



**SWITCH**

# Kit de capacitación SWITCH

GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA URBANA  
EN LA CIUDAD DEL FUTURO



# Módulo 5

AGUAS RESIDUALES

Explorando las opciones





## Editorial

Producido por:	ICLEI – Local Governments for Sustainability, European Secretariat   Gino Van Begin (responsable)
Autor principal:	Ralph Philip, (ICLEI European Secretariat)
Autores que contribuyeron:	Claudia Pabon Pereira (Lettinga Associates Foundation and Wageningen University); René van Veenhuizen (ETC Foundation)
Basado en la labor de los siguientes socios del consorcio SWITCH:	Adriaan Mels, Claudia Agudelo (Wageningen University); René van Veenhuizen (ETC Foundation), Diederik Rousseau, Saroj K. Sharma, Gary Amy (UNESCO-IHE Institute for Water Education)
Editores:	Ralph Philip, Barbara Anton, Prit Salian, 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 Meléndez 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: Lic. Guillermo Gutiérrez Gómez, Jefe de Proyecto de Cooperación Internacional de la Subdirección General de Programación, 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  
EN LA CIUDAD DEL FUTURO

## Módulo 5

AGUAS RESIDUALES

Explorando las opciones

# Kit de capacitación SWITCH

## Gestión Integral del Agua Urbana en 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 5: Contenido

<b>1</b>	Introducción .....	7
<b>2</b>	Objetivos de Aprendizaje .....	8
<b>3</b>	La necesidad de un tratamiento sustentable de aguas residuales .....	9
	3.1 Enfoque convencional del tratamiento de aguas residuales .....	11
	3.2 Los problemas que enfrenta un enfoque convencional del tratamiento de aguas residuales .....	12
	3.3 Un enfoque más sustentable al tratamiento de aguas residuales .....	15
<b>4</b>	Aguas residuales en la ciudad .....	18
	4.1 Vínculos con el ciclo de agua urbana .....	18
	4.2 Vínculos entre la gestión de aguas residuales y otros sectores de la gestión urbana .....	19
	4.3 Gestión de aguas residuales y la agricultura urbana .....	20
	4.4 Tratamiento de aguas residuales y el medio natural .....	22
<b>5</b>	La gestión general: Gestión de aguas residuales y la sustentabilidad .....	24
	5.1 Gestión sustentable de las aguas residuales .....	24
	5.2 Los objetivos, indicadores y metas para la gestión de las aguas residuales urbanas .....	27
<b>6</b>	Aplicación de la gestión sustentable de aguas residuales .....	28
	6.1 Implementación de un tratamiento de aguas residuales más sustentable .....	29
	6.2 Obstáculos para el saneamiento sustentable .....	30
<b>7</b>	Opciones para una gestión sustentable del agua residual .....	33
	7.1 Opciones para la aplicación de una gestión más sustentable de las aguas residuales .....	35
	7.2 Selección de opciones .....	51
<b>8</b>	Recapitulando .....	53
<b>9</b>	Referencias .....	54

# 1 Introducción

El tratamiento de aguas residuales en las ciudades de todo el mundo tiende a seguir, o al menos busca seguir un enfoque estándar. Este enfoque, complejo en los requisitos tecnológicos, se basa en el simple concepto de que las aguas residuales son producto de desechos que deben ser eliminados del medio ambiente urbano de forma segura y lo más eficientemente posible.

El Módulo 5 desafía este concepto mediante el análisis de un enfoque alternativo del tratamiento de las aguas residuales urbanas, en donde las tecnologías descentralizadas y los sistemas naturales se utilizan para reciclar las aguas residuales, y utilizar los nutrientes y la energía que contienen. Esta alternativa se basa en el reconocimiento de que la gestión de aguas residuales está estrechamente vinculada con el resto del ciclo urbano del agua, así como muchos otros sectores de la gestión urbana. Este Módulo muestra cómo un enfoque integral puede ser más sustentable que el tratamiento convencional de agua residual e introduce una serie de opciones que están disponibles para implementar un cambio significativo en esta dirección.

El mensaje principal del módulo 5 es que mediante el fomento de una gestión urbana de las aguas residuales más integral, además de la promoción del reciclaje de recursos, una ciudad tiene mucho que ganar; una serie de beneficios que conducen a un desarrollo urbano más sustentable. No sólo se puede aumentar la eficiencia de las operaciones de las aguas residuales, el abastecimiento de agua y el drenaje, sino también mejorar otros aspectos de la gestión urbana, tales como el crecimiento económico, protección del medio ambiente, seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático.

El módulo 5 está estrechamente relacionado con los Módulos 3 y 4, que cubren un enfoque similar con respecto a la gestión del ciclo del agua, desde la perspectiva del abastecimiento de agua y drenaje urbano, respectivamente.



## 2 Objetivos del módulo

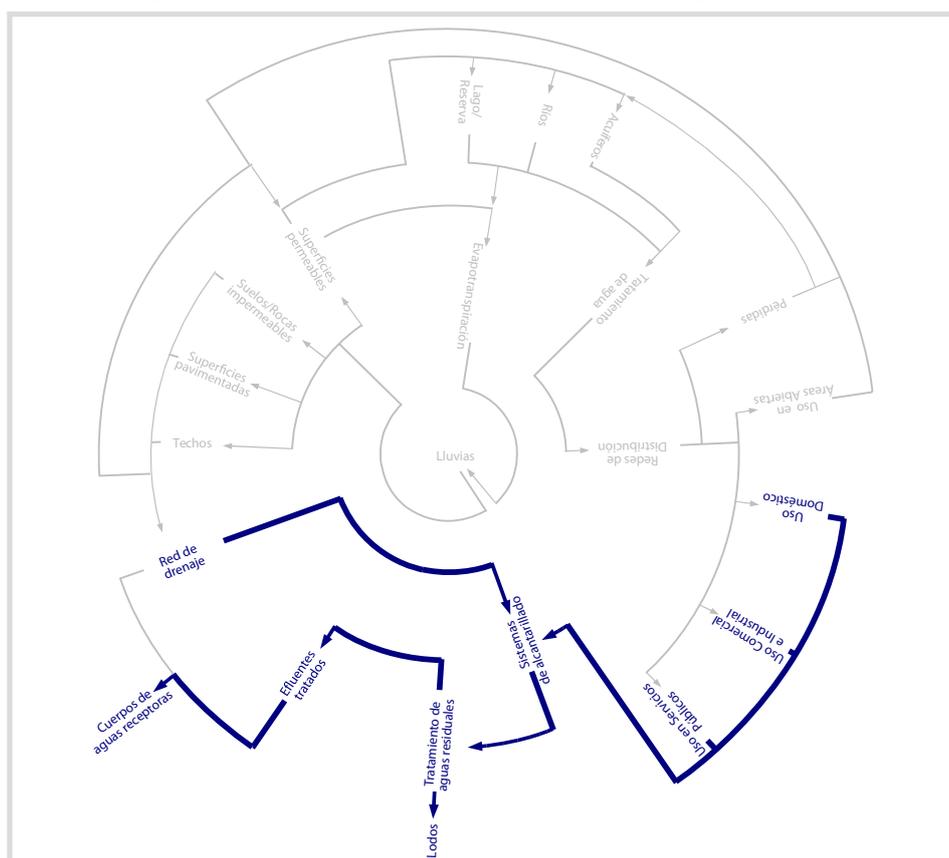
El Módulo 5 presenta una visión general de la gestión de aguas residuales y cómo ésta influye y es influenciada por el ciclo urbano del agua y el desarrollo urbano en su conjunto. Su objetivo es mostrar al usuario las limitaciones asociadas con el enfoque convencional del saneamiento urbano y enseñar cómo un enfoque integral, y la selección de soluciones alternativas, no sólo pueden superar éstas sino que también proporcionan beneficios adicionales. El módulo 5, puede ser útil para todas las ciudades, independientemente de su situación sanitaria.

De manera específica, el módulo ayudará a los usuarios a obtener una mejor comprensión de:

- lo que constituye un enfoque más sustentable de la gestión de aguas residuales y cómo se diferencia de un enfoque convencional;
- los beneficios directos e indirectos que una ciudad puede obtener mediante la gestión de las aguas residuales como un recurso más y no simplemente como un producto de desecho; y
- las soluciones que están disponibles para poner en práctica un enfoque más sustentable de la gestión de aguas residuales, incluyendo el uso de los sistemas naturales.

Cabe señalar que el propósito del módulo no es proporcionar al usuario los detalles técnicos necesarios para seleccionar, diseñar y construir soluciones para el tratamiento de las aguas residuales más adecuadas para cada situación local. Más bien, 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 estos recursos en el módulo pueden ser localizados fácilmente a través de mecanismos de búsqueda en Internet.

Figura 1: Agua residual dentro del ciclo urbano del agua



## 3 La necesidad de un tratamiento sustentable de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales es a menudo el componente más complejo en el ciclo urbano del agua. Cuando los sistemas están bien diseñados y con un buen mantenimiento, las aguas residuales de una ciudad son recogidas, tratadas y eliminadas sin afectar la calidad de vida urbana. Sin embargo, cuando los sistemas son inadecuados o inexistentes, la contaminación resultante conduce a enfermedades y a la degradación del medio ambiente.

A pesar de su importancia en nuestras ciudades, para la mayoría de las poblaciones, el tratamiento de aguas residuales urbanas, en particular el aspecto de los desechos humanos, es un tema desagradable, un tabú cultural y un tema que se prefiere evitar. Mientras exista un sistema que permita a los usuarios descargar agua del inodoro, bañarse y lavar los platos sin tener que pensar en lo que suceda después, seguramente no habrá muchas quejas. Sin embargo, mirando debajo de la superficie, existen requerimientos elementales en la gestión de los grandes flujos de agua residual que aseguren:

- La eliminación de posibles enfermedades humanas y contaminación.
- Que los daños al medio ambiente natural sean reducidos al mínimo.

La gestión de las aguas residuales urbanas implica la recolección, transporte, tratamiento y reutilización o eliminación de diferentes flujos dependiendo de sus características, en cuanto a su composición, tratamiento y/o disposición. Estos incluyen:

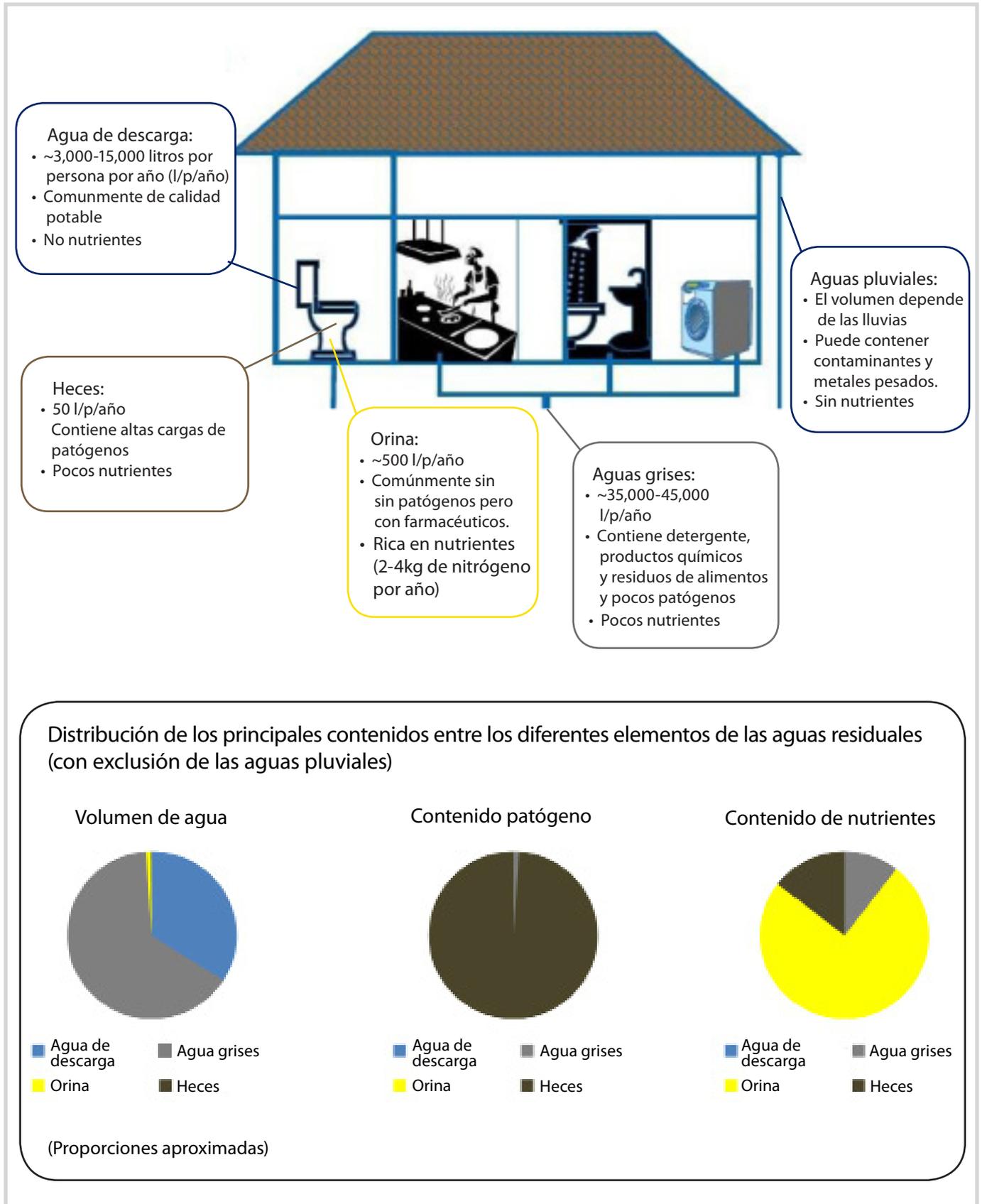
- Heces: (semi-sólido) excremento sin orina y/o agua.
- Orina: Desecho líquido producido por el cuerpo humano para desechar sustancias que ya no necesita.
- Agua de descarga: Agua que se utiliza para el transporte de excremento de los muebles de baño al lugar de recolección de aguas residuales.
- Aguas negras: La mezcla de orina, heces y agua de descarga.
- Aguas grises: Agua generada al lavar los alimentos, ropa, utensilios de cocina, así como también el agua de descarga del baño.
- Aguas pluviales: Término general para referirse al escurrimiento de las lluvias recogidas de los techos, carreteras y otras superficies antes de fluir hacia las tierras.

(Fuente: Tilley, E. et al, 2008)

Cada uno de estos elementos se compone de diferentes volúmenes de agua, cargas contaminantes y contenido de nutrientes. El desafío que enfrentan las ciudades es la gestión de los diferentes elementos de una manera económicamente viable, con un impacto mínimo sobre la salud humana y el medio natural.

La figura 2. Muestra lo que debe ser gestionado en un hogar residencial ordinario y cómo los distintos elementos varían en volumen y contenido.

Figura 2: Aguas residuales domésticas (fuente: Universidad de Wageningen)



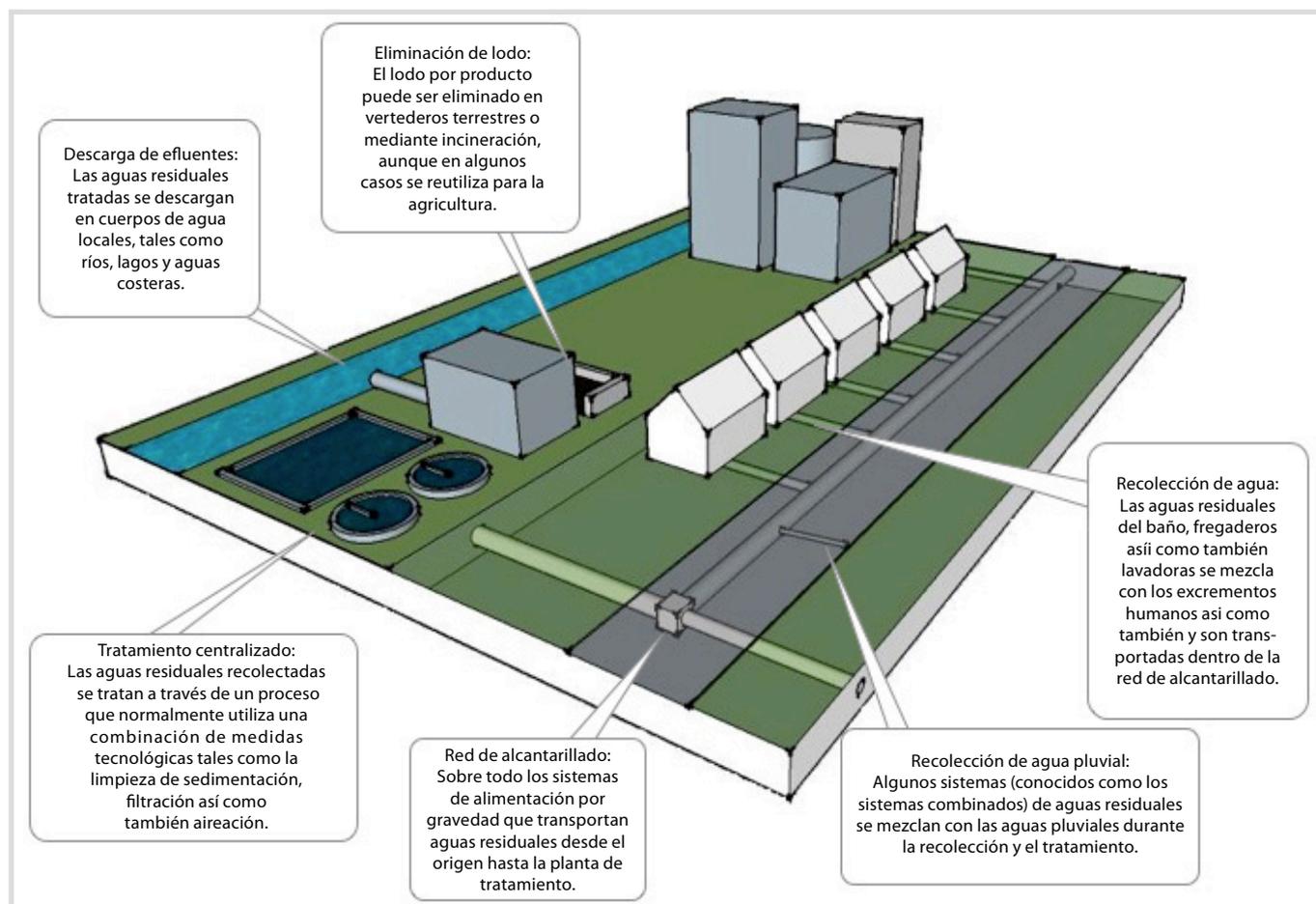
### 3.1 Enfoque convencional del tratamiento de aguas residuales

El enfoque convencional del tratamiento de aguas residuales urbanas se basa en un sistema centralizado que recoge y trata un flujo combinando de los elementos de las aguas residuales descritos en la figura 2.

Este enfoque se remonta a la época romana, pero se desarrolló en su forma actual durante la revolución industrial conforme las ciudades fueron creciendo en tamaño, población y densidad. El incremento de volumen de desechos humanos no tratados afecta gravemente la salud de los habitantes, dando como resultado la aparición de enfermedades como el cólera. Para superar el problema, fue necesaria la implementación de inodoros de agua, así como la construcción de redes de tuberías de alcantarillado e instalaciones de tratamiento centralizadas, lo cual resultó ser una solución eficaz para prevenir la propagación de enfermedades a través del contacto humano con aguas residuales en las ciudades.

Más de 150 años después, este concepto sigue siendo el más común y el método más demandado en la gestión de aguas residuales en todo el mundo. Como se muestra en la Figura 3, el sistema utiliza una red de tuberías de alcantarillado para recoger las aguas residuales de los hogares individuales, negocios, industrias y, en algunos casos, el escurrimiento de las lluvias. Los tubos llevan los diferentes flujos a las instalaciones de tratamiento, donde los efluentes combinados son tratados y posteriormente descargados a cuerpos de agua.

Figura 3: Gestión convencional de las aguas residuales.



## 3.2 Los problemas que enfrenta el enfoque convencional del tratamiento de aguas residuales

La noción percibida de que el éxito de la gestión de las aguas residuales depende de un conjunto centralizado y de un sistema de tratamiento, no es necesariamente cierta. Aun cuando el sistema esté bien diseñado y con el mantenimiento apropiado, proteja la salud pública y tenga pocas consecuencias ambientales, no significa que todos los contextos urbanos sean compatibles con estos diseños convencionales, e incluso los que llegan a ser compatibles, es posible bajo una serie de limitaciones que pongan en duda la sustentabilidad a largo plazo.

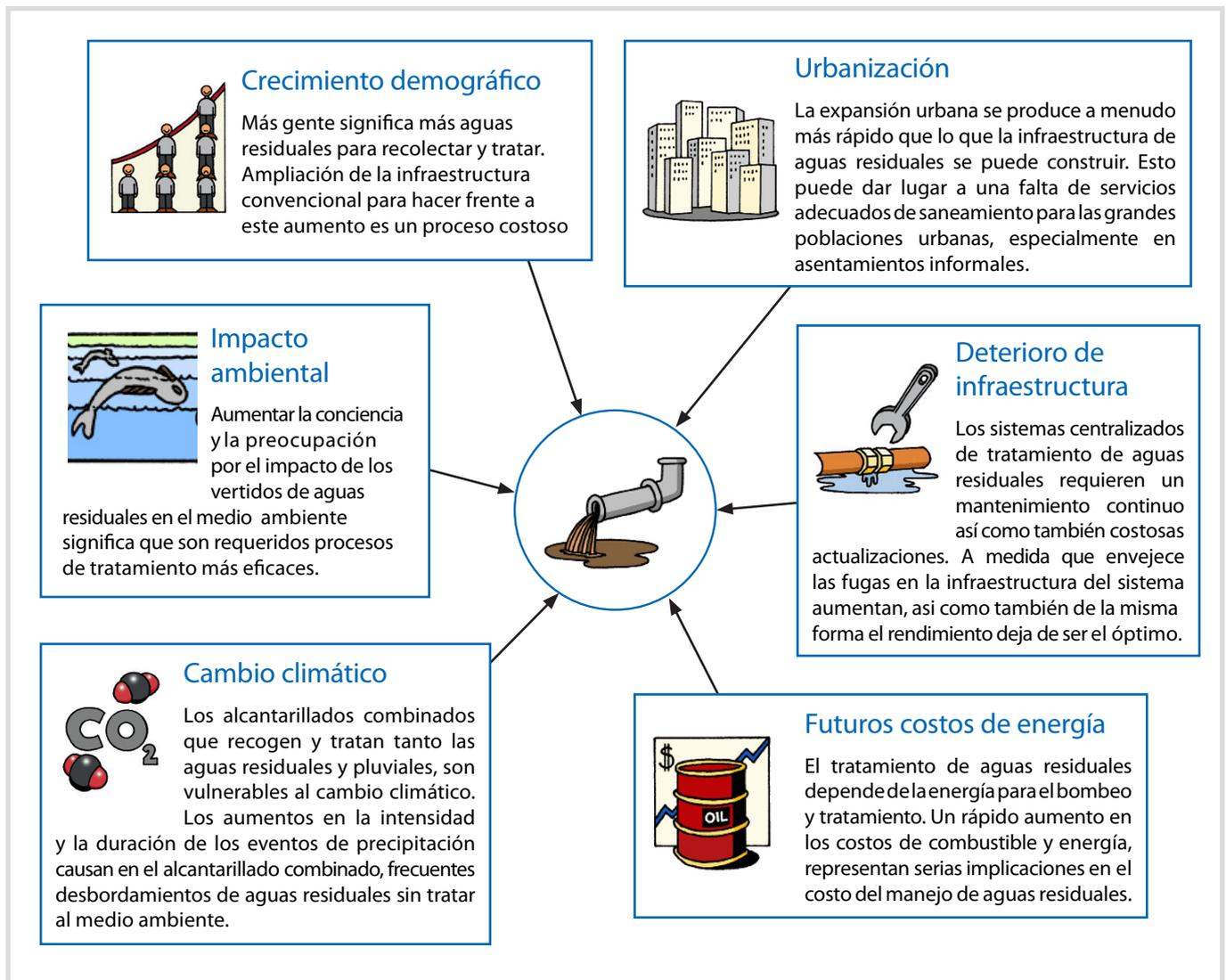
Algunos de los problemas que enfrenta actualmente el tratamiento de las aguas residuales urbanas convencionales son los siguientes:

- **La dilución de los flujos:** Mediante la combinación de todas las corrientes de aguas residuales, son necesarias las técnicas de tratamiento para diluir grandes volúmenes de aguas residuales, obteniendo como resultado un tratamiento ineficiente.
- **Alto uso de agua:** Los sistemas convencionales requieren un suministro fiable de agua para poder operar (descarga de inodoros y transporte de residuos). El consumo de agua en los hogares, normalmente representan alrededor de una tercera parte del agua tratada en los sistemas de agua.
- **Riesgo de contaminación:** Cuando funciona mal o al combinar con aguas pluviales, las redes de transporte de aguas residuales pueden tener fugas o derrames de aguas residuales sin tratar, que se dispersan en el medio ambiente.
- **Costos:** Los costos de construcción, operación y mantenimiento de alcantarillado centralizado, así como la infraestructura de tratamiento son muy altos.
- **Alta demanda de energía:** El tratamiento centralizado de aguas residuales convencional consume mucha energía y por lo tanto requiere de un suministro de energía confiable para funcionar de manera óptima.
- **Pérdida de un recurso valioso:** Los sistemas centralizados no explotan el valioso recurso presente en el excremento humano y las aguas grises, por sus nutrientes y energía que contiene, así como por los diversos usos del agua no potable.
- **Sobrecarga de nutrientes:** Los vertidos de las plantas de tratamiento contienen altos niveles de nutrientes. Estos ayudan al aumento del florecimiento de algas y el agotamiento de oxígeno en los cuerpos de agua receptores.
- **Inflexibilidad:** Las grandes plantas de tratamiento de aguas residuales tienen una capacidad limitada en función del volumen previsto de las aguas residuales y, en combinación con otros sistemas, se puede pronosticar las tasas del escurrimiento de aguas pluviales. Estos sistemas pueden no adaptarse fácilmente si las especificaciones de diseño han demostrado ser demasiado altas o demasiado bajas, debido al crecimiento demográfico, la migración o cambio en los patrones climáticos.
- **Inapropiado para las condiciones locales:** La tecnología y la infraestructura procuran que la misma solución sea para "cualquier situación", lo cual no siempre puede ser adecuado para las necesidades de los diferentes contextos.

La gestión tradicional de aguas residuales es una solución rígida y esta falta de flexibilidad significa que es vulnerable cuando se enfrentan a la incertidumbre en el futuro. En las ciudades donde los sistemas de saneamiento son inexistentes o mal diseñados y/o sin el mantenimiento apropiado, la capacidad de mantenerse al día con los problemas crecientes, tales como la rápida urbanización y crecimiento de la población es, obviamente, un gran desafío. Pero incluso en las ciudades donde los sistemas centralizados más eficaces han estado en vigor durante décadas, los retos del futuro aumentan las dudas sobre un enfoque de gestión de aguas residuales que ha sido constantemente cuestionado.

La figura 4 muestra algunos de los problemas que el tratamiento de aguas residuales en la ciudad, enfrentarán en el futuro.

Figura 4: Ejemplos de los futuros problemas que enfrentará el tratamiento urbano de aguas residuales.



## La Directiva Europea del Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas

Aprobada en 1991, la Directiva Europea del Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas (91/271/CEE) abordó la necesidad de proteger las aguas subterráneas de Europa, los ríos, lagos así como también mares, de los impactos de las aguas residuales, tratadas inadecuadamente. La Directiva requirió que todas las aguas residuales generadas en las zonas con una población superior a 2000 habitantes o equivalente, recibieran al menos un tratamiento secundario.



Planta de tratamiento de agua residual en Gotemburgo, Suecia

Además, las ciudades identificadas como vulnerables o “sensibles”, tuvieron que asumir compromisos de tratamiento más riguroso. La Directiva está estrechamente relacionada con la Directiva del Agua (2000/60/CE) que obliga a que todas las aguas en la Unión Europea alcancen buen estado ecológico para el 2015.

A pesar de haber sido introducida hace casi 20 años, la Directiva sigue teniendo un importante reto con las ciudades en toda Europa. En particular, con las grandes ciudades situadas en áreas “sensibles” las cuales siguen un problema importante ya que el 50% de la carga de éstas todavía se vierten sin tratamiento adecuado (5º Resumen de la Comisión sobre la implementación de una directiva sobre el tratado de las aguas residuales).

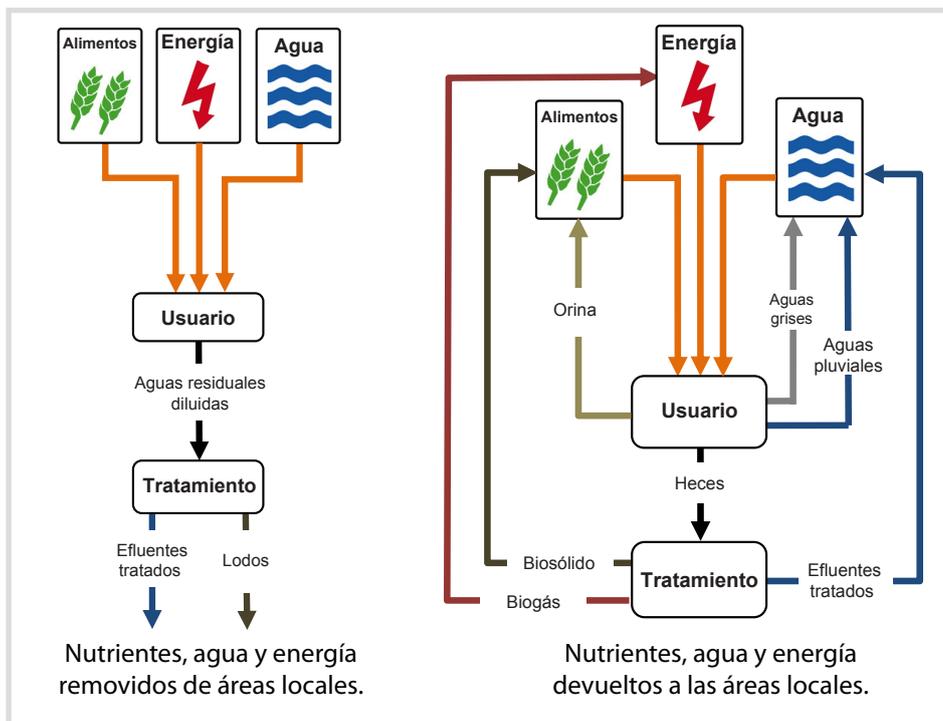
Más información sobre la Directiva del Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas se puede encontrar en: [http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/index\\_en.html](http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/index_en.html)

### 3.3 Un enfoque más sustentable al tratamiento de aguas residuales

Un enfoque alternativo no ve las aguas residuales como un problema que debe ser eliminado, sino más bien como una posibilidad de recursos que, cuando se gestionan correctamente, pueden ser reutilizados.

Como se muestra en la Figura 4, una gestión convencional de las aguas residuales puede ser considerada como un proceso lineal con entradas (Flujos combinados) en un extremo y salidas (vertidos aguas abajo de los efluentes y la eliminación de los lodos tratados) en el otro. Un enfoque integrado que se basa en los procesos cíclicos observados en la naturaleza que por otro lado fomenta la recolección selectiva, tratamiento y reúso de la orina, heces, aguas grises y pluviales. Este enfoque se considera más sustentable a como las soluciones pueden aplicarse para mejorar los resultados del tratamiento a un menor costo y permitir que los recursos sean reciclados de manera más eficiente. Figura 4 Ciclo lineal frente a cíclico de la gestión del agua residual.

Figura 5: Tratamiento lineal de aguas residuales contra cíclico



Las principales diferencias entre un enfoque convencional y uno integral son:

- Combinación contra separación;
- Colección y tratamiento centralizado y descentralizado;
- Eliminación y reúso.

Estas diferencias se describen a detalle en la Tabla 1.

**Tabla 1: Principales diferencias entre un enfoque convencional de la gestión de aguas residuales y un enfoque integrado**

Aspectos del tratamiento de aguas residuales	Enfoque convencional (gestión de aguas residuales como un proceso lineal)	Enfoque integral (gestión de aguas residuales como un proceso cíclico)
Recolección	Las heces, orina, aguas grises y pluviales se combinan y se trasladan a través de una red de alcantarillado a una planta central de tratamiento.	Las heces, orina, aguas grises y pluviales se recogen por separado y son tratados cerca de su lugar de origen.
Tratamiento	El tratamiento centralizado de las aguas residuales basadas en la energía, los químicos y la tecnología.	El tratamiento descentralizado de los elementos separados de las aguas residuales se basa en tecnologías innovadoras y sistemas naturales.
Aguas Residuales Tratadas	Las aguas residuales tratadas se descargan en cuerpos de agua receptores, tales como ríos, lagos y estuarios.	Las aguas residuales tratadas se reutilizan a nivel local para el suministro de agua no potable.
Nutrientes	Los nutrientes son eliminados en el medio ambiente a través de la descarga de aguas residuales y lodos.	Los nutrientes son reciclados y reutilizados a nivel local a través del reciclaje de la orina y la creación de los biosólidos de lodos fecales.
Lodos	El lodo es desechado en vertederos o es incinerado.	El lodo es digerido para crear biogás y se convierte en biosólido para su uso como fertilizante y acondicionador del suelo.
Consumo de energía	Grandes cantidades de energía se utilizan para el tratamiento y bombeo.	Bajo consumo de energía a través del uso de procesos de tratamiento natural.

Al funcionar como está previsto, el enfoque convencional de la gestión de aguas residuales previene enfermedades y la contaminación ambiental – es el objetivo más importante de cualquier sistema. Sin embargo, destaca por encima de este enfoque el hecho de no aprovechar las muchas oportunidades que existen cuando las aguas residuales se consideran como algo más que un producto de desecho que se debe disponer de la manera más eficiente posible.

Con la adopción de un enfoque de gestión de aguas residuales que se basa en soluciones descentralizadas para la separación y la reutilización, así como el objetivo clave del control de la salud y la contaminación, se consiguen, así como los beneficios adicionales:

- **Mayor acceso a servicios de saneamiento:** Los sistemas descentralizados pueden proporcionar saneamiento a bajo costo al nivel de los hogares y las comunidades en las zonas donde la falta de fondos y la logística pueden impedir el suministro de infraestructura centralizada.
- **Ahorro de agua:** El reciclaje de aguas grises, aguas pluviales y aguas negras tratadas (agua que contiene orina y heces) para el riego y otros usos no potables reduce la demanda de la red de abastecimiento de agua. Además, el agua residual tratada se puede utilizar para recargar los acuíferos en períodos secos.
- **Flexibilidad para cambiar:** El crecimiento urbano desafía la capacidad de diseño del alcantarillado y de las plantas de tratamiento centralizadas. Los sistemas descentralizados

previenen la sobrecarga de la infraestructura mediante la separación de aguas grises y pluviales y la gestión de los residuos humanos a nivel de hogar y comunidad.

- **Reciclaje de nutrientes para plantas:** La orina y los biosólidos de las heces pueden ser una fuente barata de fertilizante y acondicionador de suelos para la agricultura y zonas verdes urbanas, además de ser ambientalmente amigable. La extracción y reutilización de nitrógeno y fósforo también evita la sobrecarga de nutrientes en los cuerpos de agua locales.
- **Ahorro financiero:** Los costos de construcción y operación de muchas opciones de manejo de aguas residuales descentralizadas son bajos en comparación con los sistemas centralizados. Se logran ahorros de energía y costos en los químicos y los ingresos adicionales se pueden obtener a través de la reutilización de aguas residuales y los nutrientes y la energía que contiene.
- **Creación de empleos:** La recuperación de recursos y la reutilización crean nuevos empleos y puede estimular la inversión privada (micro) empresas.
- **Recuperación energética:** Las aguas negras se pueden usar para crear biogás. Este puede ser como una fuente de energía renovable y barata para generar electricidad, cocinar y como combustible eficiente.
- **Tratamiento eficiente:** La separación de los flujos de aguas residuales y confinamiento de contaminantes específicos permite que el costo y las técnicas de tratamiento sean lo más eficaz posible para que su implementación sea viable. Los patógenos, metales pesados y micro contaminantes, así como los productos farmacéuticos pueden ser aislados y eliminados más fácilmente que en flujos combinados.
- **Biodiversidad Urbana y su incentivo:** La construcción de humedales y otros sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales proporciona un hábitat para la biodiversidad y aumenta el área verde en una ciudad.

Los beneficios mencionados anteriormente muestran claramente que la gestión de aguas residuales está estrechamente relacionada con otras áreas del ciclo urbano del agua, así como la planificación urbana en su conjunto. En lugar de seleccionar las opciones basadas en objetivos y problemas definidos de manera restrictiva, un enfoque más sustentable puede identificar soluciones multipropósito que proporcionen beneficios urbanos dentro y fuera del sector de saneamiento. La sección 4 explora estos vínculos con mayores detalles.



Imagen: Barbara Anton

## 4 Aguas residuales en la ciudad

### 4.1 Vínculos con el ciclo de agua urbana

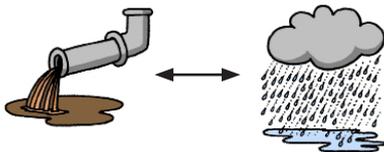
Las aguas residuales comúnmente se gestionan de manera independiente de otras áreas, como por ejemplo las aguas pluviales o el abastecimiento de agua. Dicho enfoque ignora la relación entre las aguas residuales y el ciclo de agua urbana en su conjunto, llevándonos a:

- Oportunidades desaprovechadas (ejemplo: la reutilización de aguas residuales con fines de abastecimiento de agua en los escasos medios acuáticos);
- Impactos inesperados (ejemplo: la descarga de aguas residuales tratadas con alta carga de nutrientes que contaminan una fuente de abastecimiento de agua).

Mediante la integración de la gestión del agua y sus diferentes sectores, pueden ser identificados los vínculos entre las aguas residuales y otras partes del ciclo de agua urbana. El reconocimiento de esta integración impide que las decisiones que se tomen proporcionen los beneficios necesarios en el área de tratamiento del agua urbana y no causen un gran daño en otras partes. Una mayor integración entre la gestión de las aguas residuales y el resto del ciclo de agua urbana, conduce a una toma de decisiones más sustentables para la gestión del agua urbana en su conjunto.

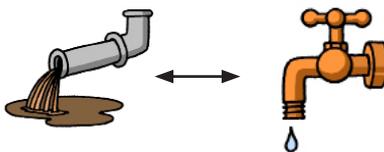
Algunos de los vínculos que pueden necesitar ser reconocidos entre las aguas residuales y otras áreas del ciclo de agua urbana se muestran en la Figura 6.

Figura 6: Ejemplos de cómo la gestión de aguas residuales está relacionada con el ciclo de agua urbana.



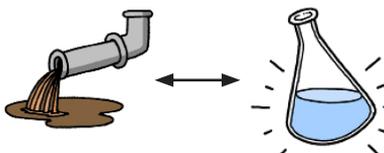
#### Gestión de aguas residuales y pluviales

En muchas ciudades la recolección de aguas pluviales está vinculada a la gestión de aguas residuales a través de sistemas de alcantarillado combinado. Las fuertes lluvias aumentan el volumen de agua necesario para ser tratada y esto puede dar lugar a desbordamientos del sistema. Esto hace que las aguas residuales sin tratar sean liberadas al medio ambiente.



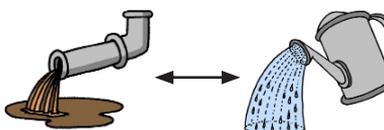
#### Aguas residuales y consumo doméstico de agua

El uso doméstico del agua está directamente relacionado con el volumen de aguas residuales a tratar. El aumento del consumo mediante la instalación de aparatos de alto uso de agua aumenta el volumen de agua residual a tratar, al tiempo que reduce las concentraciones de desechos humanos.



#### Aguas residuales y calidad del agua

Las aguas residuales tratadas y descargadas normalmente contienen altos niveles de nutrientes que aumentan la proliferación de algas en cuerpos de agua receptoras. Las descargas mal tratadas y los desbordamientos de aguas residuales sin tratar pueden causar una grave contaminación a los recursos hídricos superficiales. En muchas ocasiones esta misma agua es re-extraída aguas abajo para su uso.



#### Aguas residuales y abastecimiento de agua no potable

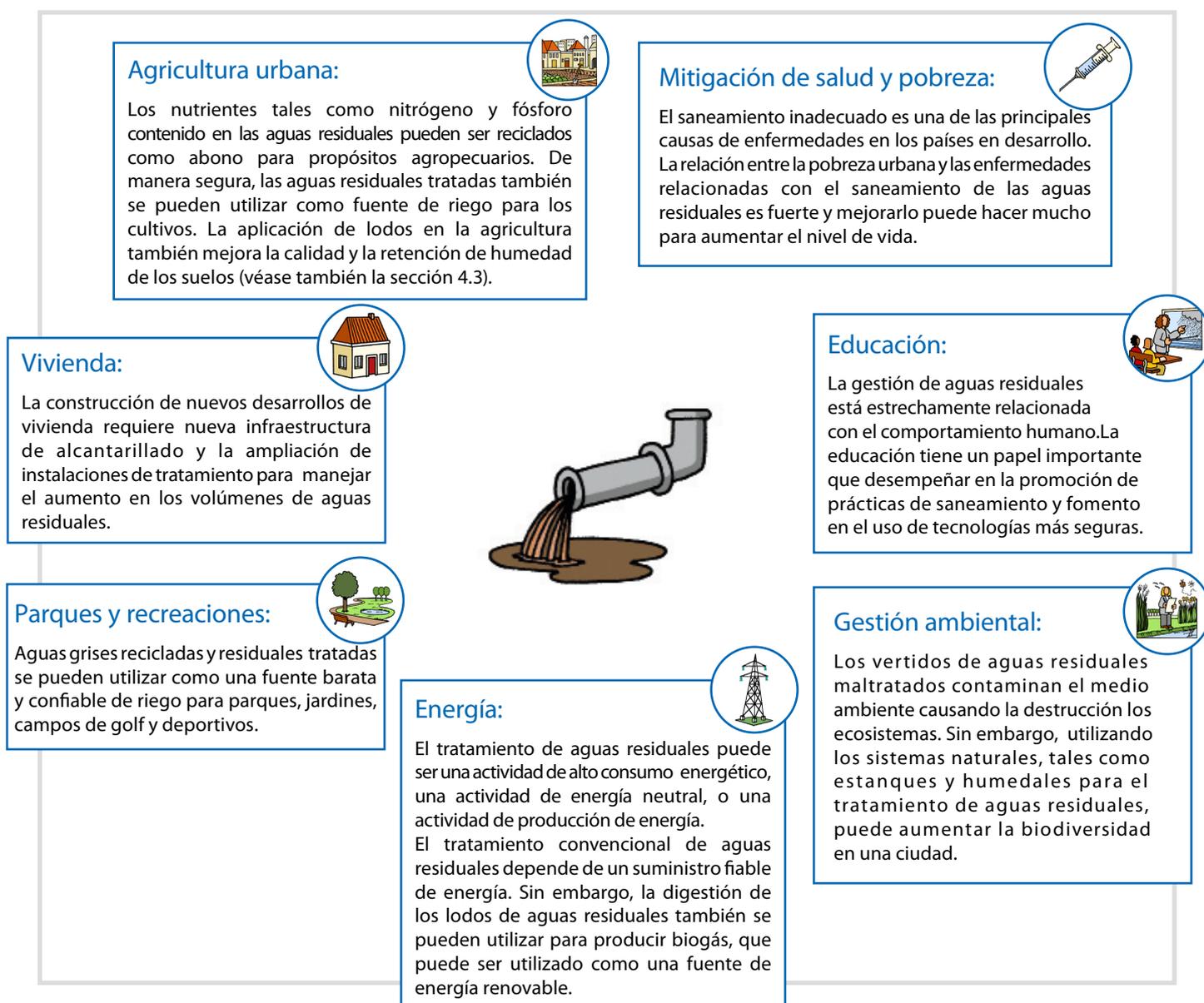
Las aguas grises, así como también las aguas residuales tratadas pueden ser reutilizadas para el riego, usos industriales, inodoro así como también para recargar los acuíferos. La reutilización de aguas residuales es particularmente valiosa en las ciudades que sufren de escasez de agua como también sequía. Los desbordamientos de aguas residuales sin tratar pueden causar una grave contaminación a la tierra y los recursos hídricos superficiales.

## 4.2 Vínculos entre la gestión de aguas residuales y otros sectores de la gestión urbana

Las aguas residuales también están estrechamente vinculadas con otras áreas del desarrollo urbano. La energía, la agricultura urbana, la vivienda, la educación y la salud son sólo algunos de los sectores que se ven influenciados, o han influido en la gestión de las aguas residuales. Al igual que con el ciclo de agua urbana, los responsables de las decisiones deben ser conscientes de estos vínculos entre las aguas residuales y otras áreas de la gestión urbana. Este conocimiento puede evitar los impactos inesperados y permitir a los planificadores aprovechar al máximo las oportunidades que estos vínculos representan. La integración entre los sectores pertinentes es necesaria, para poder tomar decisiones de manera más sustentable.

Algunos de los vínculos más importantes, tanto positivos como negativos, entre la gestión de aguas residuales y el desarrollo urbano se muestran en la Figura 7.

Figura 7: Ejemplos de cómo la gestión de aguas residuales está vinculada a otros sectores de gestión urbana



## 4.3 Gestión de aguas residuales y la agricultura urbana

La agricultura urbana es 'la práctica del cultivo de plantas y la cría de animales dentro y alrededor de las ciudades así como las actividades relacionadas con la comercialización y servicios'<sup>1</sup>. La agricultura en las ciudades es muy variada y puede consistir en jardines individuales, parcelas formales e informales y el uso de los demás espacios verdes urbanos, como parques, riberas de los ríos, techos y terrenos públicos. Los productos cultivados son muy variados y dependen en gran medida del entorno local y las demandas del mercado.

El papel de la agricultura urbana en el desarrollo urbano sustentable es cada vez más reconocido por su contribución a la mitigación de la pobreza, la seguridad alimentaria y nutricional, la generación de empleo, gestión ambiental urbana y adaptación al cambio climático. La agricultura urbana es una parte integral de los sistemas socio-económicos y ecológicos urbanos debido a su relación con:

- la provisión de los medios para subsistir;
- los recursos urbanos (tierra, agua y nutrientes);
- sistema alimentario urbano (los consumidores urbanos y productores);
- las condiciones urbanas (la influencia de las políticas, reglamentos, etc.)

La agricultura urbana, incluyendo áreas verdes urbanas, crea un mercado natural para la reutilización de aguas residuales y los nutrientes dentro de ella. Éste es particularmente el caso en que se establece la recolección de aguas residuales y sistemas descentralizados de tratamiento. La demanda de fertilizante más barato para la agricultura urbana así como agua de riego y acondicionador del suelo, crea un mercado y los incentivos para la reutilización de las aguas residuales. El valor de los nutrientes alienta la separación de la orina de las heces, el agua de lluvia se convierte en una fuente confiable de riego de los cultivos y el compostaje de heces facilita el mejoramiento del suelo orgánico. El valor económico de estos productos ayuda a redefinir las aguas residuales como un recurso más que un problema - un requisito fundamental para generar un proceso cíclico de su gestión. Además, el uso productivo del agua residual para la agricultura urbana contribuirá a reducir la demanda de suministro de agua dulce, así como para reducir el volumen de las aguas residuales vertidas.

La agricultura urbana está estrechamente integrada al ciclo de la gestión de aguas residuales y, por consiguiente, con la gestión del agua urbana en su conjunto. Sin embargo, debido a la falta de reconocimiento formal de la práctica del uso de las aguas residuales con fines productivos es a menudo mal regulado, especialmente en las ciudades de los países en desarrollo. Sin control de la recolección, transporte y reutilización de aguas residuales, los productos pueden dar lugar a riesgos para la salud, especialmente a través del contacto humano con agentes patógenos. Sin embargo, estos riesgos pueden ser superados a través de un número simple de precauciones "desde la granja al consumidor". Estos incluyen:

- Las medidas básicas de tratamiento, como el almacenamiento y la solución en el caso de la orina;
- El compostaje a alta temperatura, largo tiempo de almacenamiento y prevención de; la humedad de la orina en el caso de las heces;
- Regímenes de riego que dejan tiempo suficiente entre el riego y el consumo de productos;

<sup>1</sup> <http://www.ruaf.org/node/512>

- Utilización de equipos que protege contra la exposición humana a los patógenos;
- Tratamiento higiénico de los productos antes de su consumo;
- Educación y sensibilización
- La aceptación de la agricultura urbana como un uso formal de la tierra y la creación de políticas y regulaciones que la reconozcan como tal.



La Fundación RUAF (Centro de Recursos de Agricultura Urbana y Seguridad Alimentaria) ofrece un curso a distancia sobre la agricultura urbana, que está disponible de forma gratuita en <http://moodle.ruaf.org>

### El potencial de reutilización de aguas residuales para la agricultura urbana en Accra, Ghana

Se estima que hasta un 90 por ciento del consumo de hortalizas frescas en Accra provienen de la producción intensiva dentro y alrededor de la ciudad. Para mantener la fertilidad del suelo los agricultores a menudo usan el estiércol de aves de corral y fertilizantes químicos. Sin embargo, el alto costo de estos fertilizantes se está convirtiendo en un obstáculo para las actividades agrícolas en la ciudad, creando un mercado para fuentes alternativas de nutrientes.



Agricultura urbana en Accra, Ghana

Alrededor del 95% de la población de Accra utiliza las instalaciones de saneamiento, creando una fuente potencial de nutrientes y materia orgánica para la agricultura urbana en la ciudad. Por ejemplo, muchos baños públicos ubicados en algunas de las zonas residenciales más densamente pobladas sufren de mantenimientos inadecuados. Por lo tanto la orina se vierte directamente en los desagües de aguas pluviales que causan la contaminación en cuerpos de agua receptores. La opción de recoger y volver a usar la orina para la agricultura urbana proporciona doble ventaja para mejorar la gestión de aguas residuales y reducir el costo de la producción agrícola en la ciudad.



Para más información sobre gestión de aguas residuales en Accra vea el documento "Inventario de la demanda agrícola y el valor de la aplicación de fertilizantes ecosan en las ciudades SWITCH de demostración".  
(Ref. recursos. D.4.1.5) [www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)

## 4.4 Tratamiento de aguas residuales y el medio natural

El uso del medio natural en el tratamiento de las aguas residuales va generalmente en detrimento de la salud del ecosistema. Hay muchos ejemplos en todo el mundo en el que ha dado lugar a la utilización de los ríos y lagos como los transportadores y diluyentes de aguas residuales, destruyendo la vida acuática en ellas. Incluso con las tecnologías de tratamiento altamente sofisticadas, rara vez se quitan todos los nutrientes de las aguas residuales provocando un aumento de las floraciones de algas y la eutrofización en los cuerpos agua receptores. Otros microcontaminantes, como los disruptivos endocrinos y rastros de medicina, han comenzado a ser investigados recientemente y aún no se han considerado plenamente las normas recomendadas en el tratamiento de las aguas residuales.

Sin embargo, los sistemas naturales también se pueden utilizar para el tratamiento de las aguas residuales de una manera más sustentable. Esto requiere una redefinición de la función de la naturaleza en el proceso de gestión. En los sistemas convencionales esta función es por medio de la extracción y la dilución de las aguas residuales como se describe anteriormente. Sin embargo, un enfoque más sustentable hace uso de los sistemas naturales para propósitos de tratamiento, aprovechando su capacidad para eliminar ciertos contaminantes, tanto de forma barata como eficaz.

El tratamiento natural se basa en la capacidad de los suelos, la vegetación y la luz solar para el tratamiento de agua a través de procesos físicos, químicos y biológicos. Estas técnicas son especialmente eficaces para la eliminación de contaminantes de las aguas grises y pluviales, así como nutrientes, agentes patógenos y microcontaminantes que las técnicas estándar de tratamiento de aguas negras no pueden capturar.



Una investigación sobre el uso de los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales en un entorno urbano se puede encontrar en el documento "Aplicación de sistemas de tratamiento natural en el área de expansión futura de Cali, Colombia." (Ref. Recursos. WP5.3 CCAL)



Los beneficios de los sistemas naturales para el tratamiento de las aguas residuales son más que un método de bajo consumo de energía y tratamiento barato. Sistemas tales como los humedales, las lagunas y los carrizales, pueden ser incorporados en los parques o los paisajes de jardines, ofreciendo beneficios adicionales para el medio ambiente urbano, tales como:

- **Aumento de Biodiversidad:** La construcción de los sistemas de tratamiento natural proporcionan un hábitat urbano para la flora y la fauna.
- **Valor recreativo:** Un aumento de los espacios verdes y las aguas en la ciudad mejoran la calidad de vida de los habitantes.
- **Enfriamiento Urbano:** Un aumento en el agua y la vegetación en la ciudad reduce el efecto de isla de calor sufrida por muchas ciudades durante la temporada de calor.
- **Gestión de aguas pluviales:** Los sistemas naturales como los humedales y lagunas mitigan el escurrimiento de las aguas pluviales durante las fuertes lluvias, reduciendo el riesgo de inundaciones locales.
- **Recursos adicionales:** Las plantas, como cañas, que se utilizan para absorber los nutrientes de las aguas residuales se pueden cosechar y volver a utilizar como fuente de fertilizantes.

Más información acerca de algunas de las diferentes soluciones naturales disponibles se puede encontrar en la sección 7, así como en las secciones equivalentes en el Módulos 3 y 4.



Los sistemas naturales también proporcionan numerosos beneficios para la gestión de las aguas pluviales y tratamiento de agua. Para más información ver los Módulos 3 y 4.



## 5 La dirección general: gestión de aguas residuales y la sustentabilidad

### 5.1 Gestión sustentable de las aguas residuales

La Gestión Integral del Agua Urbana (GIAU) reconoce y aprovecha los vínculos tanto en el ciclo de agua urbana, como entre el agua y el desarrollo urbano en su conjunto. Por lo tanto, alienta a las decisiones que deben tomarse sobre una base más amplia en la evaluación de la visión y no una parte artificialmente aislada de la misma, dando lugar a una mayor sustentabilidad (véase el Módulo 1 para más detalles).



Más información sobre la sustentabilidad y el ciclo urbano del agua se puede encontrar en el Módulo 1.

El módulo 5 ha mostrado los numerosos vínculos entre las aguas residuales, el ciclo de agua urbana y el desarrollo urbano en su conjunto. Al considerar estos vínculos como no sustentables, las acciones e intervenciones se vuelven más evidentes y así permiten buscar soluciones más sustentables. Sin embargo, tomando una decisión óptima para la ciudad, se requiere un entendimiento común de lo que significa el desarrollo urbano sustentable y cómo está específicamente relacionado con la gestión de las aguas residuales.

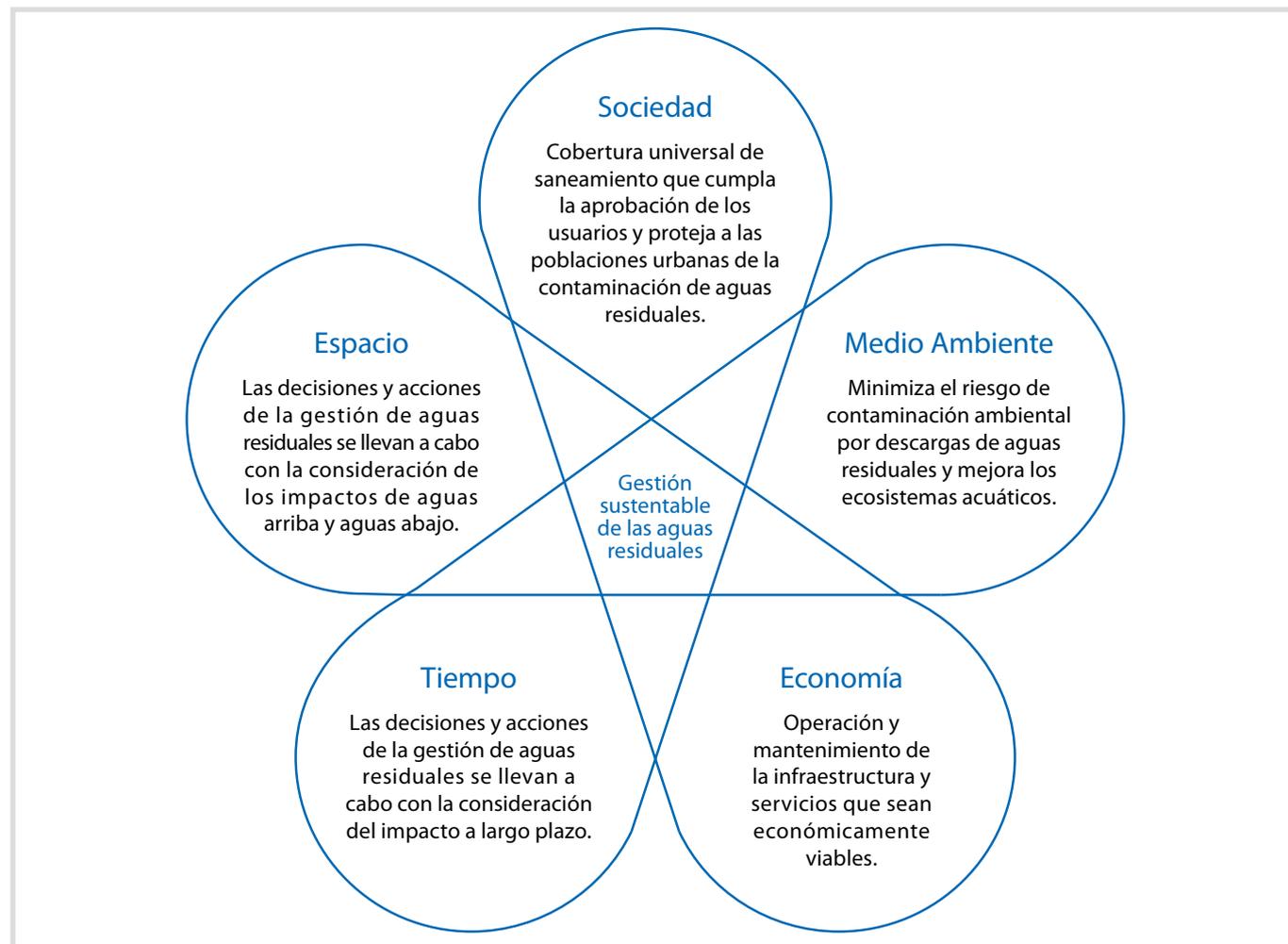
En resumen, la gestión sustentable del agua se puede definir como el conjunto de necesidades sociales, económicas y ambientales, mientras se crean condiciones que permitan que estas necesidades también se cumplan en el futuro<sup>2</sup>. La figura 8 muestra cómo estos criterios pueden aplicarse a las aguas residuales.



Imagen: Barbara Anton

<sup>2</sup> La Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo define el desarrollo sustentable como "aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (1983).

Figura 8: Gestión sustentable de las aguas residuales.



Para aumentar al máximo la sustentabilidad, las decisiones de gestión de aguas residuales deben ser tomadas con la debida consideración de cada uno de los aspectos anteriormente mencionados. La adopción de una solución que mejore la cobertura de saneamiento y proteja al medio ambiente no será sustentable si los costos de operación y mantenimiento son inaccesibles a largo plazo. Del mismo modo una solución que es económica de implementar y tiene beneficios ambientales sólo funcionará si se elige dentro de las alternativas previstas por los usuarios. En resumen, si uno de los criterios de sustentabilidad no se cumple, las posibilidades de una solución para mejorar la gestión de aguas residuales que contribuyan al desarrollo sustentable a largo plazo se reducen considerablemente.

Acordando y aplicando los criterios de la sustentabilidad en la gestión de las aguas residuales, puede ayudar a una ciudad a reflexionar sobre la dirección general de aguas residuales a la que la planificación debe apuntar.

Finalmente, cualquier evaluación de sustentabilidad tiene que estar respaldada por la participación de múltiples partes interesadas. Esto asegura que las acciones, opiniones y necesidades de todos los que tienen una influencia y son influenciados por la gestión de las aguas residuales se toman en cuenta. La participación de las empresas de servicios públicos, grupos de usuarios, la agricultura, el sector privado, las autoridades competentes, las ONG, etc., es esencial para el diseño de soluciones con las que los interesados se puedan identificar y para que los impactos directos e indirectos de las decisiones de la gestión sean realmente entendidos.



Más información sobre los grupos de interés se puede encontrar en el Módulo 2



Ver el Módulo 1 para obtener más información sobre el uso de objetivos, indicadores y metas en el contexto de un proceso de planificación estratégica.



Detalles adicionales de los diferentes tipos de indicadores y su uso está disponible en el manual SWITCH. “Aplicaciones de Indicadores de Sustentabilidad dentro del marco de la planeación estratégica para la Gestión Integral del Agua Urbana” (von der Steen 2011) [www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)

## 5.2 Los objetivos, indicadores y metas para la gestión de las aguas residuales urbanas

De acuerdo con un enfoque integral para la gestión del agua urbana, la selección de objetivos e indicadores asociados con las aguas residuales no debería ser lo ideal que se hiciera por separado sino como parte de un proceso de planificación estratégica de la GIAU en la que una visión general de la ciudad ha sido acordada y los problemas prioritarios han sido identificados, tales como saneamiento mejorado (véase el Módulo 1 para más detalles).

Teniendo en cuenta los vínculos entre las aguas residuales, el ciclo urbano del agua y otros sectores de la gestión urbana, un enfoque integral es más probable que seleccione objetivos de usos múltiples. Considerando que un enfoque convencional para la gestión de las aguas residuales tiende a tener un estrecho rango de objetivos basados en la salud humana y protección del medio ambiente, un enfoque integral es probable que conlleve no sólo a garantizar las condiciones higiénicas de vida y preservación de los ecosistemas, sino también a la reutilización de aguas residuales, el reciclaje de nutrientes, generación de biogás, la mejora de la biodiversidad, la reducción del consumo de energía, etc.

La Tabla 2 muestra algunos ejemplos de los objetivos genéricos de las aguas residuales que se han formulado considerando el desarrollo urbano más allá del sector de los servicios de aguas residuales. Los ejemplos de indicadores asociados, a través del cual se mide el progreso y las metas, actúan como una marca que debe ser alcanzada para que el objetivo se cumpla exitosamente. La última columna de la tabla muestra los diferentes sectores de gestión urbana para la cual el objetivo está diseñado para influir.

La selección y uso de objetivos, indicadores y metas se discuten con mayor detalle en el Módulo 1.



Tabla 2: Ejemplos de objetivos, indicadores y metas para el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Ejemplos de objetivos integrales de gestión de aguas residuales	Ejemplos de indicadores asociados	Ejemplos de metas asociadas	Sectoros relevantes a la gestión urbana
Eliminar la amenaza de contaminación y las enfermedades humanas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de casos de enfermedades causadas por el contacto con desechos humanos</li> <li>Coliformes fecales contenidos en la descarga de aguas residuales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cero casos de enfermedad causada por la inadecuada gestión de aguas residuales en el año X</li> <li>Cero emisiones de aguas residuales con un recuento de coliformes fecales de X por X</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Servicios de aguas residuales</li> <li>Salud</li> </ul>
Minimizar el consumo de energías no renovables en la gestión de las aguas residuales, mientras se mantienen los niveles de servicio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medición del consumo de energía no renovable utilizada en bombeo y tratamiento</li> <li>Gastos de energía por tratamiento de aguas residuales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>X% de reducción de emisiones de carbono por bombeo y tratamiento para el año X</li> <li>X% del ahorro financiero en las facturas de energía no renovables para el año X</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Servicios de aguas residuales</li> <li>Energía</li> <li>Mitigación del cambio climático</li> </ul>
Reciclar los nutrientes de las aguas residuales para su uso como fertilizante para propósitos municipales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gastos municipales en fertilizantes químicos</li> <li>Cantidad de fósforo producida por aguas residuales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>X% reducción en el gasto municipal en fertilizantes químicos en año X</li> <li>X kg de fósforo producidos al año</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Servicios de aguas residuales</li> <li>Parques y recreación</li> <li>Gestión ambiental</li> </ul>
Desconectar los flujos de aguas pluviales de la red de alcantarillado de aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Área de espacio en el techo desconectado de los sistemas de alcantarillado combinado</li> <li>Los volúmenes reales de las aguas residuales tratadas en relación con las tasas de precipitación previstas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>X% superficie del techo desconectada de la red de alcantarillado para el año X</li> <li>X% de reducción en los volúmenes de aguas residuales tratadas durante las fuertes lluvias en comparación con los acontecimientos anteriores de igual magnitud para el año X</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Servicios de aguas residuales</li> <li>Servicio de drenaje</li> <li>Vivienda</li> <li>Gestión ambiental</li> </ul>
Aumentar la eliminación de los contaminantes que dañan al medio ambiente a través del proceso de tratamiento de aguas residuales antes de su descarga al medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad esperada de contaminantes en la descarga de aguas residuales</li> <li>Cambio en el número de la población de las principales especies afectadas por los contaminantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción de contaminantes de X cantidad por unidad de tratamiento de aguas residuales en el año X</li> <li>El número X de una especie de X contados en el año X</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Servicios de aguas residuales</li> <li>Gestión ambiental</li> </ul>
Ahorros en el suministro de agua mediante la reutilización de aguas residuales para el riego de jardines municipales y campos de juego	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad de agua potable utilizada para fines de riego municipales</li> <li>Cantidad de aguas residuales descargadas sin ningún propósito de reutilización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>X% de reducción del agua potable utilizada por el riego municipales</li> <li>X% de disminución en el volumen de agua tratada con ningún propósito de reutilización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Servicios de aguas residuales</li> <li>Suministro de agua</li> <li>Parques y recreación</li> </ul>

## ⑥ Aplicación de la gestión sustentable de aguas residuales

### 6.1 Implementación de un tratamiento de aguas residuales más sustentable

La gestión práctica de las aguas residuales se puede dividir en cuatro componentes simplificados:

- Interfaz de usuario (aseos a base de agua, sanitarios secos, mingitorios, etc.);
- Recolección, almacenamiento y, en caso necesario transporte, (por ejemplo, tanques sépticos, letrinas, redes de tuberías, etc.);
- Tratamiento (por ejemplo la filtración, la aireación, la digestión, etc.); y
- Reutilización y disposición (para la extracción de nutrientes, reciclaje de aguas residuales, descarga al medio ambiente, etc.)

Cada uno de estos componentes es un vínculo en la gestión de aguas residuales en general y la intervención es probable que tenga un impacto directo en los demás. El enfoque tradicional de la gestión de aguas residuales promueve las medidas habituales para hacer frente a los problemas que surgen en cada componente individual, por ejemplo, la inversión en tecnología del tratamiento para eliminar el aumento de las concentraciones de contaminantes en los flujos de aguas residuales. Este enfoque es probable que sea menos sustentable que la que se ve en todo el ciclo del agua (y más allá) para identificar soluciones que resuelven el problema, siempre con la relación costo-beneficio más favorable para el desarrollo urbano en su conjunto, por ejemplo contaminantes en la fuente.

En términos prácticos es complicado, hacer un cambio completo de un enfoque convencional de gestión de aguas residuales a uno completamente nuevo basado en el tratamiento descentralizado y la reutilización. La mayoría de las ciudades cuentan con infraestructura de aguas residuales en un lugar determinado y no es fácil (ni necesariamente deseable) convertir el sistema centralizado de flujo mixto a uno en el que los componentes de las aguas residuales se gestionen por separado. Sin embargo existen muchas oportunidades en las zonas urbanas para iniciar la implementación de prácticas más sustentables de gestión de aguas residuales sin partir de cero. Estos incluyen, pero no se limitan a:

- **Nuevos desarrollos:** La construcción de nuevos proyectos de viviendas, complejos comerciales y polígonos industriales ofrecen la oportunidad rentable de instalar por separados los sistemas de alcantarillado y el tratamiento descentralizado e instalaciones de reutilización.
- **Gestión de lodos:** La instalación de equipos que permitan la reutilización de los lodos, subproducto de las plantas de tratamiento de aguas residuales - posiblemente en combinación con otros residuos orgánicos - en sustitución de fertilizantes químicos y como fuente de biogás.
- **Mejoras incrementales:** El fomento de pequeñas mejoras por toda la ciudad, como la modernización de los sistemas de reciclaje de aguas grises en viviendas y la construcción de sistemas de drenaje urbano sustentables para desconectar superficies de cultivos de la azoteas y de la red de alcantarillado.

- **Búsqueda de soluciones alternativas:** La exploración de alternativas, de múltiples beneficios y soluciones flexibles para hacer frente a los crecientes volúmenes de aguas residuales y más regulaciones de descarga en lugar de invertir en la expansión de la infraestructura existente.
- **Creación de Mercado:** La estimulación de oportunidades para las empresas pequeñas y microempresas en beneficio de la separación de las aguas residuales de origen, que incluye la recolección y la reutilización.

Tomando ventaja de una combinación de los puntos prácticos de entrada, tales como los enumerados anteriormente, ayuda a crear un sistema de gestión de aguas residuales que está mejor integrado con la gestión urbana en su conjunto. También se proporciona una mayor flexibilidad para aprovechar las oportunidades y hacer frente a las incertidumbres del futuro.



La Alianza de Saneamiento Sustentable (SuSanA) ha producido “saneamiento sustentable en las ciudades: un marco para la acción” el cual proporciona una descripción detallada de cómo el saneamiento urbano sustentable se puede lograr en la práctica. El documento puede ser descargado de forma gratuita desde:  
[http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/sesp/dl/sustainable\\_san.pdf](http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/sesp/dl/sustainable_san.pdf)



## 6.2 Obstáculos para el saneamiento sustentable

Las soluciones prácticas asociadas con un enfoque más sustentable a la gestión de aguas residuales a menudo no son estandarizadas. La infraestructura existente, la legislación, regulación, incentivos políticos y las actitudes sociales se establecen en la mayoría de las ciudades sobre la base de una concepción obsoleta de las aguas residuales como residuo único en lugar de un recurso multifacético. Debido a estos factores, las soluciones no estándar e innovadoras a menudo se enfrentan con restricciones en su aplicación.

Estas restricciones varían y dependen mucho de las circunstancias locales. Sin embargo, una serie de obstáculos comúnmente encontrados se puede identificar, la cual sería relevante en la mayoría de las ciudades que buscan implementar soluciones innovadoras de gestión de aguas residuales. Algunos de estos obstáculos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Ejemplos de obstáculos en una gestión de aguas residuales alternativa.

Obstáculo	Descripción	Consecuencias
Aceptación pública	En muchas culturas la reutilización de los desechos humanos, incluso cuando se trata de forma segura, es un tabú.	Los mercados no existen para los productos reciclados.
Restricciones legales	La suposición de que la reutilización de aguas residuales provoca un riesgo para la salud humana impide el desarrollo de legislación y capacidad para la regulación.	Limitaciones en el uso de las aguas residuales, evitando la reutilización de recursos.
Aspectos institucionales	Conflicto de objetivos y mala coordinación entre las autoridades cuyas responsabilidades son relevantes para la gestión de aguas residuales incluyendo su reutilización.	La falta de un marco integral a través de las opciones más sustentables puede ser identificada y aplicada.
Motivación política	Los beneficios (y la reducción de riesgo para la salud) de una buena gestión de aguas residuales no son muy conocidos por lo que no se obtiene mucho beneficio político derivado de una mejora en el servicio.	La falta de apoyo político para más opciones sustentables de tratamiento de aguas residuales.
Normas técnicas	Los ingenieros locales y los planificadores tienen ideas preconcebidas sobre las soluciones de aguas residuales basadas únicamente en la infraestructura convencional.	Alternativas, soluciones más sustentables no consideradas durante la etapa de planificación.
Tenencia de la tierra	La falta de claridad en la tenencia de la tierra en las determinadas zonas urbanas, como los asentamientos informales, evitan que se realicen inversiones en las instalaciones de saneamiento.	La incapacidad para construir la infraestructura sustentable de las aguas residuales en las zonas urbanas que pueden estar en una gran necesidad de ésta.
Riesgo percibido	Nuevos enfoques y tecnologías son percibidos con un riesgo elevado de fracaso, ya que aún no han sido probados a gran escala.	Los políticos y las instituciones financieras, no están dispuestos a invertir en soluciones no convencionales.

Así como los obstáculos de una gestión más sustentable de las aguas residuales son específicos, también lo son las medidas a través del cual estos pueden ser superados. Sin embargo, hay algunas medidas estándar que se aplican sobre todo a escala mundial, como las siguientes:

- **Compromiso de interesados:** Un enfoque más sustentable de la gestión de aguas residuales requiere la entrada de más participantes, más que un enfoque lineal convencional. Las necesidades y preocupaciones de los administradores de los servicios públicos, funcionarios de salud, urbanistas, ambientalistas, agricultores y la población local en su conjunto deben ser considerados para superar los malentendidos y poner en relieve los beneficios en juego.
- **Coordinación institucional:** Las interrupciones del servicio de aguas residuales a través de los mandatos de los gobiernos locales y las responsabilidades, especialmente cuando se administra como un ciclo. Mayor coordinación y el establecimiento de objetivos comunes entre la gestión de las aguas residuales y otros departamentos del gobierno local, tales como el suministro de agua, salud, educación, parques y la planificación urbana es necesaria para asegurar que los conflictos de interés no se presenten.
- **Proyectos de demostración:** Los profesionales y los políticos pueden dudar de la viabilidad y eficacia de las soluciones no convencionales para el tratamiento de las aguas residuales. La construcción de proyectos piloto para demostrar los beneficios y que proporcionen evidencia científica de la seguridad, ayuda a tranquilizar a los que creen que el nivel de riesgo es demasiado alto.
- **Sensibilización:** Uno de los mayores obstáculos de una gestión más sustentable de las aguas residuales es la percepción pública de éstas como un producto de desecho en lugar de un recurso. La educación pública puede cambiar esta mentalidad ya que permite dar soluciones como la reutilización de aguas residuales y recuperación de nutrientes al ser más ampliamente practicado y políticamente aceptable.
- **Creación de incentivos:** El reciclaje de las aguas residuales, los nutrientes y la energía que contiene, es un aspecto clave de una mayor sustentabilidad. Sin embargo, para hacerlo debe haber un mercado para los productos generados. Si el uso de estos recursos es económicamente competitivo con las alternativas, entonces se crea un mercado que respalde la sustentabilidad económica del sistema de gestión de aguas residuales.
- **Apoyo político:** Un cambio a gran escala en el tratamiento convencional de las aguas residuales a un enfoque más sustentable requiere un compromiso concreto del Ayuntamiento u órgano político con la autoridad equivalente. La participación de la política y la legislación promueve y permite que los enfoques alternativos para la gestión de aguas residuales, motiven a quienes toman decisiones, desarrolladores, consultores y usuarios, a centrarse en invertir en soluciones alternativas.



Para una investigación de las barreras y facilitadores del incremento del saneamiento ecológico vea la Parte 2 del reporte SWITCH "Evaluación a través del país de la adopción, funcionamiento operacional y desempeño de los sistemas urbanos ecosan dentro y fuera de la UE" (Mels et al 2009). [www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)



Véase el Módulo 2 para obtener más información sobre los grupos de interés, la coordinación institucional y el apoyo político.

## La superación de los obstáculos institucionales para la reutilización de aguas residuales en Lima, Perú

La ciudad de Lima en Perú, sufre cada vez más de la escasez de agua debido a su clima desértico y el crecimiento rápido de la población. La reutilización de aguas residuales tratadas, en particular para la agricultura urbana, es vista como una opción viable para reducir la presión sobre los recursos de la ciudad con escasez de agua. Sin embargo, los marcos jurídicos e institucionales nacionales se refieren únicamente al tratamiento y eliminación de las aguas residuales en ausencia de una regulación y orientación para la reutilización segura.



Lima, Peru

Como parte del proyecto SWITCH, Lima ha elaborado lineamientos políticos para promover el tratamiento y reutilización de aguas residuales para la agricultura urbana y peri urbana y espacios verdes. Basado en la investigación y la consulta con una amplia gama de partes interesadas, los lineamientos tratan de influir en la política nacional en la medida en que la reutilización de aguas residuales es aceptada y promovida como un recurso. En noviembre de 2010, los lineamientos fueron aprobados oficialmente por el ministro peruano de la Construcción, Vivienda y Saneamiento allanando el camino para un tratamiento más sostenible y reutilización de aguas residuales a nivel local.

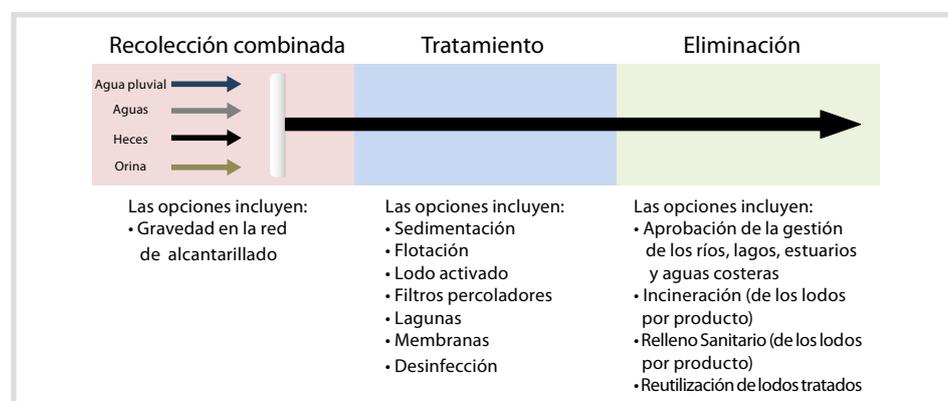


Para más información, véase Caso de estudio y la historia de la ciudad de Lima. Además, la página web ofrece una relación completa de las actividades SWITCH en Lima. <http://www.ip.es.org/au/switch/index.html> (en español)

## 7 Opciones para una gestión sustentable del agua residual

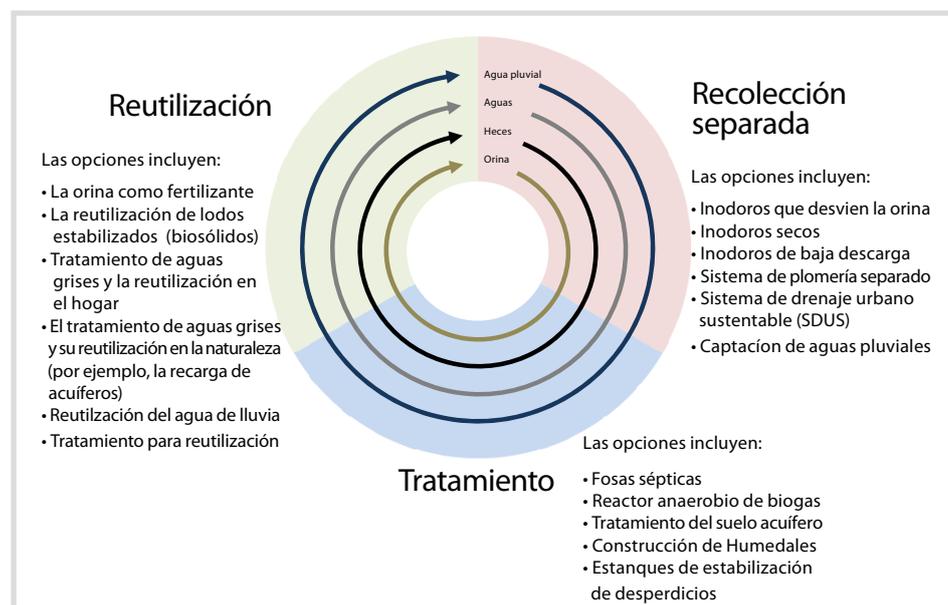
Como se describe en el módulo 3, un sistema convencional y el tratamiento centralizado de las aguas residuales se basan en los objetivos generales de la combinación de flujos de aguas residuales, el transporte a través de una red de drenaje, el tratamiento en una planta centralizada y disposición aguas abajo. Las opciones que se implementan normalmente se han seleccionado para lograr estos objetivos en particular. En la figura 9 se presentan algunos de los ejemplos.

Figura 9: Ejemplos de opciones para el manejo convencional de las aguas residuales urbanas



Un enfoque más sustentable, por otro lado, busca crear un ciclo cerrado de aguas residuales para mantener los valiosos recursos dentro del área local y evitar la dilución de los contaminantes. Las opciones alternativas de tratamiento hacen que esto sea posible.

Figura 10: Ejemplos de opciones que complementan un ciclo cerrado de aguas residuales



Ejemplos de opciones de gestión de agua residual alternativas en la práctica encontrar en la Parte 1 del reporte SWITCH “Evaluación a través del país de la adopción, funcionamiento operacional y desempeño de los sistemas urbanos ecosan dentro y fuera de la UE” (Mels et al 2009) [www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)

En algunas zonas urbanas el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales y las opciones seleccionadas serán más eficientes al servir a un gran número de personas. Esto permite economías de escala, la integración con la infraestructura existente y la producción de grandes cantidades de recursos, tales como fertilizantes y biogás. Por otro lado, las opciones descentralizadas son preferibles sobre todo cuando las redes de tuberías de recolección no son factibles o rentables y donde existe una demanda local de los recursos tales como la orina, los biosólidos y aguas grises. Independientemente de la escala, las opciones se deben seleccionar para alcanzar el objetivo general de conservar los recursos a nivel local.

### Los Farmacéuticos y la gestión de agua residual

Así como los productos del cuidado de la salud continúan desarrollando un incremento en la esperanza de vida, el consumo de farmacéuticos se sigue elevando, resultando en grandes cantidades de microcontaminantes entrando al sistema de aguas residuales. Las tecnologías usadas en la mayoría de las plantas de tratamiento no tienen la capacidad de eliminar muchos de estos compuestos lo que puede variar en sus características físicas y químicas. Consecuentemente permanecen presentes en los efluentes tratados liberados al ambiente y dentro de los lodos residuales que pueden ser usados en las tierras de agricultura. Esos incrementos en la concentración de compuestos farmacéuticos pueden estar dentro de un rango de impactos ecológicos negativos y ser una potencial amenaza a la salud humana, particularmente a través de fuentes contaminadas de agua potable.

Renovar plantas de tratamiento de agua centralizadas con procesos avanzados post-tratamiento como las técnicas de oxidación, filtración de membrana delgada y absorción de carbón activado, puede ser efectiva para reducir la concentración de farmacéuticos en los efluentes tratados (Kujawa-Roeleveld 2011). Sin embargo, ésta es una tecnología cara que es ineficiente de operar debido a los grandes volúmenes de agua residual que requieren ser tratados.

La separación de los flujos de agua residual y el uso de técnicas de tratamiento descentralizado puede ser una mejor opción para tratar los microcontaminantes. Muchos farmacéuticos entran al sistema de agua residual a través de la orina y las heces de los pacientes. Al separar la orina y aguas negras de otros flujos de aguas residuales, la dilución de microcontaminantes se previenen permitiéndoles ser removidos más eficientemente a través de procesos de tratamiento biológico con técnicas físico - químicas como la oxidación, absorción en carbón activado y filtración delgada (Kujawa-Roeleveld 2011).

Para más información en la remoción de farmacéuticos a partir de los flujos de agua residual, vea las conclusiones del estudio SWITCH en el documento "Compuestos farmacéuticos en el ambiente: Remoción de farmacéuticos de corrientes concentradas de agua residual en el saneamiento orientado a la fuente" (Kujawa-Roeleveld 2011).



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

## 7.1 Opciones para la aplicación de una gestión más sustentable de las aguas residuales

Una enorme variedad de opciones están disponibles para ayudar en la implementación de una gestión más sustentable de las aguas residuales. Las pocas opciones que se describen brevemente en esta sección se han incluido con el objetivo de proporcionar información resumida sobre algunas de las soluciones universalmente aplicables y cómo éstas contribuyen a una gestión más sustentable del agua y al desarrollo urbano.

Se dan ejemplos de opciones de recolección, tratamiento y disposición / reutilización de la gestión de aguas residuales. Estas son las alternativas a las soluciones convencionales de gestión de aguas residuales, aunque cada uno de ellos tiene el potencial de ser integrados en la infraestructura existente. Las opciones analizadas son las siguientes:

- Recolección: Desviación de orina de los sanitarios
- Tratamiento: Tratamiento de acuíferos
- Tratamiento: Construcción de humedales
- Tratamiento: Estanques de estabilización de desperdicios
- Tratamiento: Producción de biogás
- Reutilización: Reutilización de lodo
- Reutilización: Reutilización de aguas grises

En cada caso, una breve descripción de la opción es siempre seguida de las contribuciones positivas que puede aportar a la gestión del agua urbana y el desarrollo urbano en su conjunto. Los cuadros que proporcionan una clasificación simple de estas contribuciones están previstos. El objetivo de esta clasificación es proporcionar una indicación general de la importancia de los beneficios que una opción puede ofrecer a una ciudad. Esto es por supuesto muy subjetivo y en realidad los beneficios (y costos) que ofrece una opción son totalmente dependientes de las circunstancias locales en los que se aplica. Una opción que encaja con todos los cuadros de la sustentabilidad en una ciudad puede hacer lo contrario en otro.

Las consideraciones locales también se enumeran para cada opción, destacando algunos de los problemas comunes asociados con la implementación. Una vez más el tipo y el alcance de las limitaciones son totalmente dependientes de las circunstancias locales y la lista es simplemente una guía general.

En general, la información contenida en este modulo pretende ser una base para el debate en lugar de un análisis significativo de la adecuación local de una opción. 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 opción es factible y deseable. Es posible que se necesite información especializada para el diseño y construcción de la tecnología pertinente.



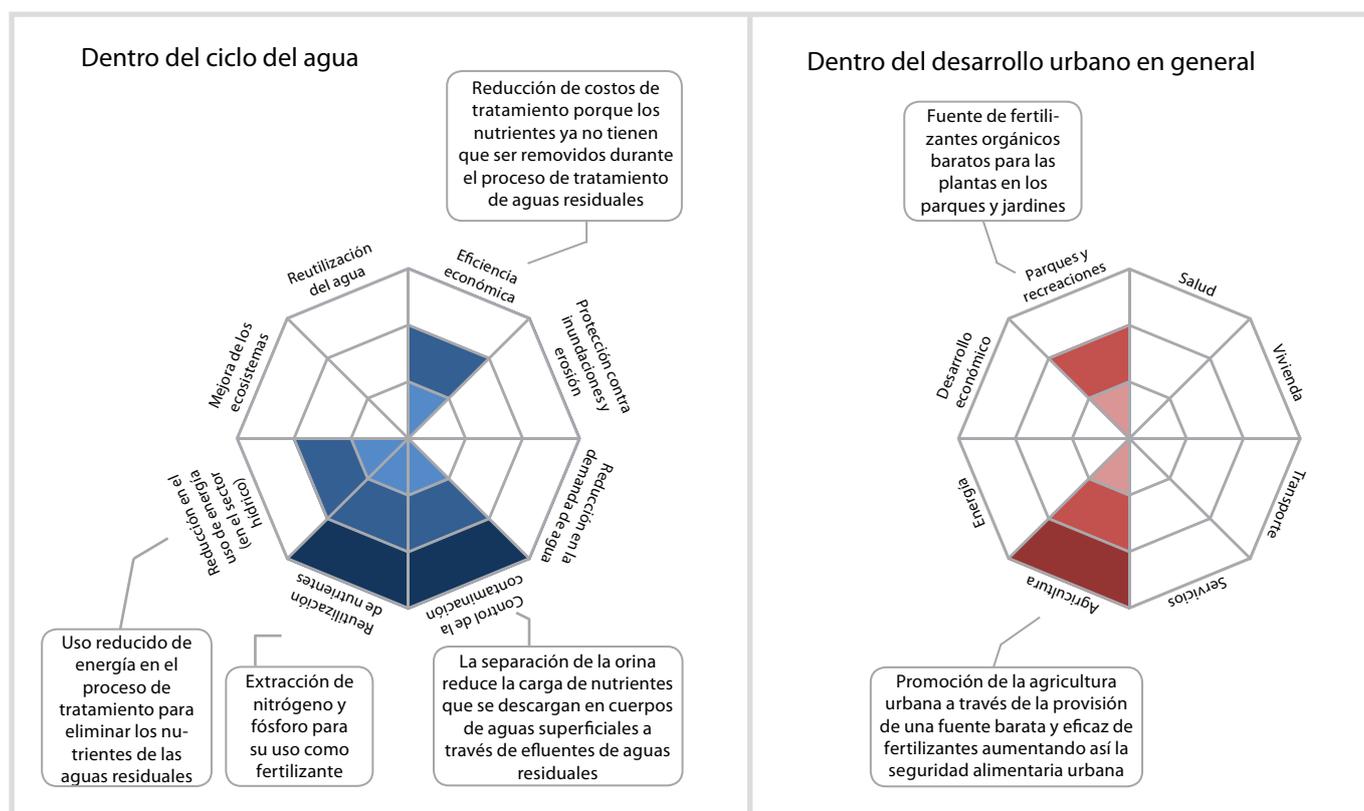
El Compendio de los sistemas de saneamiento y las tecnologías (EAWAG) proporciona información detallada y el análisis de una amplia gama de diferentes opciones de manejo de aguas residuales para los países en desarrollo. El compendio se puede descargar gratuitamente en: [http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/compendium\\_e/index\\_EN](http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/compendium_e/index_EN)

### Inodoros de separación de orina

La orina es una sustancia libre de patógenos y rica en nutrientes. En su forma pura o mezclada con agua, la orina puede ser aplicada con seguridad como fertilizante sin tratamiento previo, por lo que es un sustituto barato<sup>3</sup> y muy eficaz para los químicos. Sin embargo, en la mayoría de los sistemas de drenaje, la orina se mezcla con las heces, agua de descarga y otros flujos de aguas residuales que durante la recolección causa la dilución y la contaminación con patógenos y otros contaminantes. El nitrógeno y el fósforo contenido en la orina aún se puede extraer y reciclar de manera segura, pero sólo después de lo que puede ser un proceso costoso de tratamiento.

Los inodoros de separación de orina permiten que la orina se separe de la materia fecal y el agua de descarga durante la interfaz con el usuario permitiendo una fácil recolección y reutilización. La tecnología se puede aplicar tanto en los sanitarios de descarga de agua como en los secos a través de la instalación de un drenaje de recolección selectiva de residuos en el frente de la taza del inodoro. La orina se recoge sin agua en la parte delantera, mientras que la materia fecal se elimina, ya sea con o sin agua, a través del procedimiento normal en la parte posterior. Mingitorios sin agua para los hombres logran el mismo objetivo sin la necesidad de heces separadas.

**Figura 11:** Las influencias positivas de los inodoros de separación de orina en el ciclo urbano del agua y el desarrollo urbano. El número de segmentos llenos más o menos indican la medida en que el sector está influenciado por la opción (Nota: por causa de la simplicidad de los gráficos se consideraron sólo las influencias directas)



<sup>3</sup> Se recomienda un almacenaje de 2-6 meses dependiendo de la temperatura y el riesgo de contaminación fecal

Aspectos a considerar:

- La recolección y reciclado de orina puede encontrarse con la oposición pública a raíz de la renuencia de instalar y/o utilizar los sistemas correctamente. Para lograr la aceptación del usuario y el uso adecuado de las instalaciones, es necesario el diseño de proyectos participativos junto con la educación y campañas de sensibilización.
- De manera paralela con la instalación de un inodoro nuevo, es necesario un sistema de recolección y almacenamiento de la orina. Dependiendo de la escala, un sistema de tuberías doble podría ser necesario para recolectar y almacenar la orina independientemente. Para adaptar los sistemas a gran escala se requiere de un proceso costoso y la tecnología es el mejor instrumento para la implementación de nuevos desarrollos e instalación de inodoros en las zonas donde aún no existen.
- Un mercado para la orina recolectada debe existir para asegurarse de que hay algún conductor de productos para la separación de los flujos. Los jardines urbanos y las asignaciones son ideales para uso local. Sin embargo con la intención de recolectar grandes cantidades de orina, tendrá que ser necesaria otra opción para reducir su volumen y permitir su transporte.



Imagen: L. Ulrich

Sanitario dividido Roediger sin mezcla de orina

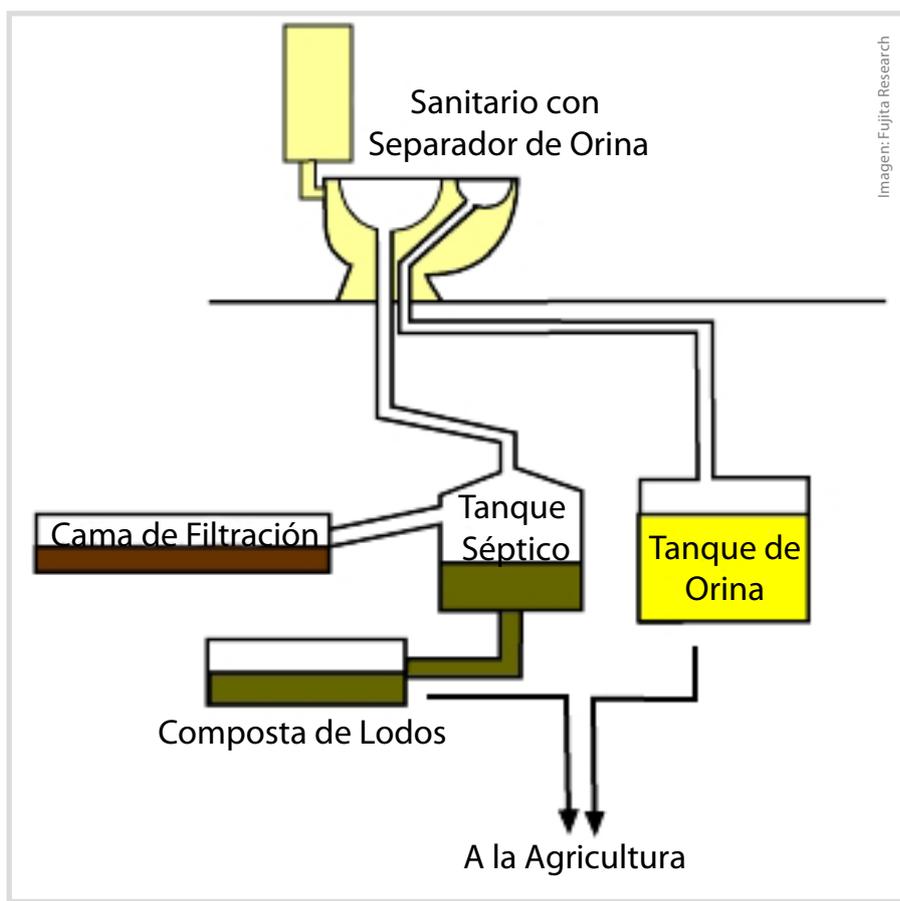
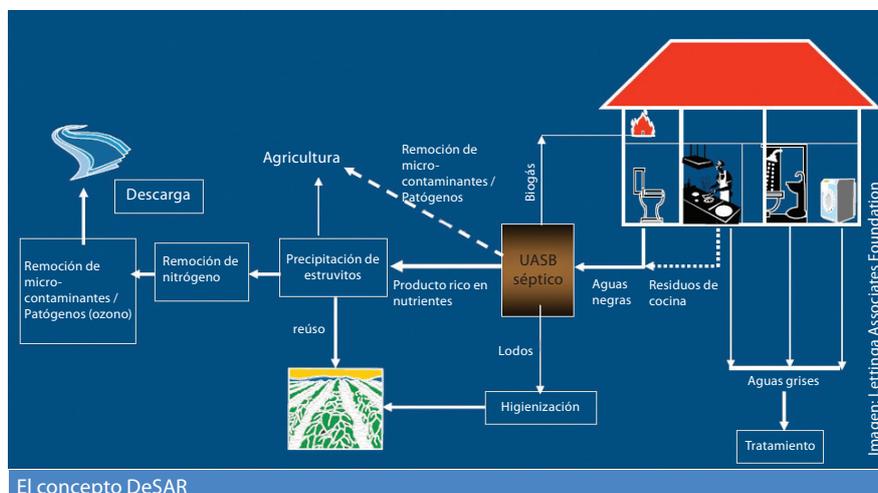


Imagen: Fujita Research

Separación y reuso de orina

## Saneamiento y reutilización descentralizada (DeSAR)



El concepto DeSAR

A diferencia del tratamiento centralizado de aguas residuales combinadas de los retretes y duchas, fregaderos y lavadoras y los tejados, el Saneamiento Descentralizado y el sistema de Reutilización (DeSAR, por sus siglas en inglés) se basa en la recolección selectiva de aguas negras, aguas grises, aguas pluviales y residuos de cocina en los hogares. El sistema descentralizado permite que los residuos sean tratados in situ y maximiza las posibilidades de reutilización de los recursos contenidos dentro de él, a nivel local.

El sistema de DeSAR hace uso de inodoros de baja descarga y vacío, manteniendo un flujo concentrado de materia fecal y orina. Junto con los residuos orgánicos de la cocina, las heces se digieren para producir biogás, el cual se recicla como fuente de energía en el hogar. El material digerido que resulta del proceso de generación de biogás es libre de patógenos y rico en nutrientes que permite ser utilizado como fertilizante agrícola. Un número de sistemas diferentes disponibles para tratar las aguas grises (véase, por ejemplo los humedales construidos a continuación), mientras que la precipitación pluvial es típicamente retenida e infiltrada al subsuelo utilizando el sistema urbano de drenaje sustentable (SUDS). Tanto las aguas pluviales y grises tratadas pueden reutilizarse para fines no potables, como riego de jardín y limpieza.

Una gama de opciones de sistemas DeSAR están disponibles para la mayoría de los entornos urbanos y, aunque el costo inicial de la aplicación del sistema completo puede ser considerable, la inversión puede ser recuperada en el largo plazo a través del ahorro de agua y energía.



Sistema de tuberías para el proyecto piloto de DeSAR en Sneek, Países Bajos, donde 32 casas han tenido el sistema instalado.



Para más información, véase: <http://www.ete.wur.nl/UK/Projects/DESAR/>

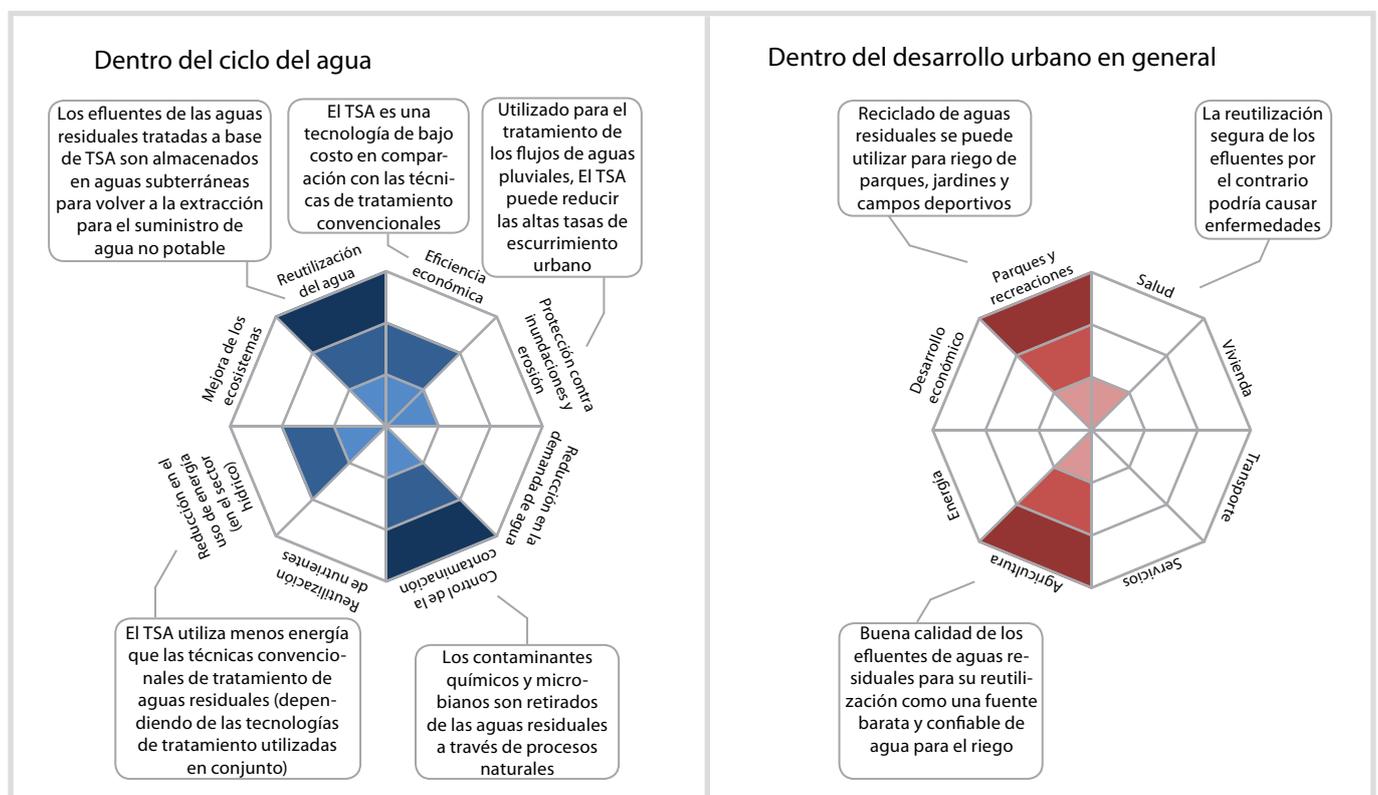
### Tratamiento del Suelo Acuífero (TSA)

El tratamiento de las aguas residuales es un recurso potencialmente valioso para el aumento del suministro del agua urbana. Éste es particularmente el caso en las ciudades con escasez de agua, donde la creciente demanda de agua está provocando la sobreexplotación de los suministros disponibles. Sin embargo, en muchos casos, el efluente tratado se descarga aguas abajo de una ciudad, así como directamente a los esteros y aguas costeras, donde se pierde su valor.

El Tratamiento del Suelo Acuífero (TSA) es una tecnología de bajo costo para el tratamiento avanzado de almacenamiento y reutilización de los flujos de aguas residuales mixtas. Los efluentes de las aguas residuales tratadas secundariamente se infiltran a través de una zona del suelo en un acuífero donde se mezcla con las aguas subterráneas existentes. Los contaminantes (productos químicos y microbios) se eliminan a través de procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en la matriz del suelo y el acuífero en sí. El agua se extrae para su reutilización a través de pozos fuera de la zona de tratamiento del acuífero.

La tecnología de TSA cumple el propósito de proveer el tratamiento natural de las aguas residuales, así como la reposición de fuentes de agua subterránea para el futuro de las captaciones de agua de suministro y la creación de un ciclo de agua urbana semicerrado. Dependiendo de la calidad de las aguas residuales, la disponibilidad de tierras y el uso previsto del suministro de agua, el TSA puede ser complementado con diversas tecnologías de pre y post-tratamiento, como los reactores biológicos y nanofiltración.

**Figura 12:** Las influencias positivas de la TSA en el ciclo urbano del agua y el desarrollo urbano (Nota: por causa de la simplicidad de los gráficos se consideraron únicamente las influencias directas)

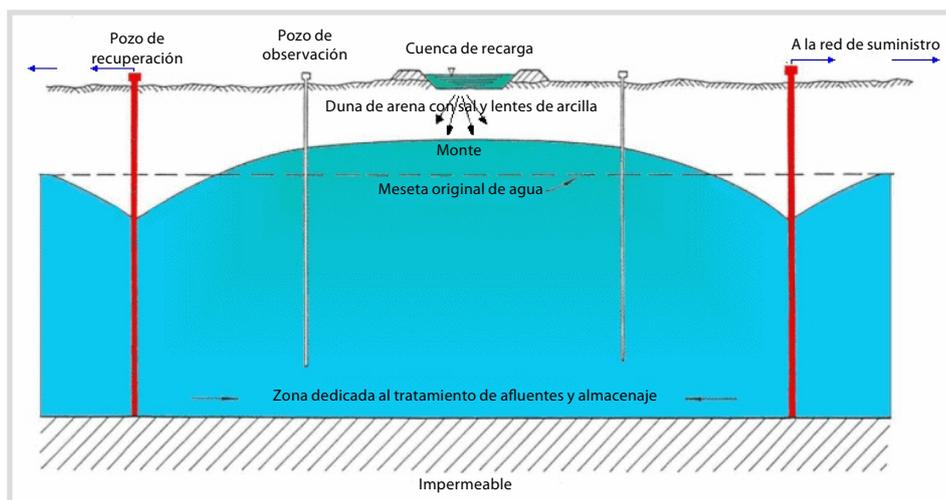


### Aspectos a considerar:

- El rendimiento del TSA está estrechamente relacionado con las condiciones locales. La calidad del agua a tratar, tipos de suelo y el propósito de la reutilización de lodos los determinará la la viabilidad de la tecnología y el nivel de pre-y post-tratamiento requerido. Se requieren investigaciones de campo detalladas, así como estudios piloto.
- Los sistemas típicos del TSA requieren una gran superficie para infiltrar las aguas residuales en el acuífero. En muchas ciudades el terreno necesario es costoso y muchas veces no está disponible debido a la alta densidad de población. Las tecnologías alternativas de TSA que requieren mucho menos espacio son, sin embargo, objeto de investigación como el TSA Corto - sistema de nanofiltración en el que se requiere menos tiempo de retención y por lo tanto espacio.
- La adecuación de TSA depende de las características de las aguas subterráneas locales. El uso de los acuíferos de buena calidad puede causar el deterioro de las aguas subterráneas y los daños ambientales en otras partes de los sistemas acuáticos conectados. El TSA también puede aumentar el riesgo de inundaciones en las zonas donde los niveles de agua subterránea son altos.



Para obtener información sobre el uso del TSA en Tel Aviv, Israel, véase Estudio de caso.



Tratamiento de acuífero del suelo



Campos de infiltración para SAT en la planta de tratamiento de agua residual en Tel Aviv, Israel

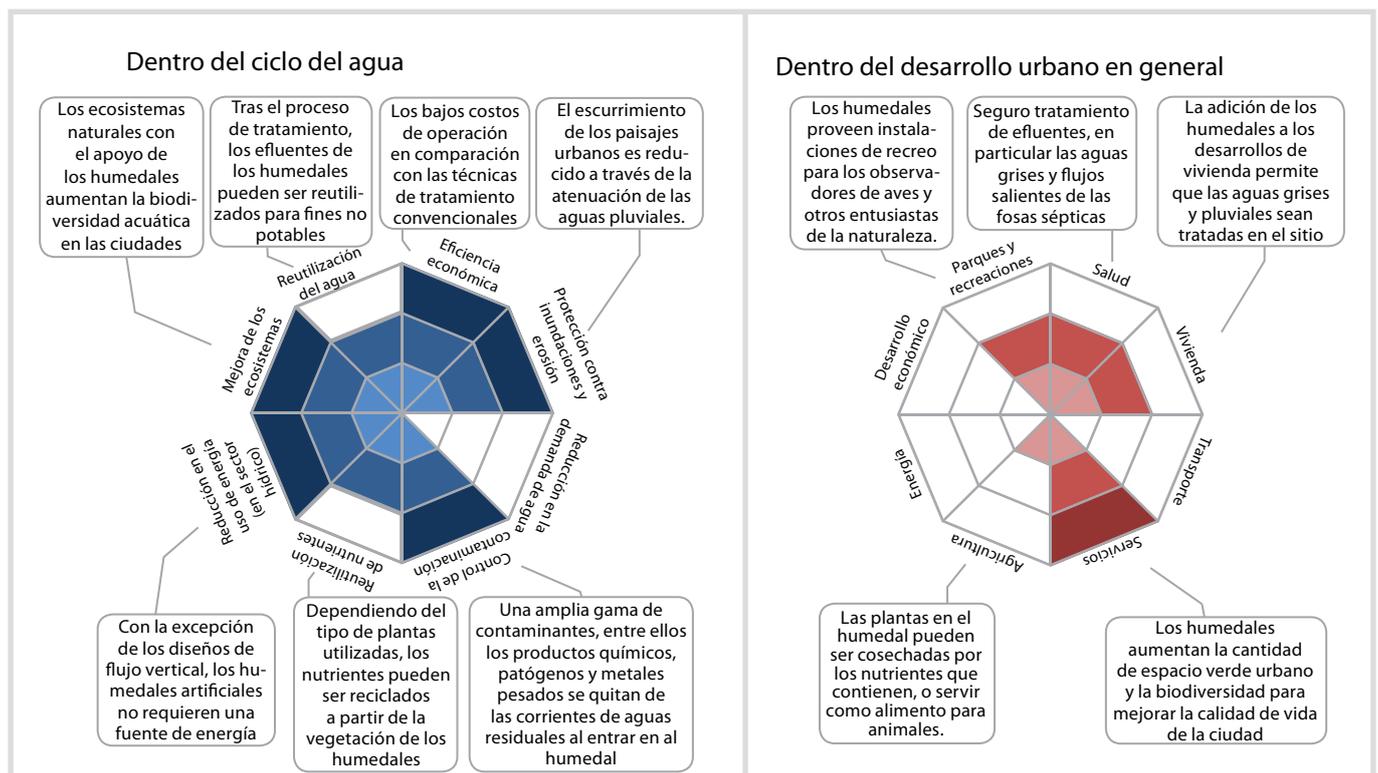
## Construcción de humedales

Los humedales naturales contienen una amplia gama de mecanismos de tratamiento que pueden eliminar los contaminantes, tales como la materia orgánica, los sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, trazas de metales y patógenos. Los humedales se basan en diferentes características como flujo de agua y las especies de plantas. Se pueden construir en las ciudades para tratar las aguas residuales con una variedad de recursos. Son baratos de construir y mantener y el efluente tratado puede ser reutilizado para fines no potables como el riego y la descarga de inodoros.

Los humedales artificiales pueden tener una variedad de diseños que varían de acuerdo a la forma en que se dirige el flujo (es decir, horizontal o vertical) y el nivel del agua dentro del sistema (es decir, frente a los sistemas de inundación contra los sistemas de filtración). La adecuación del sistema depende del tipo de contaminantes que deben ser removidos, el volumen de agua a tratar, la posibilidad de molestias a los residentes de la zona (por ejemplo, olores y/o mosquitos) y la cantidad de espacio disponible. Los humedales son eficaces en la captura de la mayoría de los contaminantes contenidos en las aguas grises y las aguas de escurrimientos de aguas pluviales, así como en la eliminación de patógenos, nutrientes y micro-contaminantes procedentes de las salidas de fosas sépticas y vertidos de aguas residuales convencionales. Los sistemas por lo tanto se pueden utilizar como una solución descentralizada para el tratamiento de aguas residuales separadas de los flujos, así como una añadidura a la infraestructura existente centralizada de aguas residuales para mejorar la calidad de los vertidos de efluentes de estas aguas.

A pesar que los humedales requieren un mantenimiento regular, esto se puede hacer localmente utilizando entrenamientos para adquirir las habilidades necesarias. La tecnología involucrada y la eficacia en la eliminación de contaminantes de las aguas residuales da una amplia variedad de calidad, lo cual significa que los humedales son una solución viable, tanto en el mundo desarrollado y en desarrollo.

**Figura 13:** Las influencias positivas de los humedales en el ciclo urbano del agua y el desarrollo urbano (Nota: por causa de la simplicidad de los gráficos se consideraron únicamente las influencias directas)

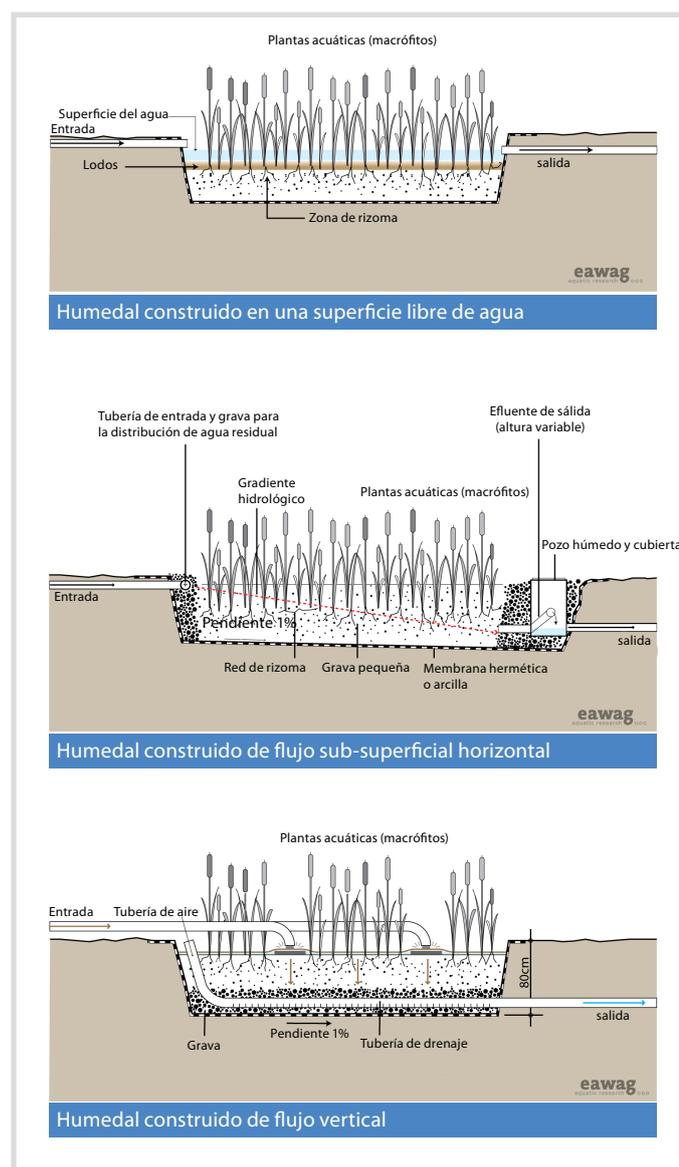




Para una guía de usuarios en el uso de humedales artificiales en combinación con electrofloculación para eliminar los contaminantes como el fósforo del efluente secundario, véase los parámetros del manual de diseño, el manual de operación de las tecnologías del medio ambiente para el mejoramiento de los efluentes secundarios con la calidad requerida para la rehabilitación de corriente y otros propósitos municipales de reutilización.

#### Aspectos a considerar:

- En climas propensos a enfermedades transmitidas por mosquitos, la construcción de los humedales puede suponer un riesgo a la salud. En tales contextos, los humedales deben ser diseñados con flujos de sub-superficie para que la superficie no sea firme y los insectos no puedan pararse en ella.
- El costo inicial de diseño y construcción de un humedal puede que sea alto. Sin embargo, esto es a menudo son una buena inversión ya que los costos de operación son bajos.
- Los humedales requieren una gran superficie de tierra que no siempre está disponible en zonas urbanas densamente pobladas. Existen diferentes diseños, tales como los humedales de flujo vertical y combinaciones con otras técnicas de tratamiento, sin embargo es posible reducir en gran medida la cantidad de espacio requerido.
- Los requisitos de mantenimiento de los humedales construidos son bastante altos, especialmente para evitar la obstrucción del filtro. Aunque es probable que a nivel local estén disponibles las habilidades necesarias para conservar los humedales, debe establecerse y respetarse un régimen eficiente a éste.

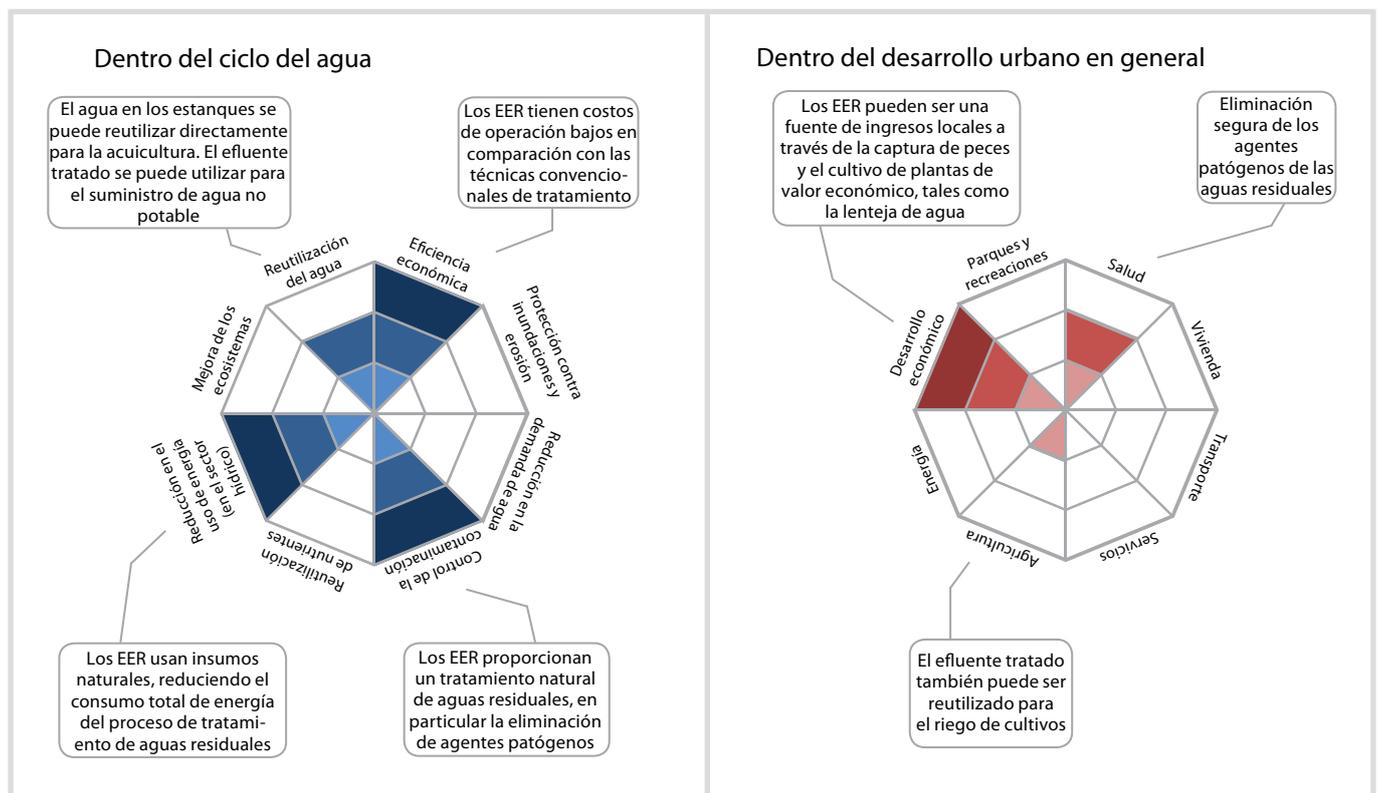


### Estanques de Estabilización de Residuos (EER)

Los Estanques de Estabilización de Residuos (EER) son estanques artificiales poco profundos que hacen uso de algas y bacterias para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Los estanques se construyen a menudo como una serie de lagunas de maduración anaeróbica, facultativa y aeróbica que proporcionan diferentes etapas de tratamiento para eliminar las materias orgánicas y agentes patógenos. Los EER son fiables y fáciles de operar y las aguas residuales tratadas pueden ser reutilizadas en el ciclo del agua con fines no potables, así como en la recarga de los acuíferos.

Aunque es necesario el diseño de expertos, los EER pueden ser construidos y operados a bajo costo, utilizando materiales y mano de obra locales. La última de la serie de lagunas aeróbicas que se construya puede utilizarse para la piscicultura. Esto no sólo genera ingresos locales sino que los peces también proporcionan un tratamiento adicional al alimentarse de los nutrientes restantes en el efluente. Se pueden lograr más beneficios similares mediante el uso de los estanques para el cultivo de plantas flotantes. El lodo que se recoge en el fondo de los estanques debe ser removido y desechado de forma segura, aunque esto no se requiere de forma periódica (normalmente es cada 10 a 20 años).

**Figura 14:** Las influencias positivas de los EER en el ciclo urbano del agua y el desarrollo urbano (Nota: por causa de simplicidad de los gráficos se consideraron únicamente las influencias directas)

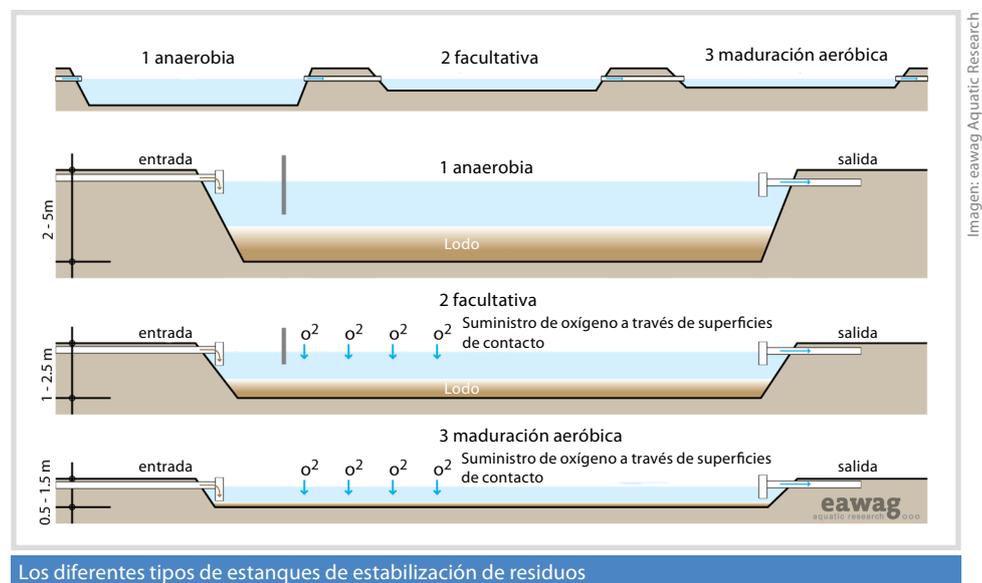




Para obtener más información sobre el diseño y el uso de estanques de estabilización ver el artículo de revisión de SWITCH sobre los sistemas naturales para el tratamiento de aguas residuales (Fuente Ref. D5.3.1)

#### Aspectos a considerar:

- Al igual que con muchos sistemas de tratamiento natural, los EER requieren una gran gran superficie de tierra que es a menudo una restricción en las zonas urbanas densas. El valor de esta tierra por lo tanto puede aumentar considerablemente el costo de capital de construcción de los estanques.
- El mantenimiento requiere trabajadores poco calificados, aunque debe hacerse sobre una base regular para asegurarse que los estanques permanezcan libres de escombros y seguros para la gente y los animales. La vegetación también se debe quitar de los estanques para garantizar que no se conviertan en superficies de reproducción para los mosquitos.
- Los EER son adecuados para la mayoría de lugares aunque el rendimiento de los sistemas puede variar dependiendo del clima (la eliminación de agentes patógenos es más efectiva en climas cálidos). Los especialistas en diseño están obligados a garantizar el máximo rendimiento.



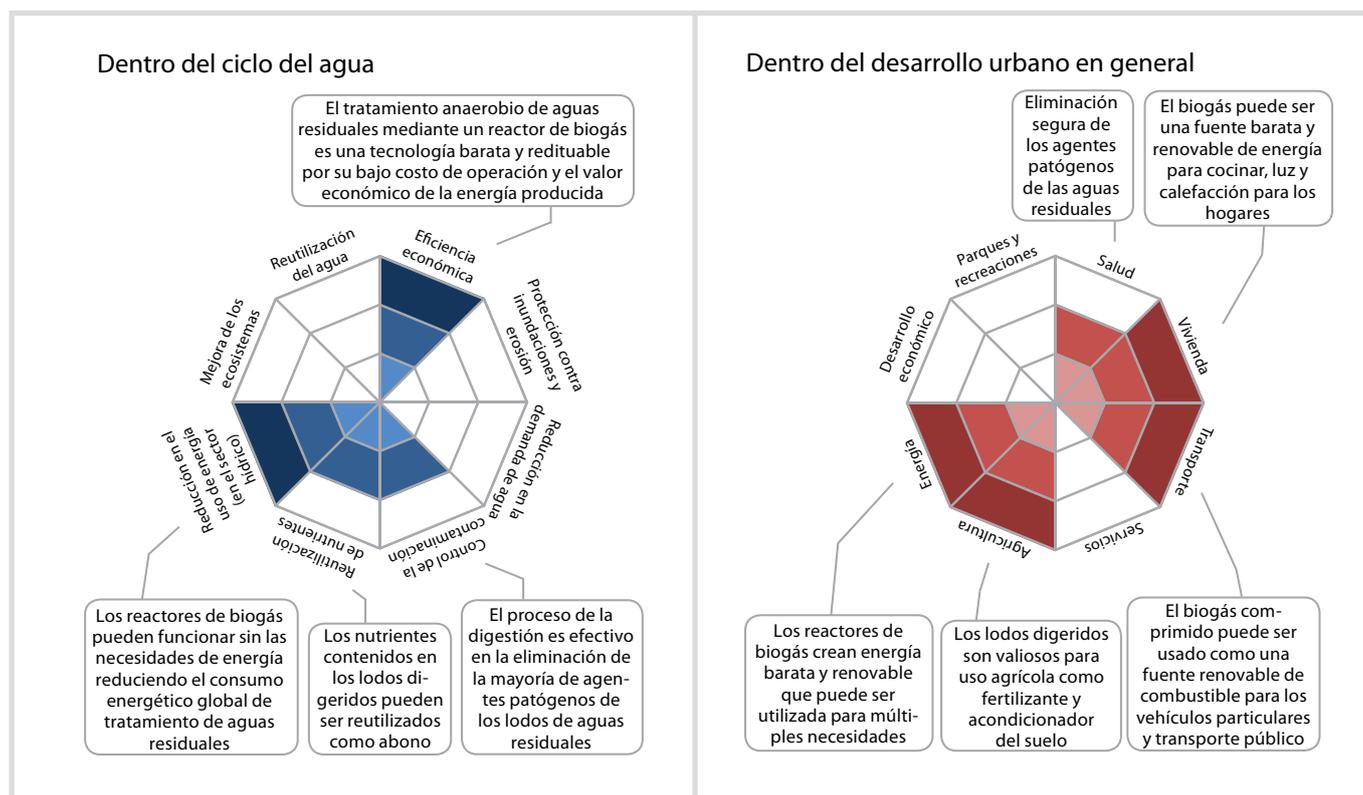
Estanque de estabilización de residuos en Cochabamba, Bolivia

## Producción de biogás

Los lodos de aguas residuales son una fuente potencial de energía ya que pueden ser digeridos para crear biogás para la cocina, electricidad, calor y combustible para el transporte. La generación de biogás se puede hacer a gran escala utilizando los lodos de subproductos derivados de los procesos de tratamiento primario y secundario de aguas residuales o a escala de colonia o residencial a través de la digestión de residuos humanos y de cocina sin tratar, procedentes directamente de edificios (véase también el cuadro de ejemplo de DeSAR).

El proceso consiste en la degradación biológica de los lodos de aguas residuales en un reactor anaerobio. Así como la generación de energía, el reactor también elimina algunos agentes patógenos del lodo que le permite ser utilizado como acondicionador del suelo<sup>4</sup>. El reactor de biogás en sí puede ser una cámara de digestión sencilla construida con ladrillos, concreto o material pre-fabricado o una construcción más sofisticada utilizando dispositivos de mezcla y pre-tratamiento para crear un proceso más eficiente.

**Figura 15:** Las influencias positivas de la producción de biogás en el ciclo urbano del agua y el desarrollo (Nota: por causa de simplicidad de los gráficos se consideraron únicamente las influencias directas)



<sup>4</sup> Los patógenos son removidos solo a una extensión limitada. Dependiendo del propósito de reuso post-tratamiento puede seguir siendo necesario remover riesgos higiénicos relacionados.

## Aspectos a considerar:

- Dependiendo del tamaño del reactor de biogás y el uso del gas generado, los costos del capital para construir el reactor propiamente dicho y la infraestructura de acompañamiento pueden ser altos. Sin embargo, la amplia vida útil de la infraestructura y el valor de la energía generada hacen que el periodo de recuperación de la inversión se acorte.
- Los procesos de digestión natural son más efectivos en los climas cálidos ya que las altas temperaturas aceleran el proceso. En climas más fríos, los sistemas pueden necesitar ser calentados.
- A menos que los reactores se calienten a más de 50°C, los agentes patógenos todavía pueden estar presentes en los lodos digeridos. El tratamiento adicional por lo tanto puede ser necesario antes de su reutilización o eliminación.
- El mantenimiento (es decir, eliminación de sólidos sedimentados, capa de suciedad) y su funcionamiento correcto (es decir, evitando las sobrecargas y los cambios bruscos en el pH que puedan dañar los consorcios de bacterias) tienen que ser garantizados para lograr la máxima eficiencia.



Construyendo un reactor de biogás



Transporte público impulsado con biogás en Estocolmo, Suecia

## Reutilización de lodos

La mayoría de los procesos de tratamiento de aguas residuales generan lodos que tiene que ser eliminados o reutilizados. La cantidad y calidad de los lodos varía en función del proceso de tratamiento utilizado y la variedad de contaminantes en las aguas residuales que se trató. Por lo general, gran parte de estos lodos terminan en los rellenos sanitarios o se incineran, a pesar de que si se trataran lo suficiente podrían ser utilizados como biosólidos para una serie de fines productivos.

Los biosólidos se componen de la materia orgánica separada durante el proceso de tratamiento de aguas residuales. El potencial de reutilización de los biosólidos depende en gran medida la calidad del producto y la aceptación pública. Los biosólidos son ampliamente utilizados en la agricultura como acondicionadores del suelo debido a los nutrientes que contienen y por la materia orgánica de que se componen, ayuda a los suelos para retener la humedad y los nutrientes. También son valorados por las mismas razones para el uso forestal y la jardinería de los parques, jardines, campos de golf, etc.

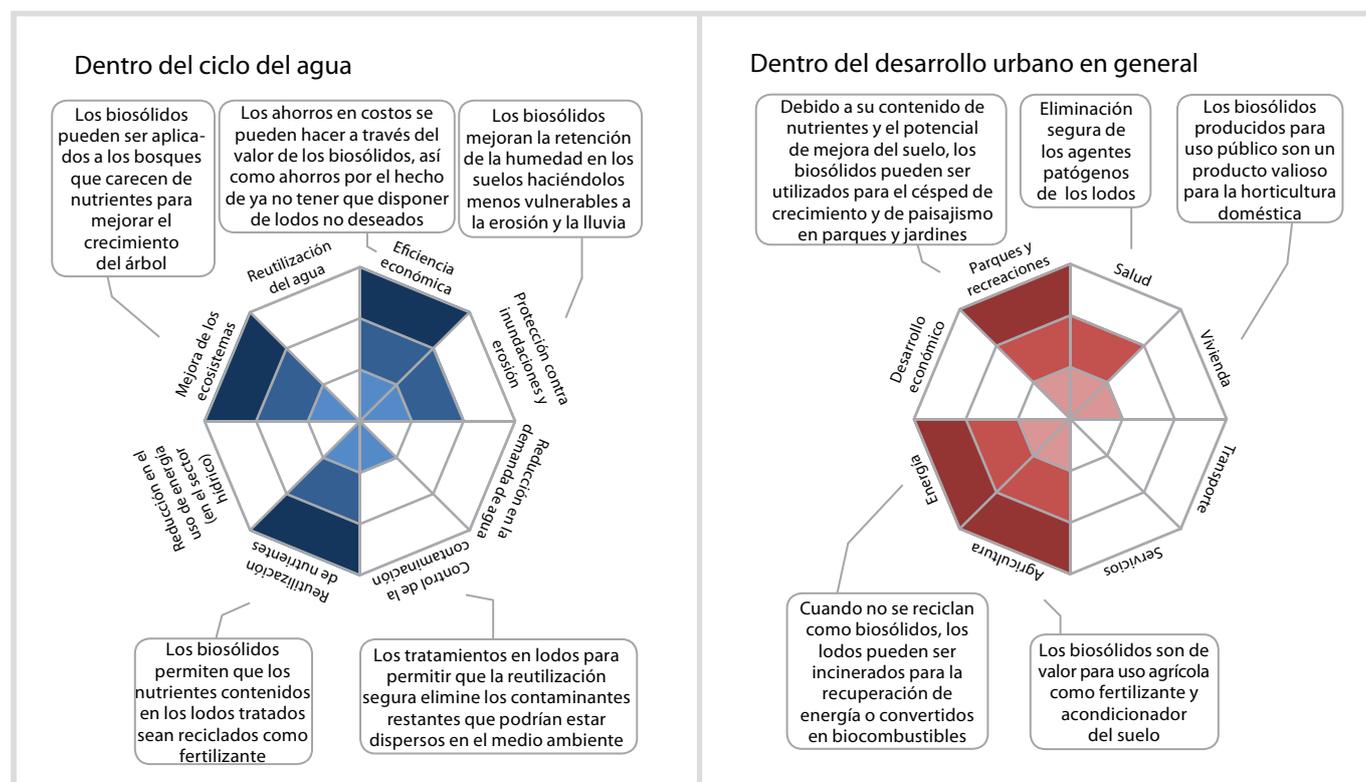
La principal preocupación en torno al uso de los centros de biosólidos son los derivados del tratamiento de aguas residuales mezcladas con los flujos industriales y de aguas pluviales. En estos casos existe el riesgo que el proceso de tratamiento de aguas residuales no sea capaz de eliminar los restos de metales pesados y las sustancias químicas y sean transferidos a los productos cultivados. Estos problemas de salud, junto con la posible oposición pública a la utilización de un producto de desecho humano con fines agrícolas a dado lugar en algunos países a la prohibición de esta práctica por completo. El alcance de esta amenaza depende de la calidad de las aguas residuales antes del tratamiento. El riesgo se reduce considerablemente si las aguas pluviales y los residuos industriales no han sido mezclados con residuos humanos durante el proceso de tratamiento. Cuando este es el caso, o su impacto es mínimo, el uso de biosólidos para la agricultura es en general considerado como uso sustentable de los lodos.

En las zonas donde hay menos demanda para el uso de biosólidos para su aplicación a la tierra, las alternativas incluyen la incineración de los lodos para recuperación de energía y la conversión en alcohol y otros combustibles. Estas opciones proporcionan una útil fuente de energía renovable para una ciudad, aunque no para reciclar los nutrientes contenidos en los lodos.



Reuso de lodos para la agricultura

**Figura 16:** Las influencias positivas del uso de los biosólidos en el ciclo urbano del agua y el desarrollo urbano (Nota: por causa de simplicidad de los gráficos se consideraron únicamente las influencias directas)



#### Aspectos a considerar:

- Los biosólidos deben estar libres de sustancias nocivas antes de su reutilización. Los lodos inadecuadamente tratados y los lodos procedentes de aguas residuales que contienen altos niveles de metales pesados representan un riesgo potencial para la salud de los usuarios y consumidores de los productos que se utilizan para producir.
- Existe legislación en algunos países que prohíbe su uso por problemas de salud asociados con el uso de biosólidos en las tierras agrícola. Una vez tratados, los biosólidos pueden ser reutilizados para fines que no impliquen la producción de alimentos para el consumo humano, tales como proyectos de jardines municipales.
- El uso de biosólidos para uso agrícola debe tener en cuenta la cantidad de nutrientes que éstos contienen. Esto les permite ser aplicados a un ritmo eficaz sin causar contaminación por nutrientes.

## Reutilización de aguas grises

Las aguas grises se componen de aguas residuales de baño, cocina, lavado de ropa, limpieza y usos domésticos del agua distintos a los de los baños. En los hogares con inodoros, las aguas grises pueden representar más de dos tercios de las aguas residuales generadas. Los contaminantes comunes en las aguas grises incluyen detergentes, productos químicos, partículas de alimentos y aceites de cocina. Por lo general, contienen pocos agentes patógenos y también tienen un bajo contenido de nutrientes.

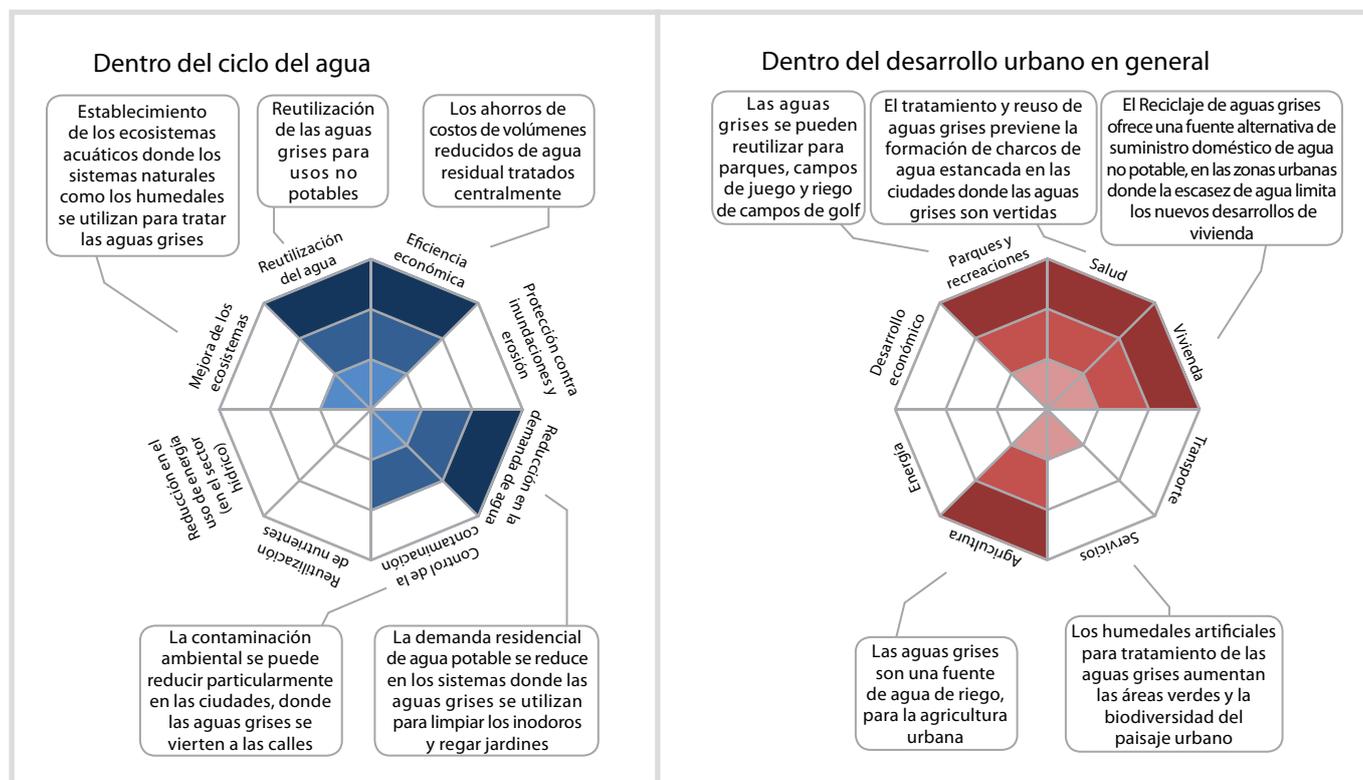
A pesar del nivel relativamente bajo de contaminantes nocivos contenidos en las aguas grises, en muchas ciudades, sin embargo son mezclados y tratados en conjunto con los excrementos. Esto aumenta el volumen de las aguas residuales a tratar y fracasa también en la oportunidad para reutilizar las aguas grises para usos no potables, como el riego, el lavado higiénico y el uso industrial.

Existe una variedad de tecnologías para la recolección selectiva, tratamiento y reutilización en aguas grises. Éstas pueden ser tan complejas, como la instalación de un sistema que recolecta, trata y bombeo de las aguas grises para su reutilización en el hogar, o tan simples como los dispositivos de desviación en el que las aguas grises se tratan a través de los sistemas naturales como los humedales construidos. Una gama de sistemas de infraestructura a gran escala, manejan las aguas grises de urbanizaciones enteras, de empresas, o de los hogares individuales que recogen y reutilizan las aguas grises desde su origen.



Una investigación del reuso de aguas grises para propósitos de irrigación se describen en el documento SWITCH “Aplicaciones de los sistemas sustentables de Agua –la demostración en Chengdu, China” (Qiang et al 2008)  
[www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)

**Figura 17:** Las influencias positivas de la reutilización de las aguas grises en del ciclo urbano del agua y el desarrollo urbano (Nota: por causa de simplicidad de los gráficos se consideraron únicamente las influencias directas)





Las "Directrices para la reutilización de aguas grises de Nueva Gales del Sur en las instalaciones con sistema individual de alcantarillado doméstico residencial" proporcionan información detallada y orientación sobre la implementación práctica de los sistemas domésticos de reutilización de aguas grises en Australia. Las directrices pueden consultarse en: [http://www.waterforlife.nsw.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0018/11808/Greywater\\_guidelinesMay2008.pdf](http://www.waterforlife.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0018/11808/Greywater_guidelinesMay2008.pdf)

### Aspectos a considerar

- Las aguas grises siguen siendo seguras para el consumo humano, a pesar de que contienen algunos contaminantes de alto riesgo. Se debe tener cuidados adicionales para asegurarse que las conexiones cruzadas entre agua potable y saneamiento de aguas grises se eviten. Los grifos que dispensan las aguas grises también deben estar claramente identificados como agua no potable.
- Dependiendo de la fuente y el comportamiento del usuario, las aguas grises puede contener trazos de agentes patógenos. Aunque el impacto en la salud humana puede ser mínima, el tratamiento adecuado de aguas grises puede ser necesario antes de su reutilización en lugares donde el riesgo de contaminación con coliformes fecales existe.
- Las aguas grises sin tratar no deben almacenarse por más de 24 horas debido a la existencia de nutrientes y posiblemente a los agentes patógenos dentro de ella.
- El costo de recolección de aguas grises y los sistemas de reutilización dependen del sistema elegido. Sin embargo, incluso los sistemas sofisticados con altos costos de inversión pueden tener un periodo de recuperación corto cuando la reducción del consumo de agua potable y los gastos de tratamiento de aguas se toman en cuenta.

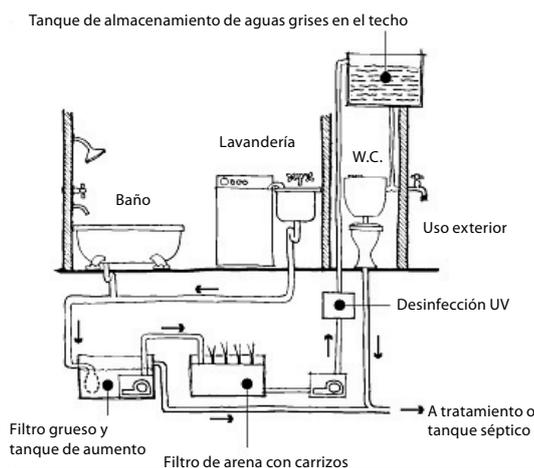


Imagen: Your Home Technical Manual, Commonwealth of Australia

Esquema de un sistema de reuso de aguas grises domésticas



Imagen: Ralph Philip

Tratamiento de aguas grises usando humedales construidos previo a su reuso en un desarrollo de vivienda en Tel Aviv, Israel

## 7.2 Selección de opciones

En el tratamiento de las aguas residuales y el ciclo del agua urbana en su conjunto, la selección de opciones debe basarse en los objetivos acordados, indicadores y metas, junto con la necesidad de considerar todos los aspectos de la sustentabilidad como se describe en la Sección 5. Las posibles opciones deben ser identificadas de forma que permitan alcanzar objetivos específicos sin comprometer el desarrollo sustentable de la ciudad en su conjunto.

A pesar que tener identificada una solución tecnológica, teóricamente puede ayudar a lograr las metas asociadas con un objetivo, esto no significa necesariamente que la solución en sí misma es una solución sustentable en el contexto en cuestión - el costo, las implicaciones sociales, los efectos secundarios no deseados y una serie de otros aspectos también deben ser evaluados.

La construcción de letrinas para servir a los habitantes de un asentamiento informal se basa principalmente en las necesidades sociales. Pero si el diseño elegido no tiene la consideración de criterios económicos y ambientales, se prevén consecuencias inesperadas, tales como altos costos de mantenimiento y la contaminación del suministro de agua local y en última instancia, negar los beneficios sociales inicialmente ofrecidos.

En realidad, una sola opción nunca será totalmente sustentable y el equilibrio entre los beneficios y costos será siempre necesario. Por ejemplo, los beneficios sociales y ambientales obtenidos mediante la instalación de una planta de lodos activados, donde previamente se vertieron las aguas residuales sin tratamiento, es probable que compensen los efectos negativos del aumento de las emisiones de carbono causadas por la operación de la planta. Estas concesiones son inevitables, pero lo importante es que todos los criterios de sustentabilidad se deben considerar durante el proceso de selección para garantizar que los equilibrios se puedan hacer con la confianza que la opción elegida, en general, mueva la ciudad hacia una mayor sustentabilidad.

La evaluación de las implicaciones sociales, económicas y ambientales en el espacio y el tiempo de una opción potencial no es fácil, sobre todo cuando su relación con otras opciones previstas para la implementación en otros lugares también tiene que ser considerada. El software de modelado integral y las herramientas de apoyo se pueden utilizar para ayudar en el manejo y la comprensión de esta gran cantidad de información. Con criterios de sustentabilidad genérica y específica a nivel local, estas herramientas pueden gestionar los datos de una manera que permita una serie de implicaciones diferentes, los escenarios y las combinaciones de opciones que deben evaluarse. Más información sobre las herramientas disponibles para la selección de opciones se presenta en Módulo 6.



Para más información sobre la evaluación y selección de opciones de manejo de aguas residuales urbanas ver “Un informe de evaluación de diferentes alternativas de sistemas ecosan para las zonas urbanas mediante el análisis multicriterio - utilizando Accra, Ghana, como un caso de estudio (Fuentes: Ref. D4.1.9)



Ver Módulo 6 para detalles de las herramientas de apoyo a las decisiones que están disponibles para ayudar en la selección de opciones de manejo de aguas residuales urbanas

### Objetivos de saneamiento

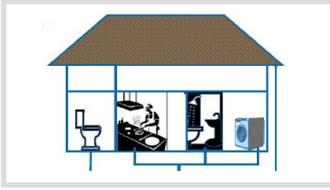
En el mundo en desarrollo, la mejora en el tratamiento de las aguas residuales urbanas se asocia a menudo con la cobertura de saneamiento. Objetivos y metas tienden a reflejar esta tendencia, centrándose en la instalación de plantas de tratamiento en las comunidades donde antes esto no existía. Sin embargo, el aumento de la cobertura no es necesariamente igual a la gestión más sustentable de las aguas residuales ya que hay muchos casos en que las metas de cobertura se han cumplido con instalaciones higiénicas pero al ser mal mantenidas aumenta la amenaza de enfermedades dentro de la comunidad y contaminan el medio ambiente local.

Los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) de reducir a la mitad la proporción de la población sin acceso sustentable al saneamiento básico para 2015 es en cierta medida, un ejemplo de esto. El objetivo está muy centrado en la cobertura y no menciona las cuestiones estrechamente relacionadas de la educación en higiene, la aceptabilidad social y la gestión segura de los residuos resultantes - aspectos esenciales de saneamiento sustentable. El objetivo por lo tanto se puede argumentar que se logró a través de acciones que no tienen en cuenta el comportamiento de falta de higiene, la segura eliminación de los excrementos y la protección del medio ambiente local.

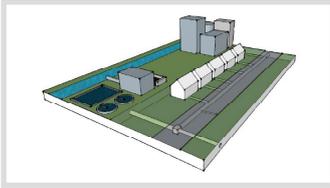
Para más información véase:

<http://tilz.tearfund.org/Publications/Footsteps+71-80/Footsteps+73/Sanitation+and+the+Millennium+Development+Goals.html>

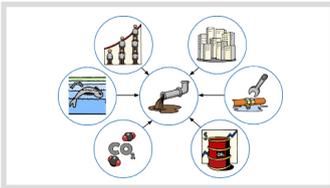
## 8 Recapitulando



Las aguas residuales se componen de diferentes flujos incluyendo la orina, las heces, aguas de descarga, aguas grises y pluviales. Estos flujos son fuentes potenciales de nutrientes, energía y abastecimiento de agua y pueden ser reciclados para su uso productivo.



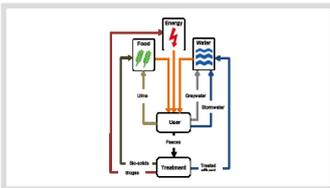
La gestión convencional de las aguas residuales es capaz de proteger la salud humana y el medio ambiente y falla al explotar muchos de estos recursos debido a su tecnología y al enfoque centralizado, orientado a la eliminación.



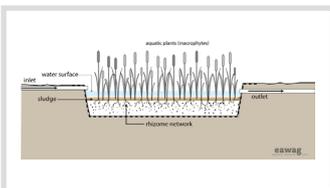
Además, el enfoque convencional no es flexible y se esfuerza por hacer frente cuando se enfrentan a cambios inesperados, tales como la rápida urbanización y la variabilidad climática.



Un enfoque integrado de gestión de aguas residuales por otra parte reconoce los vínculos entre las aguas residuales, el ciclo urbano del agua y el desarrollo de la ciudad en conjunto.



Esta perspectiva revela los beneficios de reciclar las distintas corrientes de agua residual y por tanto impulsando el proceso de gestión cíclica del agua residual en lugar de uno lineal basado en su desecho.



Esta perspectiva pone de manifiesto los beneficios del reciclado de los diferentes flujos de aguas residuales fomentando así un proceso de gestión de aguas residuales cíclicos en vez de ser lineal basado en la eliminación.



Para lograr esto, las opciones alternativas son obligatorias. Estos suelen ser flexibles, las soluciones descentralizadas muchas de las cuales hacen uso de los sistemas naturales, tales como estanques, pantanos y suelos.

## 9 Referencias

- Agudelo, C., Mels, A., Braadbaart, O. (2010) Best practice and a decision support system for ecosan systems, Wageningen University, The Netherlands. [www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)
- Bracken, P., Kvarnström, E., Lehn, H., Lüthi, C., Norström, A., Panesar, A., Ruben, C., Rud, S., Saywell, D., Schertenleib, R., Verhagen, J., Wachtler, A. (2008) SuSanA – Thematic paper, Sustainable sanitation for cities, version 1.2, Sustainable Sanitation Alliance. [http://www.susana.org/docs\\_ccbk/susana\\_download/2-103-en-susana-thematic-paper-wg06-cities-version-12.pdf](http://www.susana.org/docs_ccbk/susana_download/2-103-en-susana-thematic-paper-wg06-cities-version-12.pdf)
- Cofe, O., Awuah, E. (2008) Technology and Institutional Innovation on Irrigated Urban Agriculture in Accra, Ghana, Urban Agriculture Magazine: Water for Urban Agriculture No. 20, Leusden, The Netherlands. <http://www.ruaf.org/node/1861>
- Cofe, O., van Veenhuizen, R. (2008) Sustainable Use of Water in Urban Agriculture, Urban Agriculture Magazine: Water for Urban Agriculture No. 20, Leusden, The Netherlands. <http://www.ruaf.org>
- Gaviano, A., Zambrano, D. A., Galvis, A., Rousseau, D. (2009) Application of natural treatment systems for wastewater pollution control in the expansion areas of Cali, Colombia, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands. [www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)
- He Qiang, Huang Li, Zhai Jun (2008) Application of sustainable water system – the demonstration in Chengdu (China), Chongqing University, Chongqing, China. [www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)
- International Water Association (2006) Sanitation 21: Simple Approaches to Complex Sanitation, A Draft Framework for Analysis, International Water Association, London, UK. <http://www.iwahq.org/Mainwebsite/Resources/Document/Sanitation21.pdf>
- Ji, W., Cai, J., van Veenhuizen, M. (2010) Efficiency and Economy of New Agricultural Rainwater Harvesting System, Chinese Journal of Population, resources and Environment Vol. 8 No. 2 March 2010.
- Ji, W., Cai, J., van Veenhuizen, R. (2008) Alternative water sources for agricultural production in Beijing, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, and ETC Foundation, Leusden, The Netherlands.
- Kujawa-Roeleveld, K. (2011) Training Material - Pharmaceutical compounds in the environment: Removal of pharmaceuticals from concentrated wastewater streams in source oriented sanitation, Wageningen University, The Netherlands. [www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)
- Lüthi, C., Panesar, A., Schütze, T., Norström, A., McConville, J., Parkinson, J., Saywell, D., Ingle, R. (2011). Sustainable Sanitation in Cities – A Framework for Action. Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA) & International Forum on Urbanism (IFoU), Papiroz Publishing House, The Netherlands. <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbktypeitem&type=2&id=1019>

Mels, A. et al (2009) Cross-country assessment of the adoption, operational functioning and performance of urban ecosan systems inside and outside the EU, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.  
[www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)

Merzthal, G., Bustamante, E. (2008) Using Treated Domestic Wastewater for Urban Agriculture and Green Areas; The case of Lima, Urban Agriculture Magazine: Water for Urban Agriculture No. 20, Leusden, The Netherlands.  
[http://www.susana.org/docs\\_ccbk/susana\\_download/2-345-ua-magazine-no20-2008-water-urban-agriculture-resource-center-food-security-nl-en.pdf](http://www.susana.org/docs_ccbk/susana_download/2-345-ua-magazine-no20-2008-water-urban-agriculture-resource-center-food-security-nl-en.pdf)

National Technical University of Athens (2007) SWITCH Briefing Note: On-site wastewater treatment, recycling and reuse, NTUA, Athens, Greece.  
[www.switchurbanwater.eu](http://www.switchurbanwater.eu)

National Technical University of Athens (2007) SWITCH Briefing Note: Wastewater treatment and reuse, NTUA, Athens, Greece.  
[www.switchurbanwater.eu](http://www.switchurbanwater.eu)

Sharma, S. K., Harun, C. M., Amy, G. (2007) Framework for Assessment of Performance of Soil Aquifer Treatment Systems, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands. [http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/WP3-2\\_PAP\\_Framework\\_for\\_assessment\\_of\\_SAT\\_systems.pdf](http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/WP3-2_PAP_Framework_for_assessment_of_SAT_systems.pdf)

Shrestha, R. (2007) Possibilities for recycling domestic wastewater with vertical flow constructed wetlands, MSc Thesis ES 07-44, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.  
[www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)

Snel, M. (2008) Drivers and barriers for scaling up ecological sanitation, IRC International Water and Sanitation Centre, The Hague, The Netherlands.  
[http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/%23archive\\_deliverables/WP4-1\\_DEL\\_Scaling\\_Up\\_Ecological\\_Sanitation.pdf](http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/%23archive_deliverables/WP4-1_DEL_Scaling_Up_Ecological_Sanitation.pdf)

Tettenborn, F., Stoll, N., Wang, S., Winker, M., Otterpohl, R. (2009) Inventory of agricultural demand and value of the application of ecosan fertilizers in SWITCH demonstration cities - Inventory of agricultural demand in Accra and Beijing, Hamburg University of Technology, Germany. [www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)

Tilley, E. et al (2008) Compendium of Sanitation Systems and Technologies, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland.  
[http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/compendium\\_e/index\\_EN](http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/compendium_e/index_EN)

UNESCO-IHE (2008) SWITCH Literature review on the use of natural systems for wastewater treatment, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.  
[www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)

van der Steen, P. (2011) Application of Sustainability Indicators within the framework of Strategic Planning for Integrated Urban Water Management, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.  
[www.switchtraining.eu/switch-resources](http://www.switchtraining.eu/switch-resources)

# Notas

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 978-3-943107-07-4 (PDF)  
 ISBN 978-3-943107-02-9 (CD-ROM)