través de estanques de retención y humedales.

Aunque las soluciones de EEG de las aguas pluviales pueden ser implementadas como medidas individuales en las escalas de planeación, dentro de la jerarquía anterior, lo ideal es que sean adoptadas de manera unánime, sobre todo en los grandes desarrollos. Mediante el diseño de regímenes de EEG con esta interacción en cuenta, las diferentes soluciones deben operar en conjunto para gestionar los flujos progresivamente y eliminar los contaminantes en un área en constante crecimiento.

Existe una enorme variedad de opciones y métodos disponibles que ayudan en la implementación de una gestión más sustentable de las aguas pluviales. Estos incluyen:

- Planeación del sitio (buena gestión interna)
- Participación pública (buena gestión interna)
- Pavimentos porosos (control en la fuente)
- Cunetas o zanjas (control en la fuente)
- Captación de lluvia (control en la fuente)
- Sistemas de infiltración (control sobre el sitio y la región)
- Detención de estanques y cuencas (control sobre el sitio y la región)

Cada una de las soluciones anteriores se describe brevemente a continuación. La descripción de cada solución es seguida de algunas contribuciones positivas que pueden contribuir a la gestión del agua urbana y al desarrollo urbano en su conjunto. Las gráficas proporcionan una clasificación simple de estas contribuciones. El objetivo de esta clasificación es indicar la importancia de los beneficios que puede ofrecer una solución a una ciudad. Esto podría ser muy subjetivo ya que en realidad los beneficios (y costos) que la solución ofrece son totalmente dependientes de las circunstancias locales en las que sean implementadas.

Algunos problemas comunes asociados con la implementación también se enumeran para cada solución. Una vez más, el tipo y el alcance de estas consideraciones son totalmente dependientes de las circunstancias locales y la lista es una guía general solamente.

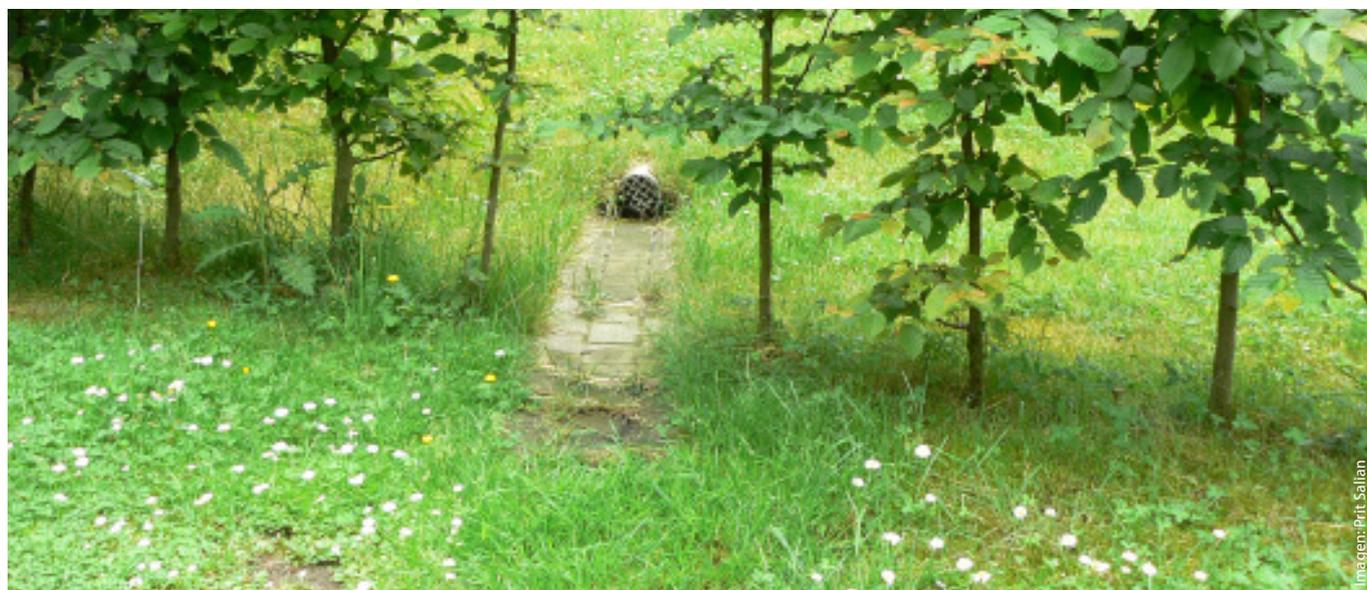
En general, la información que sigue pretende ser una base para el debate en lugar de un análisis significativo de la adaptabilidad local de una solución. En la mayoría de los casos una investigación a fondo incluyendo la participación de los interesados y un estudio exhaustivo de las condiciones locales, sería necesario para determinar si una solución es factible y/o deseable. El conocimiento de especialistas también es probable que sea requerido para el diseño y construcción de la tecnología pertinente.



Las directrices de las mejores prácticas de Gestión Ambiental de las Aguas Pluviales Urbanas, producidas en Australia por el CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) proporcionan información técnica detallada para los ingenieros y los planificadores locales para muchas opciones de EEG. Las directrices se pueden descargar de forma gratuita en: <http://www.publish.csiro.au/pid/2190.htm>



CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) en el Reino Unido también ha producido una serie de publicaciones dirigidas a profesionales, para ingenieros y planificadores que proporcionan los detalles técnicos importante en las soluciones de PMG. Algunas de estas publicaciones se pueden descargar de forma gratuita en: <http://www.ciria.org.uk/suds/publications.htm>



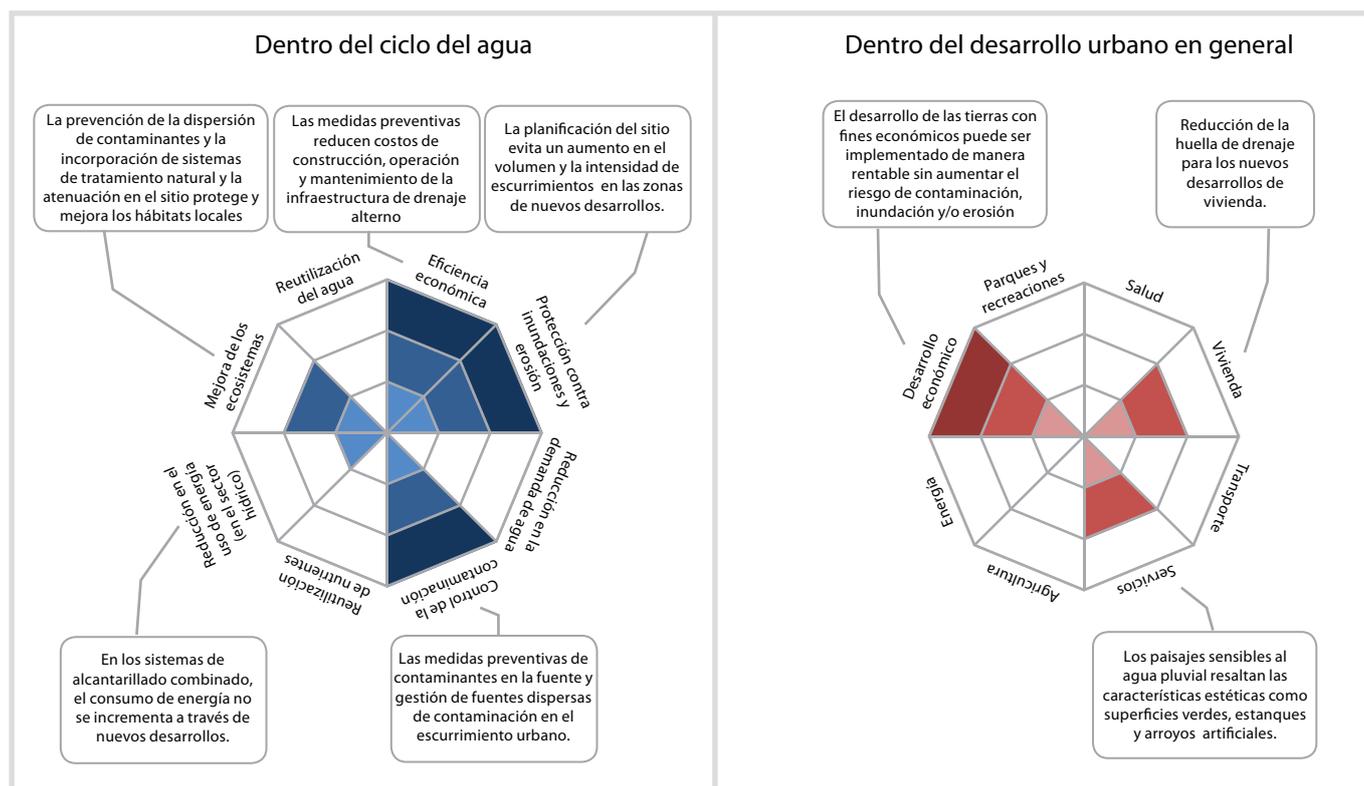
## Planeación de sitio

El desarrollo urbano y la reurbanización ofrecen las mejores oportunidades para presentar la combinación integral para el control de calidad de las aguas pluviales. La identificación de los problemas existentes y/o previstos de aguas pluviales en un área de terreno antes del desarrollo, permite que las medidas que se incluyan en el proceso de planeación se aborden estos temas. Se trata de una oportunidad ideal para poner en práctica de forma rentable las medidas preventivas que reduzcan el impacto de las aguas pluviales en las nuevas urbanizaciones.

La planeación urbana sensible a las aguas pluviales se refiere a la incorporación de drenaje sustentable en la etapa de planeación de un nuevo espacio de desarrollo, en lugar de diseñar un sistema de drenaje después de que el proyecto esté en marcha. Las medidas incluyen la localización de los usos de tierra que generan fuentes concentradas de contaminantes, lejos de las aguas superficiales, aumentando los espacios abiertos entre las zonas comerciales, aprovechando la topografía existente y los patrones de drenaje para el tratamiento y la atenuación en los escurrimientos. Estas medidas impiden el aumento de la contaminación de las aguas pluviales, el volumen y la velocidad en un lugar desarrollado sin la necesidad de construir una infraestructura costosa.

La planeación integral de un lugar puede ser totalmente eficaz manteniendo el control en las variaciones del caudal de las aguas pluviales, previo al desarrollo de la zona. En donde la planeación inteligente del uso del suelo y las medidas preventivas no son suficientes para alcanzar las metas, es el momento ideal para incorporar soluciones estructurales para el EEG de las aguas pluviales, como cunetas, estanques y/o humedales, en el desarrollo como parte de su jardinería. Haciendo esto, en esta etapa se puede aumentar la gama de medidas a seleccionar, además de ser técnicamente más barato y fácil que las medidas de adaptación de EEG de las aguas pluviales una vez que el desarrollo ha sido terminado.

**Figura 6:** Influencias positivas en la planeación de sitios en el ciclo urbano del agua y el desarrollo urbano. El número de segmentos seleccionados indican la medida en que el sector está influenciado por cada opción. (Nota: por causa de simplicidad de los gráficos se consideraron únicamente las influencias directas)



Aspectos a considerar:

El éxito en el diseño de un drenaje sustentable para un nuevo desarrollo está influenciado por varios factores. Lo más importante de ello es el reto de garantizar que a las aguas pluviales se les dé el debido reconocimiento en la fase de planeación. El nivel de influencia que la gestión del agua de lluvia puede tener durante la planeación de un nuevo desarrollo urbano, determinará la medida en que un impacto positivo se podrá alcanzar en el futuro drenaje de la zona. Esta y otras consideraciones locales se describen con más detalle a continuación:

- El diseño de un nuevo sitio se basa en los objetivos no necesariamente relacionados con las aguas pluviales, tales como la rentabilidad del sitio, la compatibilidad con las zonas adyacentes y la estética. Los objetivos de las aguas pluviales son más propensos a ser incorporados si su inclusión no compromete los motivos principales del desarrollo.
- Centrarse en la gestión de aguas pluviales en la etapa de planeación del nuevo desarrollo es más fácil de aceptar si los beneficios son presentados y entendidos de manera clara. El cumplimiento de las normas de planeación de drenaje a un bajo costo, el valor estético y el ahorro futuro en la construcción y mantenimiento de la infraestructura de drenaje, deben ser fuertemente enfatizados.
- La identificación de áreas y usos del suelo que representan un riesgo para las aguas pluviales, así como las acciones propuestas, requieren un conocimiento detallado del sitio desde la perspectiva del drenaje. La información sobre datos de lluvia, topografía, geología, tipos de suelo, vegetación, hábitats naturales, parámetros hidrológicos actuales, etc. será necesaria si las experiencias en la gestión sustentable de las aguas pluviales, son incorporadas con éxito en el sitio.

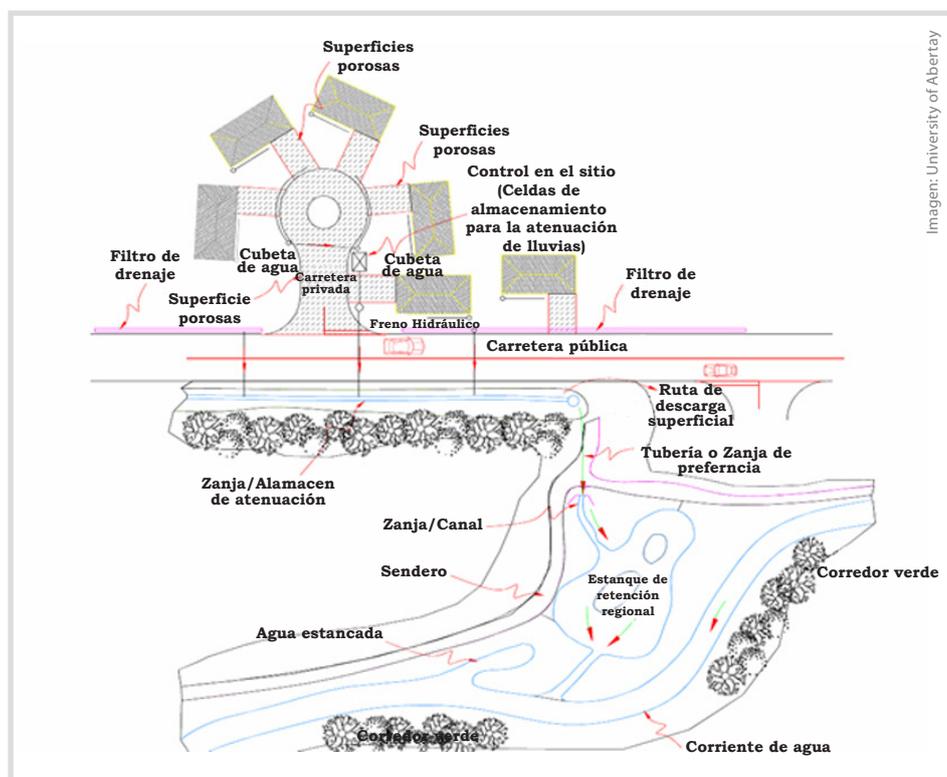


Imagen: University of Abertay

Plan en sitio para la gestión sustentable del agua pluvial

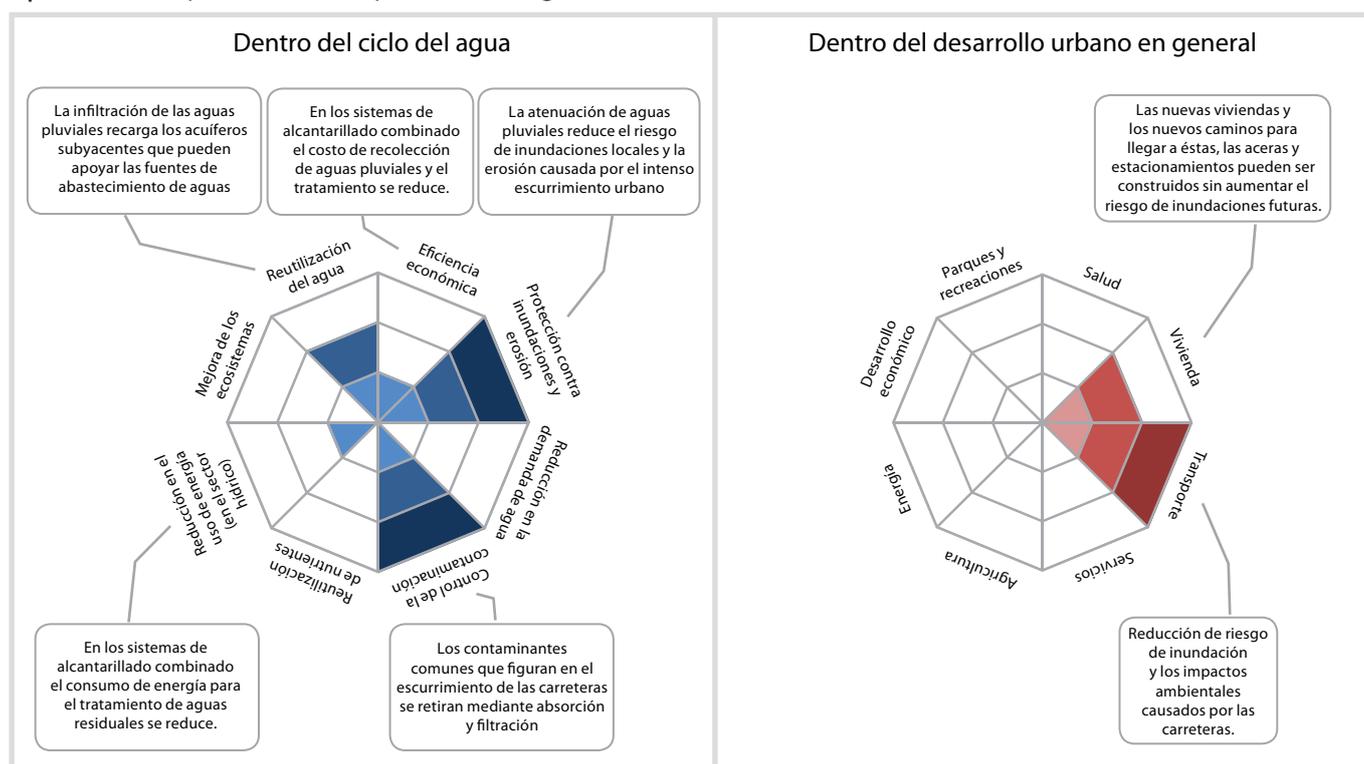
### Pavimentos porosos

Uno de los mayores impactos de la creciente urbanización sobre la gestión de las aguas pluviales, es la transformación de las áreas con vegetación a suelos impermeables, carreteras, estacionamientos, carriles para bicicletas, aceras y otras superficies pavimentadas. El cambio de una superficie permeable a una impermeable aumenta el volumen y la velocidad de los flujos de escurrimientos de lluvia, que de otro modo serían atenuados y absorbidos por la vegetación infiltrándose en el suelo. Los contaminantes como aceites y sedimentos se dispersan a través del escurrimiento de contaminantes a los cuerpos de agua receptores.

Una solución a este problema es el pavimento poroso o permeable. Las superficies pavimentadas con espacios entre los bloques de concreto o asfalto permiten el drenaje de las aguas pluviales a través de la pavimentación y así infiltrarse en las aguas subterráneas o ser almacenadas y liberadas lentamente a través de tuberías de recolección subterránea. Las estructuras pueden atenuar el escurrimiento y eliminar los contaminantes típicos de la carretera, tales como los hidrocarburos y metales, a través de los mecanismos de absorción y filtración en el material entre los bloques de pavimento y en la infraestructura subyacente.

El pavimento poroso es una opción de control, que está diseñado para manejar las lluvias que caen en la superficie, en lugar de recoger las aguas pluviales de un área más grande, misma que puede contener altas cargas de sedimentos. La tecnología es sin embargo capaz de hacer frente a fuertes tormentas y por tanto es aplicable para la mayoría de las condiciones climáticas.

**Figura 7:** Influencias positivas en la planeación de sitios en el ciclo urbano del agua y el desarrollo urbano. El número de segmentos seleccionados indican la medida en que el sector está influenciado por cada opción. (Nota: por causa de simplicidad de los gráficos se consideraron únicamente las influencias directas)



### Aspectos a considerar

La tecnología actual permite la construcción de pavimentos porosos en la mayoría de los entornos urbanos y climas. Sin embargo, el entorno local jugará un papel importante en el tipo de sistema que se haya seleccionado. Algunos de los aspectos de la ubicación que deben tenerse en cuenta incluyen:

- El agua se infiltra a través de diferentes tipos de suelo a velocidades desiguales. Los suelos con tasas bajas de infiltración pueden no ser adecuados para los pavimentos porosos, sin embargo, pueden ser instalados tanques y tubos de atenuación por debajo de las carreteras.
- El drenaje de los pavimentos no son capaces de infiltrarse en los suelos que estén saturados debido a un alto nivel freático. Las tuberías o tanques de recolección pueden ser instalados en el camino para atenuar los escurrimientos.
- El pavimento poroso necesita ser lo suficientemente fuerte para soportar el peso y el volumen de tráfico que utiliza la carretera.
- El uso principal de la carretera determinará el tipo de contaminantes que deben ser manejados y el riesgo de que estos se infiltren a los acuíferos subyacentes.
- El pavimento poroso mal cuidado puede obstruirse con el sedimento resultante de un mal drenaje de la superficie de la carretera. Las concentraciones de los metales también pueden acumularse en los suelos y tienen que ser removidos.
- La construcción de pavimento poroso tiene que ser adecuada para el clima local. El volumen y la intensidad de las precipitaciones, así como las variaciones en la temperatura influyen en las especificaciones de diseño.



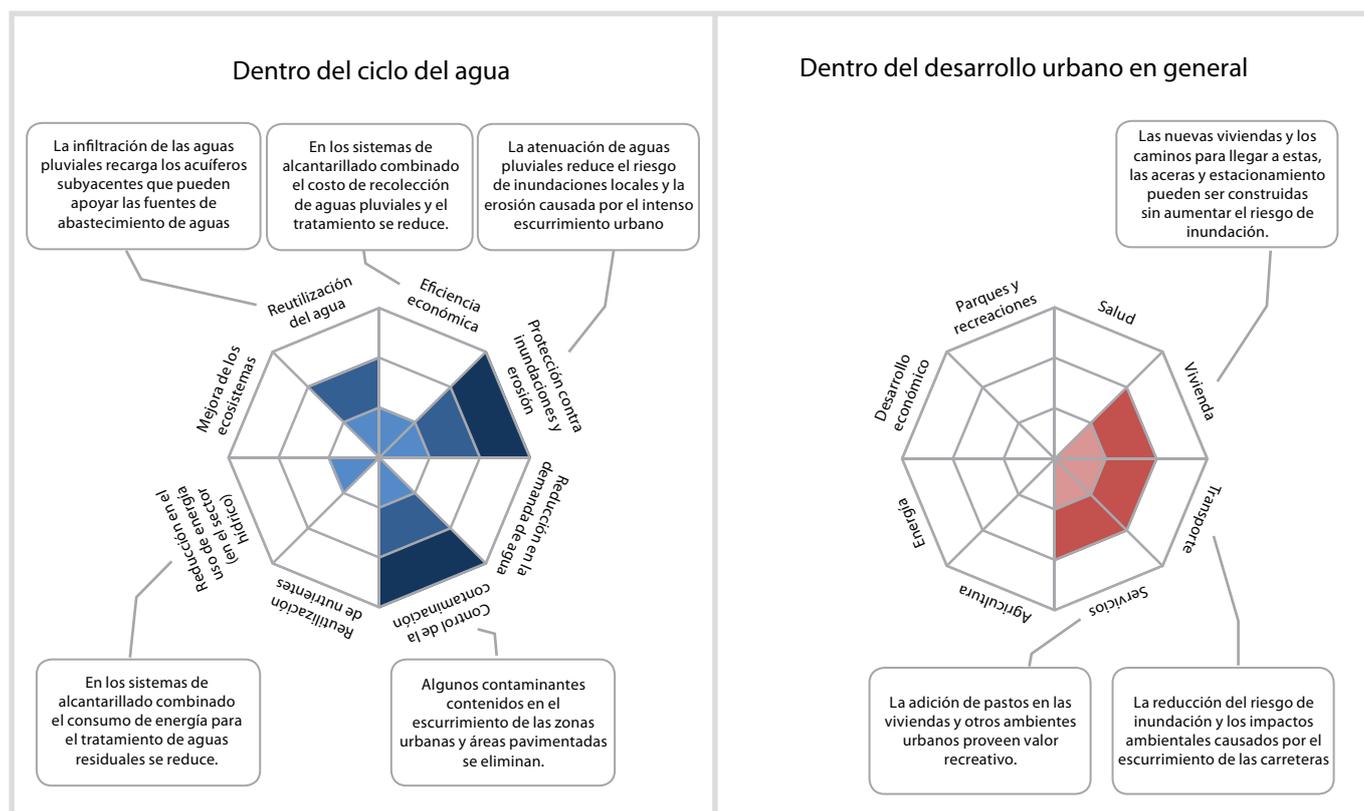
Ejemplos de pavimentos porosos

## Zanjas

Los escurrimientos de los edificios, caminos y carreteras se pueden atenuar y tratar con zanjas. Las zanjas son canales cubiertos de hierba que se han diseñado para la infiltración y el tratamiento de los escurrimientos recolectados. Así como los flujos de las aguas pluviales a través de las zanjas son naturalmente tratados por la vegetación y parcialmente filtrados a través del subsuelo. En comparación con un canal de drenaje de concreto, las zanjas atenúan el escurrimiento y son capaces de eliminar la materia orgánica de sedimentos y sólidos en suspensión, así como, en menor medida, los metales pesados. Las zanjas infiltran sólo una parte del agua que entra en ellas, así que es necesario considerar medidas adicionales para manejar las descargas, particularmente las que provienen de lluvias fuertes.

Las zanjas fácilmente se pueden adaptar a los paisajes urbanos existentes para sustituir los canales de drenaje tradicionales que transportan el agua desde un solo sitio. Además de su valor para la atenuación de los escurrimientos y el tratamiento, las zanjas representan características atractivas que aportan utilidad para urbanizaciones y carreteras.

**Figura 8:** Influencias positivas en la planeación de sitios en el ciclo urbano del agua y el desarrollo urbano. El número de segmentos seleccionados indican la medida en que el sector está influenciado por cada opción. (Nota: por causa de simplicidad de los gráficos se consideraron únicamente las influencias directas)



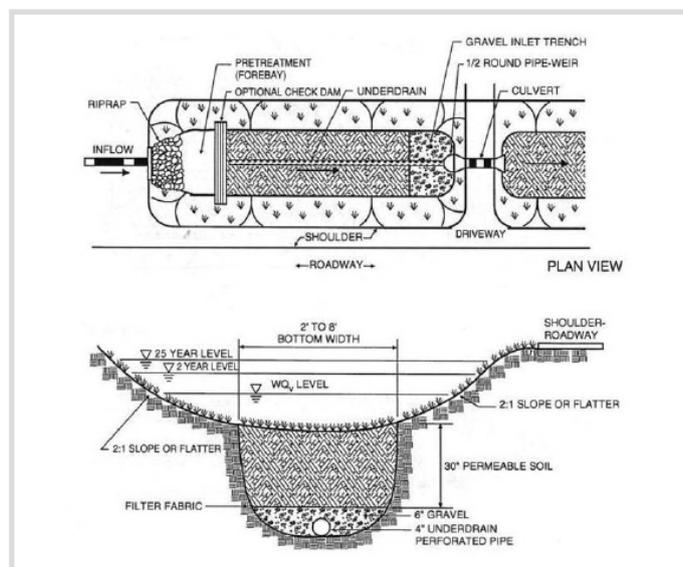
### Aspectos a considerar

Las zanjas son una solución adecuada para la gestión de las aguas pluviales en la mayoría de los sitios. Sin embargo, las condiciones locales deben tenerse en cuenta en el diseño de zanjas para asegurar que su rendimiento se optimice y su mantenimiento sea reducido al mínimo. Algunas de estas consideraciones incluyen:

- Las zanjas no son apropiadas para grandes áreas de drenaje con mayores volúmenes de flujo, ya que las altas velocidades pueden provocar la erosión y reducir la capacidad de atenuación y de tratamiento del sistema.
- Un área que produce escurrimientos altamente contaminados puede ser inadecuada para la aplicación de zanjas debido a su capacidad limitada de tratamiento. Este es particularmente el caso en que existe el riesgo de contaminación de aguas subterráneas a través de la infiltración.
- Las zanjas son adecuadas para diferentes tipos de suelo, aunque la mayoría de los suelos altamente impermeables pueden ser un problema. En estos casos, se puede añadir una cama de tierra y debajo del sistema de drenaje.
- Un manto freático alto puede llevar los contaminantes del escurrimiento a las aguas subterráneas sin ser tratados, cuando se dé un estancamiento de agua en la zanja.
- Hay un límite en la inclinación de las laderas de una zanja y la topografía circundante. Si estas son demasiado empinadas el escurrimiento entrará en la zanja a gran velocidad causando la erosión y reduciendo el potencial del tratamiento natural del sistema.



Zanjas en Soweto, Sudáfrica



Esquema de una zanja seca



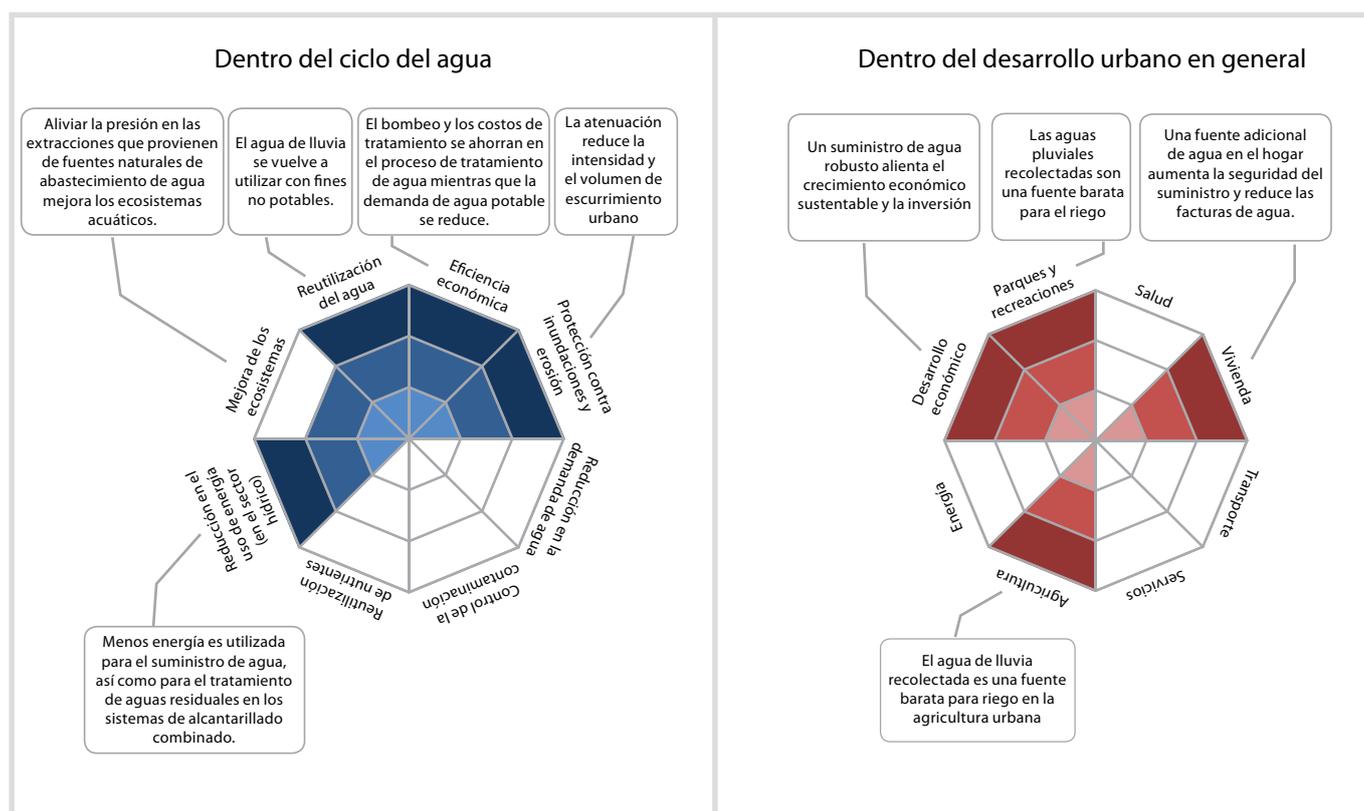
Una serie de diferentes opciones de reutilización de las aguas pluviales y los beneficios que estas proporcionan son discutidos a detalle en el documento de SWITCH "Catálogo de opciones para la reutilización del agua de lluvia" (Scholes et al 2007). [www.switchtraining.eu/switchresources](http://www.switchtraining.eu/switchresources)

## Captación de aguas pluviales

La percepción del escurrimiento de lluvia como un recurso, en vez de una molestia, es una de las principales diferencias entre el enfoque de la gestión de aguas pluviales convencional y no convencional. La recolección de agua de lluvia es un claro ejemplo de esta percepción no convencional, permitiendo que las aguas pluviales sean reusadas para diversos fines. Los sistemas de captación de aguas pluviales pueden ir desde un simple tanque de captación, conectado a un tubo de desagüe, a un sistema complejo en el que se bombean las aguas de lluvia recolectadas a la red de abastecimiento de agua para uso doméstico. El propósito del reuso puede ser localizado fácilmente, como la recolección para uso doméstico en inodoros, o en una escala mucho más grande, como para los procesos industriales y el riego en zonas verdes y/o la agricultura urbana. El agua de lluvia es recolectada en la superficie de las azoteas. Los techos que tienen la ventaja de ser superficies elevadas impermeables, son capaces de recolectar agua de calidad para los suministros. Los sistemas de recolección de agua de lluvia pueden ser diseñados a escala de edificios individuales (incluidos los sistemas que proporcionan un tratamiento básico y bombas para distribuir el agua para uso no potable dentro del edificio) o en gran escala, si se capturan lluvias de desarrollos urbanos enteros, zonas comerciales o industriales.

Sustituir o complementar el agua tratada de calidad potable con agua de lluvia recolectada, está muy lejos de reducir la demanda de agua de una ciudad y por lo tanto es una opción atractiva para las ciudades que sufren de escasez de agua. Junto con los beneficios de abastecimiento de agua, la captación de agua pluvial a gran escala también tiene un impacto positivo sobre el manejo de las aguas pluviales en la captura y reutilización de las lluvias de las superficies de los techos, de manera significativa se reduce el escurrimiento urbano.

**Figura 9:** Influencias positivas en la planeación de sitios en el ciclo urbano del agua y el desarrollo urbano. El número de segmentos seleccionados indican la medida en que el sector está influenciado por cada opción. (Nota: por causa de simplicidad de los gráficos se consideró únicamente las influencias directas)



## Aspectos a considerar

La recolección de agua de lluvia aplica siempre que haya superficies de azoteas y demanda para el agua almacenada. Probablemente se presenten algunos problemas con estas tecnologías, cuando la única preocupación será si el depósito de almacenamiento está a salvo de los escombros, mosquitos y otros animales. Las tecnologías más complejas que tratan y distribuyen el agua almacenada, necesitan ser seleccionadas en base a las circunstancias locales y las intenciones de reuso. Algunos de los temas que necesitan ser considerados son:

- Los sistemas que incluyen las tecnologías de tratamiento básicas y las bombas requieren un mantenimiento regular. Los dueños deben estar dispuestos y ser capaces de llevar a cabo el mantenimiento necesario para mantener el rendimiento a un nivel óptimo.
- El costo de instalación de un sistema complejo de almacenamiento de agua de lluvia puede ser considerable. En las ciudades donde las cuentas de agua son altas, la capital y los costos operativos se puede recuperar con relativa rapidez, conduciendo a una atractiva oportunidad de inversión para las empresas y hogares. No obstante, cuando el precio del agua es bajo (y los costos de energía son altos) el periodo de recuperación será mucho más largo y el incentivo para promover su captación puede ser necesario. Las economías de escala también pueden recurrir a la construcción de un sistema más amplio que abarque urbanizaciones enteras.
- La cantidad de agua almacenada dependerá del área del techo y la precipitación pluvial. La inversión para un sistema complejo de captación sólo valdrá la pena si los suministros son suficientes para suplir la demanda de la red de agua potable de manera significativa. Los edificios que tengan grandes áreas techadas tales como aeropuertos, estaciones de tren, estadios y centros comerciales, son ideales para esta tecnología.
- La remodelación de sistemas de captación de aguas pluviales (que no sean tanques de almacenamiento de agua) para los edificios existentes, puede ser limitado por la falta de espacio disponible para el depósito y la necesidad de adaptación de un sistema de tuberías. La rehabilitación de viviendas existentes y edificios de oficinas pueden ofrecer la oportunidad de llevar a cabo estas remodelaciones. Sin embargo, la incorporación de sistemas en el diseño de nuevas urbanizaciones, empresas, estadios deportivos, centros comerciales, edificios municipales, aeropuertos, etc. es la opción más conveniente para implementar.

• El agua de lluvia recolectada no está necesariamente limpia y no se recomienda para uso potable. La contaminación por materiales tóxicos del aire y las superficies de techo, puede resultar en la necesidad de tratamiento, dependiendo del uso que se le quiera dar. El hecho de saber que hay contaminantes contenidos en el agua de lluvia recolectada es esencial para poder garantizar que un sistema tenga todas las medidas de tratamiento adecuadas.

• Dependiendo del volumen de almacenamiento disponible, la recolección de aguas pluviales es vulnerable a los períodos de escasez de lluvia y sequías. Un respaldo del suministro es requerido para controlar la escasez.



Los acuíferos pueden ser recargados artificialmente con agua de lluvia recolectada, la cual puede ser re-extraída para el suministro de agua posteriormente. Esta solución se conoce como Almacenamiento Acuífero y Recuperación (AAR) la cual se introduce en el módulo 3.



Instalación de tuberías para la reutilización de las aguas pluviales en Alemania

## Captación de aguas pluviales en Beijing

Beijing ayudó a los agricultores peri-urbanos a desarrollar sistemas multifuncionales de agricultura urbana para hacer frente al creciente problema de falta de agua para el riego. Dado el rápido incremento de la producción en invernaderos en áreas peri-urbanas de Beijing, se desarrolló un proyecto demostrativo sobre la captación de aguas pluviales (CAP) con varias instituciones y una cooperativa de hortalizas en el distrito de Huairou, Beijing. Esto demuestra que la tecnología ofrece una útil fuente de agua para la agricultura intensiva en invernaderos. Particularmente es viable y rentable si las múltiples funciones de la agricultura se combinan. Los estanques de almacenamiento subterráneos de agua de lluvia, no sólo se utilizaron para el riego en los invernaderos, sino también para el cultivo de champiñones durante la temporada seca, cuando el estanque de almacenamiento está parcialmente vacío. La alta humedad del estanque es ideal para el cultivo de hongos, brindando a los agricultores grandes ganancias económicas.



Cultivos de champiñones en Beijing



Para más información sobre el uso de las aguas pluviales y aguas residuales recicladas para la agricultura urbana véase el módulo 5, así como también la página web de la Fundación RUAF (Centro de Recursos de Agricultura Urbana y Seguridad Alimentaria) <http://www.ruaf.org/>

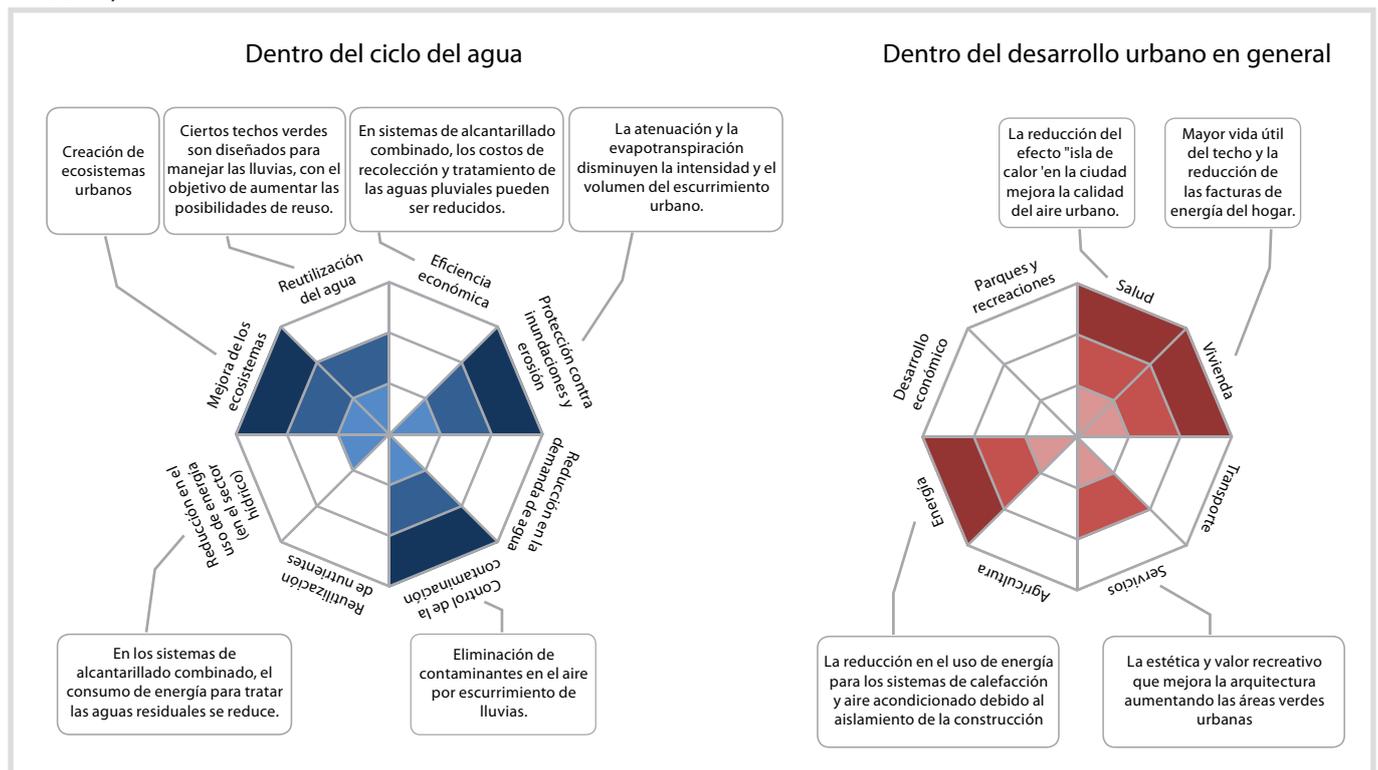
## Techos verdes

Cualquiera que haya visto un tubo de drenaje puede testificar los grandes volúmenes de escurrimientos de las superficies de los techos que son descargados durante las fuertes lluvias. En un entorno urbano, la amplia superficie de los techos repercute en el flujo de las descargas de las aguas pluviales, aumentando el problema de los flujos pico, así como el riesgo de inundaciones y la erosión. Este problema se puede reducir considerablemente mediante la construcción de techos verdes y techos con vegetación que atenúen el agua de lluvia de las azoteas. Cuando se combina con medidas adicionales en los suelos, los techos verdes pueden contribuir a la desconexión completa de un área del techo de la red de drenaje de la ciudad.

Los techos verdes consisten en capas de membranas artificiales sobrepuestas con un cultivo de crecimiento medio y vegetación. La vegetación puede consistir en un número de especies de plantas seleccionadas por su adaptabilidad para el clima local, tipo de techo construido y el diseño estético deseado. La lluvia es retenida en el suelo de modo que el escurrimiento de las aguas pluviales es distribuido durante períodos largos, aumentando las oportunidades de evapotranspiración. Dependiendo del diseño, los contaminantes contenidos en las precipitaciones también pueden ser removidos a través de tratamiento natural proporcionado por los suelos y la vegetación.

Los beneficios de los techos verdes se extienden más allá de la gestión de las aguas pluviales. La capa de vegetación proporciona un aislamiento eficaz en un edificio, que impide el escape de calor durante el clima frío y mantiene fresco el interior durante épocas de calor. Esto reduce el consumo energético de los edificios para los sistemas de calefacción y aire acondicionado. La existencia de techos verdes también agrega un elemento atractivo para el medio ambiente urbano, a través de la extensión de zonas con vegetación, reduciendo el efecto isla de calor urbano, fomentando la biodiversidad y eliminando los contaminantes del aire.

**Figura 10:** Influencias positivas en la planeación de sitios en el ciclo urbano del agua y el desarrollo urbano. El número de segmentos seleccionados indican la medida en que el sector está influenciado por cada opción. (Nota: por causa de simplicidad de los gráficos se consideraron únicamente las influencias directas)



### Aspectos a considerar

Los techos verdes son ideales para zonas urbanas densas, donde el espacio es limitado para la implementación de opciones de EEG de las aguas pluviales. Los techos verdes proporcionan múltiples beneficios, pero se requiere reconocer que algunos de estos son recíprocos, es decir requieren sacrificios con ventajas y desventajas que se deben considerar a la hora de seleccionar el diseño. Estas ventajas y desventajas y otras restricciones aplicables a los techos verdes son:

- Los techos verdes son diseñados con el objetivo principal de reducir el escurrimiento de las aguas pluviales, el cual requiere una cubierta de vegetación ayudada por un suelo fértil. Esto puede conducir a la lixiviación de nitratos que comprometen la calidad del agua en los escurrimientos que fluyen desde el techo. Además, las especies de plantas adecuadas para la atenuación (por ejemplo, el Sedum) reducen el potencial para el desarrollo de la biodiversidad.
- Dependiendo de las condiciones climáticas, los techos verdes pueden restringir la recolección y reutilización del agua de lluvia desde la superficie del techo, sobre todo cuando el objetivo es atenuar las aguas pluviales en suelos y plantas. Sin embargo, los diseños pueden ser elegidos de forma tal que optimicen el reuso al proporcionar tratamiento natural del agua de lluvia a través de la filtración del suelo, aunque es poco probable que estos diseños ofrezcan la mismos beneficios en biodiversidad y ornamentales.
- Para lograr la atenuación de las aguas pluviales y sea suficiente para permitir la desconexión de un sistema de drenaje mayor, los techos verdes tienen que integrarse con otras opciones de EEG, como las cuencas de infiltración y estanques.
- En comparación con los techos comunes, los techos verdes pueden tener altos costos de instalación. Sin embargo, un análisis del ciclo de vida de la tecnología suele justificar este costo a través de una mayor vida útil y la confiabilidad en comparación con los techos duros, así como el ahorro de energía y beneficios ambientales que proporcionan.



Para más información detallada sobre los techos verdes, incluyendo investigaciones realizadas por SWITCH, véase el artículo "Informe sobre el arreglo experimental del techo verde mesocosmos" (Bates et al 2006, Resource ref. D.2.3.1.1) [www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)

### Techos cafés

Los techos cafés son un tipo de techo verde que está diseñado especialmente para la conservación de la biodiversidad urbana. Aunque el potencial para la atenuación de las aguas pluviales es menor que otros diseños de techos verdes, los techos cafés, reducen la intensidad de los escurrimientos de las aguas pluviales, además de eliminar los contaminantes contenidos en la lluvia. La combinación de la gestión de las aguas pluviales y la mejora de la biodiversidad urbana, típicamente localizados en las zonas industriales abandonadas, significa que la construcción de techos cafés es ideal para los nuevos desarrollos, sobre todo en las zonas industriales regeneradas.



Techos Café en Birmingham, Reino Unido



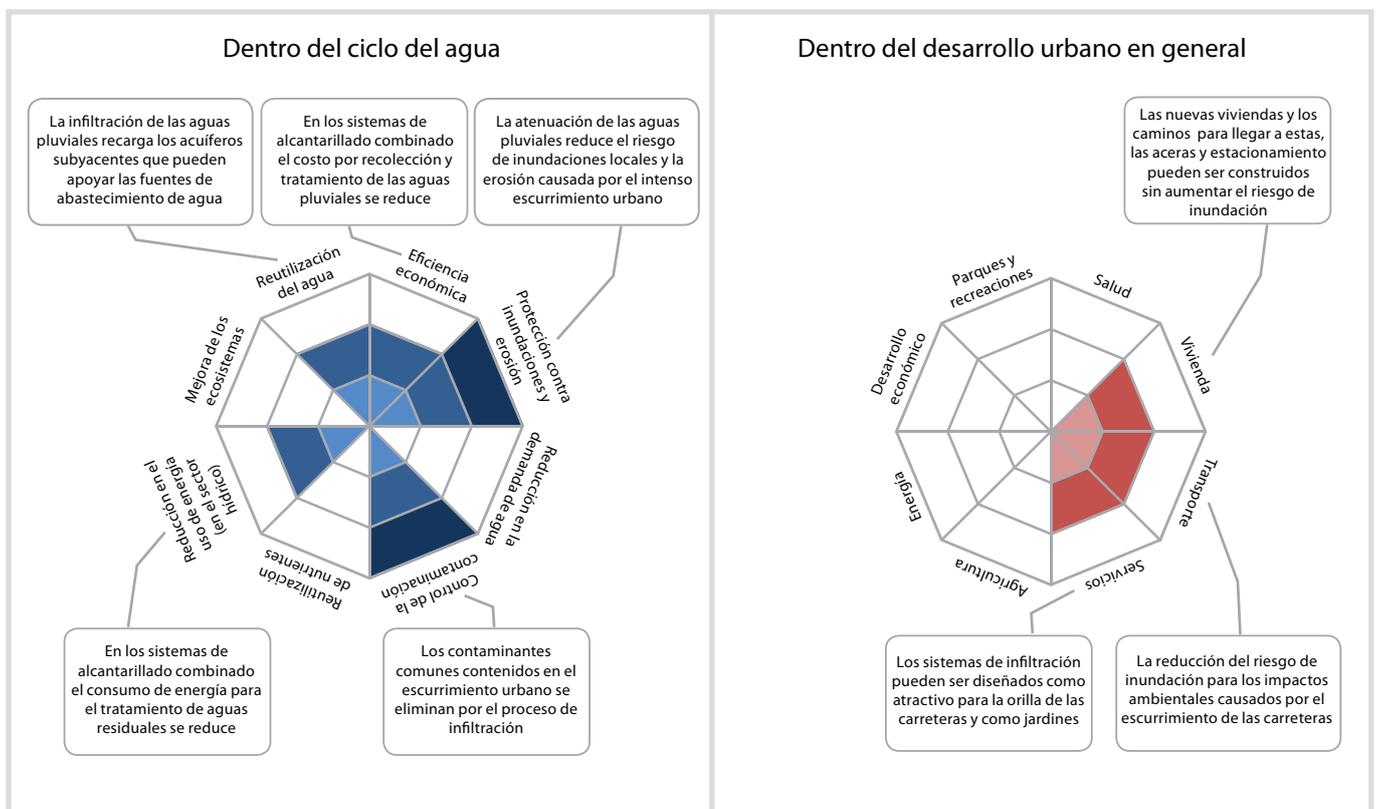
Para obtener una descripción de la investigación sobre los techos cafés en Birmingham como parte en SWITCH, véase el artículo "Proyecto techo café SWITCH, Birmingham, Reino Unido: Fundamentos y diseño experimental" (Bates et al 2007) [www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)

## Sistemas de infiltración

Los sistemas de infiltración son fosas o cuencas que recolectan las aguas pluviales para filtrarla en los suelos por medio de piedras y grava. El escurrimiento es tratado por el proceso de filtración a través de las piedras y la grava con que se rellena la fosa o cuenca y en particular los suelos subyacentes. Los sistemas de infiltración son capaces de eliminar una gran variedad de contaminantes, entre ellos casi toda la materia orgánica y sedimentos, sólidos suspendidos, metales pesados y nutrientes. A diferencia de una zanja, los sistemas de infiltración no tienen salida, así cuando están bien diseñados, ofrecen altas tasas de atenuación que filtra el escurrimiento en el suelo en lugar de ser transportado a los sistemas de drenaje o directamente enviado a los cuerpos de agua receptores.

Los sistemas de infiltración son más eficaces cuando son construidos junto con las opciones de control de la fuente, como zanjas, trampas de sedimentos o ciertos tipos de techos verdes. Este pre-tratamiento de las aguas pluviales antes de que entre en la fosa o cuenca, ayuda a prevenir la obstrucción del filtro y así reducir el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

**Figure 11:** Influencias positivas en la planeación de sitios en el ciclo urbano del agua y el desarrollo urbano. El número de segmentos seleccionados indican la medida en que el sector está influenciado por cada opción. (Nota: por causa de simplicidad de los gráficos se consideraron únicamente las influencias directas)



### Aspectos a considerar

Bajo las condiciones adecuadas, los sistemas de infiltración son muy eficaces en la eliminación de contaminantes de las aguas pluviales para recarga de aguas subterráneas. Las restricciones locales, en particular el tipo de suelo y la calidad de las aguas pluviales, sin embargo se deben considerar cuidadosamente para asegurar que la solución es adecuada y que no requiere mantenimiento excesivo. Estas restricciones incluyen:

- Los sistemas de infiltración sólo son adecuados para uso de suelo con la capacidad de infiltración adecuada. Suelos menos permeables provocan la obstrucción de los sistemas, mientras que los suelos que son demasiado porosos ofrecen un tratamiento menor, aumentando el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.
- El escurrimiento con altos niveles de contaminantes puede afectar a las aguas subterráneas, mientras que las cargas de sedimentos puede causar que el sistema se tape. Los sistemas de infiltración requieren medidas de pre-tratamiento, tales como las EEG con el control del origen y las trampas para sedimentos.
- Los sistemas de infiltración no son adecuados en las zonas con niveles freáticos altos. La profundidad del suelo debe ser suficiente para poder tratar las aguas pluviales que se infiltren y así evitar la contaminación de las aguas subterráneas.



Sistemas de Infiltración Innodrain® en Birkenstein, Alemania



Sistemas de Infiltración en Melbourne, Australia

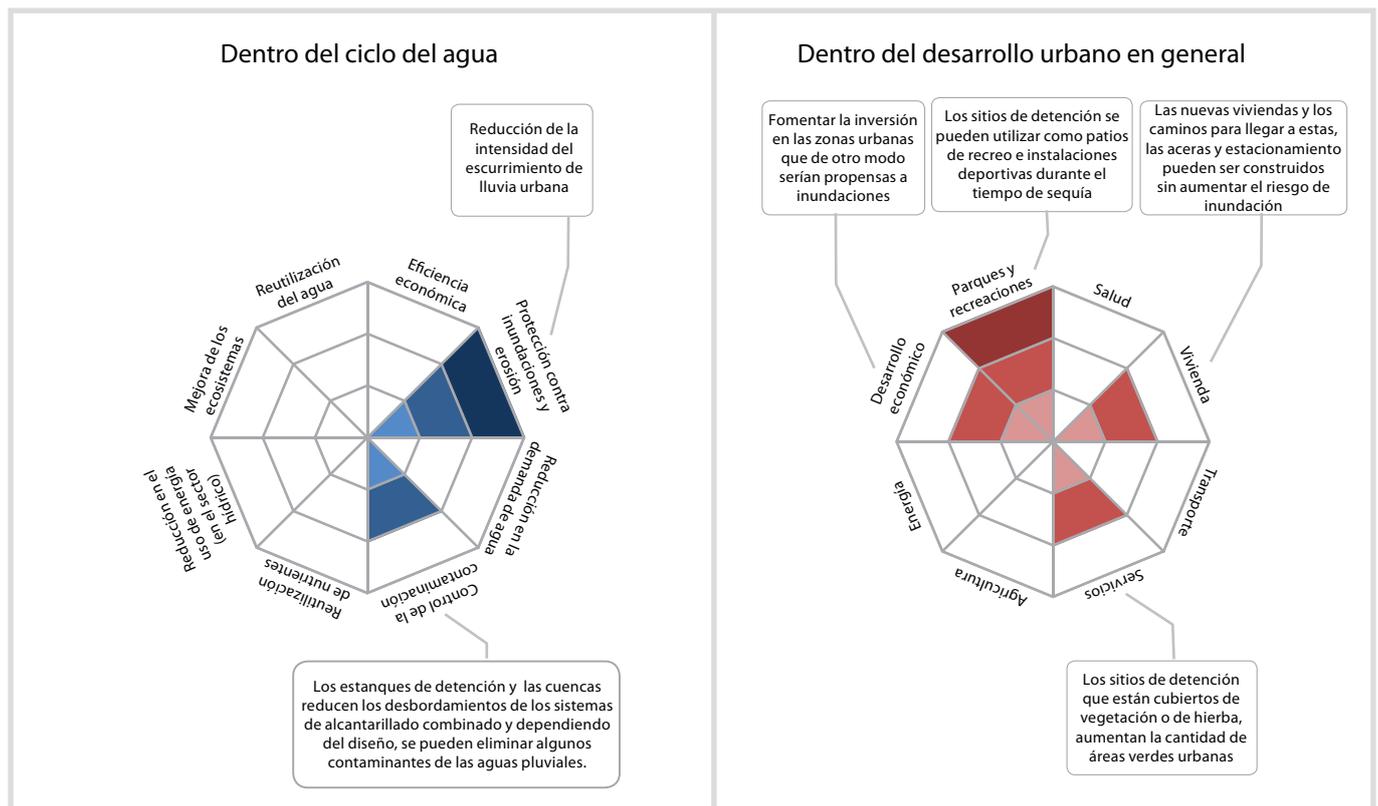
### Estanques y cuenca de detención

Los estanques y cuencas de detención están diseñados para proporcionar almacenamiento temporal durante las lluvias fuertes. A diferencia de las cuencas de infiltración y los estanques de retención, el equivalente de detención no necesariamente tiene que disminuir el volumen de aguas pluviales, sino que también tienen por objeto suavizar los flujos de alta intensidad a través de la liberación gradual del escurrimiento. Es posible el diseño de áreas con funciones múltiples, que combinan el control de las aguas pluviales con otros usos urbanos, tales como la recreación y el transporte - una ventaja que es especialmente atractiva para las áreas urbanas densas, donde la tierra disponible es escasa.

Los estanques y cuencas de detención están contruidos para recolectar el escurrimiento de grandes áreas, como los estacionamientos o centros comerciales. La salida está diseñada para controlar la liberación de agua con gran velocidad y volumen, los cuales superan la capacidad de la infraestructura de los sistemas de drenaje aguas abajo y de los sistemas naturales. Dependiendo de los materiales utilizados y el tiempo de detención, el tratamiento natural de las aguas pluviales se puede producir en los estanques o depósitos, en particular la eliminación de los sedimentos y sólidos en suspensión. Sin embargo, debido al uso del sitio para propósitos alternos, durante el tiempo de sequía, puede causar que esto deje de ser viable o deseable y el objetivo principal por lo tanto tiende a basarse en la cantidad en vez de la calidad.

Dependiendo de las circunstancias locales, las soluciones EEG adicionales de aguas pluviales que tratan e infiltran aguas pluviales están idealmente implementadas aguas arriba y abajo de las soluciones de detención.

**Figura 12:** Influencias positivas en la planeación de sitios en el ciclo urbano del agua y el desarrollo urbano. El número de segmentos seleccionados indican la medida en que el sector está influenciado por cada opción. (Nota: por causa de simplicidad de los gráficos se consideraron únicamente las influencias directas)





Las lagunas de estabilización y humedales construidos son dos soluciones, que además, pueden jugar un papel importante en la gestión de las aguas pluviales. Debido a sus beneficios adicionales para la gestión de aguas residuales, estas soluciones se han incluido en el módulo 5.

Sin embargo, la información sobre su uso en el contexto de la gestión de las aguas pluviales, se encuentra en el artículo de SWITCH "Los humedales artificiales para la reutilización del agua y la protección contra las inundaciones" (Shutes et al 2010)

[www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)

### Aspectos a considerar

Los estanques de detención y las cuencas se pueden implementar en las ciudades que son susceptibles a desbordamientos de alcantarillado combinado, la erosión e inundaciones, durante las lluvias fuertes. El diseño de la solución depende en gran medida de una amplia gama de factores locales, incluyendo las condiciones climáticas, la ubicación del sitio, su uso durante el tiempo de sequía, la protección de la infraestructura, etc. Concretamente, estas consideraciones son:

- El diseño del sitio de detención depende de los patrones de lluvias locales y la hidrología de la zona que está siendo drenada, así como las características de las aguas pluviales de entrar en un estanque o cuenca (por ejemplo, las cargas de contaminantes). El diseño también debe ser lo suficientemente resistente como para hacer frente a la incertidumbre de los patrones climáticos en un futuro.
- En las zonas urbanas densamente pobladas, es poco probable que exista el espacio disponible para la construcción de un estanque o cuenca, con el único propósito de la detención de las aguas pluviales. Esta opción es por lo tanto más factible en áreas donde hay más espacio disponibles, como por ejemplo en zonas industriales y nuevos desarrollos de vivienda. Sin embargo, en las zonas urbanas densas también es posible la implementación, siempre y cuando las soluciones combinen el control de las aguas pluviales, en función al tiempo de sequía, como en instalaciones deportivas, parques infantiles y estacionamientos.
- Los estanques de detención y las cuencas rara vez deben ser soluciones independientes, así como es probable que requieran infraestructura de apoyo para las aguas arriba y/o abajo del sitio. Dependiendo de las características de los escurrimientos que entran en el sitio, una combinación de medidas de control de la contaminación y control de velocidad, pueden ser necesarias para prevenir la sedimentación y la erosión. Del mismo modo, la descarga desde el sitio puede necesitar manejo posterior, en particular el tratamiento, antes de entrar en los cuerpos naturales de agua. Lo ideal sería que los estanques y cuencas de detención se construyan como medida de control de sitio dentro de una jerarquía en las EEG de las aguas pluviales, como se describe en la sección 7.1.



Estanque de detención en Freiburg, Alemania

## 7.3 Evaluación y selección de soluciones

Siguiendo los principios de la GIAU, la selección de soluciones para la gestión de las aguas pluviales, debe basarse en los objetivos acordados, indicadores y metas, junto con la necesidad de tener en cuenta todos los aspectos de la sustentabilidad. La evaluación de las posibles soluciones, por lo tanto, debe tratar de identificar aquellas soluciones que puedan conseguir los objetivos específicos sin comprometer el desarrollo sustentable de la ciudad en el largo plazo.

A pesar de que una solución tecnológica teóricamente puede ayudar a conseguir las metas asociadas con un objetivo, esto no significa necesariamente que la solución sea sustentable en el contexto que se considera - los costos, las implicaciones sociales, los efectos secundarios no deseados y una serie de otros aspectos también deben ser evaluados.

El uso de tecnología para la captación de las aguas pluviales, parece ser una solución ideal para reducir el consumo en la red de agua, así como reducir el escurrimiento de aguas pluviales en un nuevo desarrollo urbano. Sin embargo, la evaluación de esta solución también tiene que considerar otros factores que influyen en el éxito o en el fracaso de dicha inversión. Por ejemplo, ¿existen los suficientes incentivos financieros para que los futuros propietarios sigan operando y manteniendo los sistemas en el largo plazo? Si los costos de mantenimiento son altos, los costos del agua bajos y los costos por el servicio de drenaje son fijos, la respuesta podría ser negativa.

En realidad una opción nunca será totalmente sustentable y el equilibrio entre los beneficios y los costos será siempre necesario. Las concesiones son por lo tanto, inevitables, pero lo importante es que todos los criterios de la sustentabilidad sean considerados durante el proceso de selección para asegurar que estas concesiones se puedan hacer con la confianza de que la opción elegida moverá la ciudad hacia una mayor sustentabilidad.

La evaluación de las implicaciones sociales, económicas y ambientales en el espacio y el tiempo de una posible solución no son fáciles. La evaluación completa debe probar la solidez de una opción contra una larga lista de factores relevantes. Estos incluyen escenarios climáticos futuros, los costos del ciclo de vida, el riesgo asociado, la integración con la infraestructura existente y la interacción con el medio ambiente urbano. Esto puede ser una tarea compleja y con frecuencia requerirá la ayuda de programas de modelado y de análisis comparativos detallados. Con criterios de sustentabilidad genéricos y localmente específicos, estas herramientas pueden gestionar los datos de manera que permita plantear una serie de consecuencias diferentes, escenarios y combinaciones de opciones, las cuales deben evaluarse. Más información sobre las herramientas disponibles para la selección de opciones, se proporcionan en el Módulo 6.



Un método de Análisis Multi Criterio para la selección de las soluciones de gestión sustentable del agua pluvial son descritas en el documento SWITCH "Un Método Integrado de Apoyo a la Toma de Decisiones para la Selección de Sistemas Sustentables de Drenaje Urbano (SSDU)" (Ellis et al 2011)  
[www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)



Para obtener más información acerca de una toma de decisiones integral, así como también acerca de una serie de herramientas que pueden ayudar con la selección de soluciones de gestión de las aguas pluviales, véase el módulo 6.

### Evaluación del Costo del Ciclo de Vida (ECCV)

El costo siempre va a ser un factor clave para decidir cuáles opciones se deben seleccionar. En lugar de comparar los costos de implementación, el valor económico de una opción, o grupo de opciones, sólo se puede obtener mediante un análisis completo del costo de vida del ciclo. Así como los costos de construcción, también se deben considerar los costos de operación y mantenimiento, el tiempo de vida de la opción y el período de inversión. Lo ideal sería que en las estimaciones de los gastos también se tenga cierta flexibilidad al cambio, así como los costos ambientales y sociales y los beneficios. Los resultados de una ECCV proporcionan generalmente el valor actual neto (VAN), lo que permite una fácil comparación entre todas las soluciones alternas.

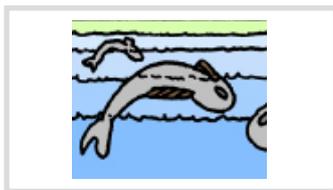


Para obtener más información incluyendo detalles de la herramienta ECCV de SWITCH, véase el módulo 6. La herramienta también está disponible para su descarga, junto con software adicional de SWITCH en:  
[www.switchurbanwater.eu/res\\_software.php](http://www.switchurbanwater.eu/res_software.php)

## 8 Recapitulando



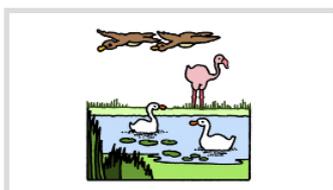
Las aguas pluviales en la ciudad suelen ser vistas como una restricción y un fastidio. La infraestructura urbana de drenaje se ha desarrollado con el objetivo de la eliminación de escurrimientos lo más rápidamente posible.



Este enfoque tiene muchas consecuencias. El aumento del riesgo de inundaciones, la erosión de los ríos, el agotamiento de los acuíferos y su contaminación, son sólo algunos de los impactos negativos de la gestión de las aguas pluviales convencionales.



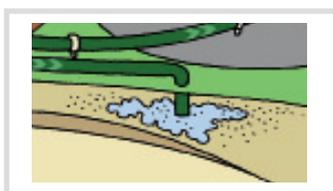
Un enfoque integral de las aguas pluviales no se debe tratar como una molestia, sino como un recurso que puede ser utilizado.



Con la atenuación, infiltración y reuso de las aguas pluviales en la ciudad, muchos de los impactos negativos se pueden superar, mientras que numerosos beneficios ambientales, económicos y sociales se hacen evidentes.



Estos beneficios incluyen áreas verdes urbanas, la disponibilidad de un suministro alternativo de agua y la regeneración de los paisajes urbanos.



Para conseguir estos beneficios, se requieren opciones innovadoras, tales como el uso de estanques y humedales para la retención de las aguas pluviales, la vegetación, los suelos para la atenuación, y los acuíferos para infiltración y reuso



Al seleccionar los objetivos de gestión de las aguas pluviales, basándose en la necesidad del ciclo urbano del agua y el desarrollo de la ciudad en general, las soluciones que provean beneficios de usos múltiples, pueden ser identificadas, generando menos probabilidades de causar efectos inesperados.

## 9 Referencias

- Bates, A., Greswell, R., Mackay, R., Donovan, R., Sadler, J. (2007) The SWITCH brown roof project, Birmingham UK; Rationale and experimental design, University of Birmingham, UK. <http://www.switchtraining.eu/switch-resources>
- Bates, A., Greswell, R., Mackay, R., Donovan, R., Sadler, J. (2006) Report on the experimental arrangement of green roof mesocosms, University of Birmingham, UK. <http://www.switchtraining.eu/switch-resources>
- Ellis, J. B., Lundy, L., Revitt, M. (2011) An Integrated Decision Support Approach to the Selection of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), Middlesex University, UK. <http://www.switchtraining.eu/switch-resources>
- Ellis, J.B., Revitt, D.M. (2010) Stormwater as a valuable resource within the urban water cycle, Middlesex University, UK. <http://www.switchtraining.eu/switch-resources>
- Ellis, J.B., Revitt, D.M., Scholes, L. (2006) Review of the adaptability and sensitivity of current stormwater control technologies to extreme environmental and socio-economic drivers – Section A: Identification of structural and non-structural stormwater management approaches from around the world, Middlesex University, UK. <http://www.switchtraining.eu/switch-resources>
- Ellis, J.B., Scholes, L., Revitt, D.M. (2009) Evaluation of decision-making processes in urban stormwater management, Middlesex University, UK. <http://www.switchtraining.eu/switch-resources>
- Ellis, J.B., Scholes, L., Revitt, D.M. (2007) Evaluation of current stormwater strategies, Middlesex University, UK. <http://www.switchtraining.eu/switch-resources>
- Ellis, J.B., Scholes, L., Revitt, D.M., Viavattene, C. (2008) Risk assessment and control approaches for stormwater flood and pollution control, Middlesex University, UK
- Ellis, J.B., Scholes, L., Shutes, B., Revitt, D.M. (2008) Developing a framework for sustainable stormwater management, Middlesex University, UK. [http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/GEN\\_PAP\\_BH\\_Session7a\\_Risk\\_assessment.pdf](http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/GEN_PAP_BH_Session7a_Risk_assessment.pdf)
- Ellis, J.B., Scholes, Shutes, B., L., Revitt, D. M. (2009) Guidelines for the preparation of an institutional map for cities identifying areas which currently lack power and/or funding with regard to stormwater management, Middlesex University, UK. <http://www.switchtraining.eu/switch-resources>
- Fletcher, T.D., Deletic, A.B., Hatt, B.E. (2004) Australian Water Conservation and Reuse Research Program: A review of stormwater sensitive urban design in Australia, Monash University, Australia. [http://www.clw.csiro.au/awcrrp/stage1files/AWCRRP\\_6\\_Final\\_28Apr2004.pdf](http://www.clw.csiro.au/awcrrp/stage1files/AWCRRP_6_Final_28Apr2004.pdf)
- Hoyer, J., Dickhaut, W., Kronawitter, L., Weber, B. (2011) Water Sensitive Urban Design – Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future, HafenCity Universität Hamburg (HCU), Germany. <http://www.switchtraining.eu/switch-resources>
- Jefferies, C., Duffy, A. (2008) SWITCH Stormwater Online, Abertay University, UK

Loftus, A. C., Howe, C., Anton, B., Philip, R., Morchain, D. (2011) Adapting urban water systems to climate change – A handbook for decision makers at the local level, ICLEI European Secretariat, Freiburg, Germany.

<http://www.switchtraining.eu/switch-resources>

North Carolina Department of Environment and Natural Resources (1998) North Carolina Stormwater Site Planning Guidance Manual, State of North Carolina, USA.

<http://www.p2pays.org/ref/26/25086.pdf>

Picouet, C., Soutter, M. (2006) Review of the adaptability and sensitivity of current stormwater control technologies to extreme environmental and socio-economic drivers – Section B: The implications of climate change on urban stormwater management: Scenario building, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, Switzerland.

<http://www.switchtraining.eu/switch-resources>

Revitt, D.M., Scholes, L., Ellis, B. (2006) Review of the adaptability and sensitivity of current stormwater control technologies to extreme environmental and socio-economic drivers – Section D: Concluding remarks, Middlesex University, UK.

<http://www.switchtraining.eu/switch-resources>

Salian, P., Anton, B. (2011) The Emscher Region - The opportunities of economic transition for leapfrogging urban water management, ICLEI European Secretariat, Freiburg, Germany. <http://www.switchtraining.eu/switch-resources>

Scholes, L., Ellis, J.B., Revitt, D.M. (2007) Drivers for future urban stormwater management (USWM), Middlesex University, UK. [http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/WP2-1\\_PAP\\_Drivers\\_for\\_future\\_USWM.pdf](http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/WP2-1_PAP_Drivers_for_future_USWM.pdf)

Scholes, L., Revitt, D. M. (2008) A design manual incorporating best practice guidelines for stormwater management options and treatment under extreme conditions – Part A: Review of design guidelines for stormwater management in selected countries, Middlesex University, UK.

<http://www.switchtraining.eu/switch-resources>

Scholes, L., Shutes, B. (2007) Catalogue of options for the reuse of stormwater, Middlesex University, UK. <http://www.switchtraining.eu/switch-resources>

Shaw, H., Reisinger, A., Larsen, H., Stumbles, C. (2005) Incorporating Climate Change into Stormwater Design – Why and How?, paper for the 4th South Pacific Conference on Stormwater And Aquatic Resource Protection (Auckland, May 2005), URS New Zealand Ltd. <http://www.mfe.govt.nz/publications/climate/stormwater-design-mar05/stormwater-design-mar05.pdf>

Shutes, B., Revitt, M., Scholes, L. (2010) Constructed wetlands for flood protection and water reuse, Middlesex University, UK.

<http://www.switchtraining.eu/switch-resources>

Shutes, B. (2008) A design manual incorporating best practice guidelines for stormwater management options and treatment under extreme conditions – Part B: The potential of BMPs to integrate with existing infrastructure (i.e. retro-fit/hybrid systems) and contribute to other sectors of the urban water cycle, Middlesex University, UK. <http://www.switchtraining.eu/switch-resources>

Sieker, H., Helm, B., Winger, J. (2006) Review of the adaptability and sensitivity of current stormwater control technologies to extreme environmental and socio-economic drivers – Section C: The impact of changes in environmental and socio-economic conditions on stormwater management technologies, Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, Germany. <http://www.switchtraining.eu/switch-resources>

Sieker, H., Bandermann, S., Becker, M., Raasch, U. (2006) Urban stormwater management demonstration projects in the Emscher Region, Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, Germany. [http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/CEMS\\_PAP\\_Urban\\_stormwater\\_management\\_demo\\_projects\\_Emscher.pdf](http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/CEMS_PAP_Urban_stormwater_management_demo_projects_Emscher.pdf)

Sieker, H., Peters, C., Sommer, H. (2008) Modelling stormwater and evaluating potential solutions, Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, Germany. [http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/GEN\\_PAP\\_BH\\_Session7a\\_Modelling\\_Stormwater.pdf](http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/GEN_PAP_BH_Session7a_Modelling_Stormwater.pdf)

El proyecto SWITCH ayuda a alcanzar una gestión más sustentable en la "Ciudad del Futuro". Un consorcio de 33 organizaciones socias de 15 países trabajaron en soluciones científicas innovativas, tecnológicas y socio económicas con la misión de fortalecer su amplio uso alrededor del mundo.

# www.switchtraining.eu

## Contacto:

ICLEI European Secretariat  
 Leopoldring 3  
 79098 Freiburg  
 Germany  
[www.iclei-europe.org](http://www.iclei-europe.org)  
 Phone: +49-761/368 92-0  
 Fax: +49-761/368 92-29  
 Email: [water@iclei.org](mailto:water@iclei.org)

ICLEI Oficina México  
 Roma 41 4º piso  
 06600 Distrito Federal  
 México  
[www.iclei.org.mx](http://www.iclei.org.mx)  
 Teléfono: +52-5536408725  
 Email: [iclei-mexico@iclei.org](mailto:iclei-mexico@iclei.org)



## Aliados:



ISBN 978-3-943107-06-7 (PDF)  
 ISBN 978-3-943107-02-9 (CD-ROM)