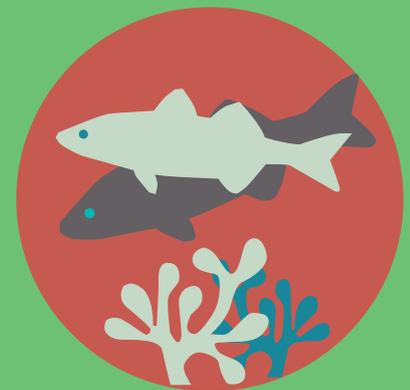
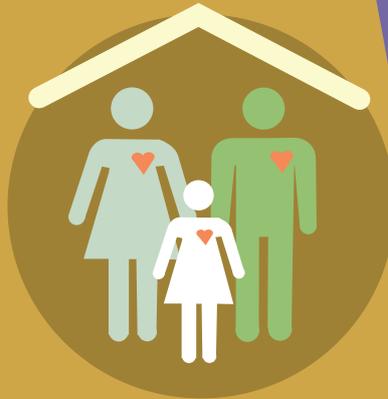


SANEAMIENTO, GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y SOSTENIBILIDAD

DE LA DISPOSICIÓN DE DESECHOS A LA
RECUPERACIÓN DE RECURSOS

2^a
EDICIÓN



Copyright © United Nations Environment Programme and Stockholm Environment Institute, 2016, 2021

Esta publicación puede ser reproducida en su totalidad o en parte y en cualquier forma para efectos educativos o sin ánimo de lucro sin la autorización especial de quienes detentan los derechos de autor, siempre y cuando se reconozca la fuente.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI) agradecerían recibir una copia de cualquier publicación que utilice el presente documento como fuente. No se permite el uso de esta publicación para reventa o cualquier otro propósito comercial sin previa autorización escrita de PNUMA Y SEI.

Editor: Caspar Trimmer, SEI

Diseño/diagramación: UNEP DCPI y SEI
Traducción al español: Jeannette Insignares, Orbis Traducciones

ISBN (PRINT): 978-91-86125-50-9

ISBN (PDF): 978-91-86125-50-9

RECONOCIMIENTOS

SEI y PNUMA expresan su sincero agradecimiento a todas las instituciones y personas que ayudaron a hacer posible esta publicación.

En particular, quisiéramos agradecer a los investigadores que contribuyeron a nuestros estudios de caso, especialmente a Simone Bittencourt, Cleverson Vitório Andreoli, Miguel Mansur Aisse, Beatriz Monte Serrat, Ricardo Franci, Rafaela Flach y Denise Silvetti.

Quisiéramos expresar también nuestro reconocimiento a las muchas personas que nos suministraron su invaluable retroalimentación sobre versiones anteriores. Sin seguir un orden en especial, agradecemos a los siguientes revisores expertos por sus aportes: Neil Macleod, exdirector de Agua y Saneamiento de eThekwini; Claudia Wendland, HAMBURG

Descargo de responsabilidad

Las designaciones utilizadas y la presentación del material de esta publicación no implican la expresión de ninguna opinión en absoluto de parte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente respecto al carácter jurídico de ningún país, territorio, ciudad o zona, ni de sus autoridades, ni respecto a la delimitación de sus fronteras o límites. Además, las opiniones expresadas no necesariamente representan la decisión o la política establecida del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, como tampoco la referencia a nombres o procesos comerciales constituye un respaldo a los mismos.

Citación sugerida:

Andersson, K., Rosemarin, A., Lamizana, B., Kvarnström, E., McConville, J., Seidu, R., Dickin, S. and Trimmer, C. (2021). *Saneamiento, gestión de aguas residuales y sostenibilidad: de la disposición de desechos a la recuperación de recursos*. 2da edición. Nairobi y Estocolmo: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo.

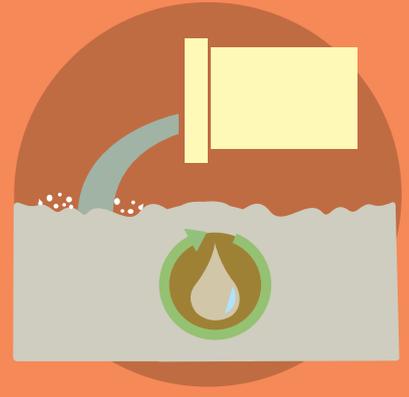
WASSER; Mariska Ronteltap, Delfland Water Authority; Petter D. Jenssen, Universidad Noruega de Ciencias de la Vida; Louise Karlberg, Sociedad Sueca para la Protección de la Naturaleza; Valerie Naidoo, Comisión de Investigación de Aguas de Sudáfrica; Gustavo Heredia, Fundación AGUATUYA; Anders Finnson, Svenskt Vatten; y Carla Liera, Linus Dagerskog, Jairo Mosquera, Adriana Soto y Madeleine Fogde, SEI.

Esta publicación fue financiada conjuntamente por el Programa Global de Acción para la Protección del Ambiente Marino de las Actividades realizadas en Tierra (GPA), de PNUMA, y el SEI. La traducción a español se realizó con apoyo del programa de Bolivia WATCH, financiado por la Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Asdi) y la Embajada de Suecia en Bolivia.

SANEAMIENTO, GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y SOSTENIBILIDAD

DE LA DISPOSICIÓN DE DESECHOS A LA
RECUPERACIÓN DE RECURSOS

2^a
EDICIÓN



Kim Andersson, Arno Rosemarin, Birguy Lamizana, Elisabeth Kvarnström, Jennifer McConville, Razak Seidu, Sarah Dickin y Caspar Trimmer

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Programa Global de Acción para la Protección del Ambiente Marino de las Actividades realizadas en Tierra y el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI).



PREFACIO

Las aguas residuales y las excretas humanas se consideran habitualmente como productos de desecho inservibles y potencialmente peligrosos. No obstante, pueden ser también recursos valiosos. La materia orgánica contenida en nuestras excretas y aguas residuales se podría utilizar para mejorar los suelos o para producir gas biológico, de encendido limpio y bajo en carbono y, de ser tratadas adecuadamente, las aguas residuales se pueden usar para irrigación en la agricultura e incluso como agua potable.

Dar un uso productivo a estos recursos es un propósito importante, pero, para que esto suceda, es necesario que se dé un cambio de percepción. Adicionalmente, dado que un saneamiento e higiene deficientes constituyen una de las mayores causas de mortalidad en niños menores de 5 años en países en desarrollo, el mejoramiento de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales daría como resultado evidentes beneficios para la salud. El objetivo de este libro es ayudar a la realización de este cambio, al mostrar cómo una mejor gestión del saneamiento y de las aguas residuales puede beneficiar tanto a los seres humanos como al medio ambiente.

Sin embargo, el presente libro se proyecta más allá de la salud humana, la protección del ambiente marino y la recuperación de recursos, hacia otras muchas maneras en las que los sistemas sostenibles de saneamiento y aguas residuales pueden contribuir al cumplimiento de las metas sociales, ambientales y económicas de la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030. Hay oportunidades laborales, por ejemplo, a lo largo de toda la cadena de valor de saneamiento y aguas residuales de esta economía circular, además de ganancias potenciales para la educación, la productividad económica y la igualdad de género. Las comunidades pueden

hacerse también más resilientes a los peligros naturales y a aquellos generados por el hombre. Y los ecosistemas pueden ofrecer con mayor facilidad servicios para sostener la vida y los estilos de vida. Adicionalmente, una mejor gestión de los sistemas de saneamiento y aguas residuales puede hacer importantes contribuciones a la mitigación del cambio climático y a la adaptación a este, que con frecuencia se pasan por alto. Mejorar la gestión de aguas residuales y saneamiento a nivel global y, en particular, en los países en desarrollo, no es algo que pueda hacerse con rapidez. Más aún, se requieren inversiones sustanciales.

La primera edición del libro fue bien recibida por una amplia audiencia, pues ofrecía ejemplos ilustrativos y tomados del mundo real acerca de cómo lograr la sostenibilidad del saneamiento y de la gestión de las aguas residuales. En esta segunda edición, nos hemos extendido más sobre dimensiones tales como la economía circular, respuestas ante emergencias y la gestión de la higiene menstrual. Incluimos también dos nuevas soluciones para la reutilización y la recuperación de los recursos—en la sección de estudios de caso al final del libro—que representan diferentes extremos de la escala socioeconómica: un sistema urbano cerrado en Hamburgo, y la producción de combustible sólido a partir de lodos fecales en Kenia.

Esperamos que esta segunda edición del libro siga inspirando a diseñadores actuales y futuros de políticas, así como a actores de la sociedad civil y del sector privado, para comenzar a avanzar hacia un futuro en el cual las aguas residuales y los sistemas sanitarios hagan valiosos aportes a la promoción de comunidades sanas y sostenibles, mientras que, a la vez, contribuyan a un medio ambiente más sano.



Måns Nilsson, PhD

Director Ejecutivo Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo



Susan Gardner

Directora División de Ecosistemas ONU Medio Ambiente

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Saneamiento, aguas residuales y sostenibilidad	1
1.2 La situación actual	5
1.3 Gestión del saneamiento y de las aguas residuales, y Agenda 2030	7
1.4 La economía circular. Un modelo emergente que promueve la eficiencia y la recuperación de los recursos	8
1.5 ¿Qué significa “gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales”?	10
1.6 Propósitos de este libro	11
2. EL VALOR AGREGADO DE LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL SANEAMIENTO Y DE LAS AGUAS RESIDUALES	14
2.1 Beneficios para la salud y beneficios sociales	14
2.2 Productividad agrícola y calidad del suelo	16
2.3 Seguridad del agua	18
2.4 Energía limpia	19
2.5 Mitigación del cambio climático	20
2.6 Protección ambiental y servicios más sanos de los ecosistemas	21
2.7 Comercio verde y oportunidades de empleo	22
3. GESTIÓN Y RECUPERACIÓN DE RECURSOS	24
3.1 Estado actual	24
3.2 Del uso lineal al uso cíclico de los recursos	26
3.3 Identificación de la demanda y disponibilidad de los recursos	28
4. FUNCIONALIDAD TÉCNICA	40
4.1 El diseño de un sistema	40
4.2 Factores geográficos y geofísicos	42
4.3 Factores operativos	44
4.4 Separación en la fuente	45
4.5 Tratamiento	51
4.6 Planeación y diseño a largo plazo	54
4.7 Respuesta ante emergencias	55
4.8 Herramientas de apoyo a la toma de decisiones	57
5. PROTECCIÓN Y PROMOCIÓN DE LA SALUD HUMANA	59
5.1 Peligros presentes en los flujos de desechos	60
5.2 Vías de exposición y riesgos para la salud	61
5.3 Protección de la salud en la recuperación y reutilización de recursos	64
5.4 Gestión de riesgos para la salud	67
6. SOSTENIBILIDAD Y PROTECCIÓN AMBIENTAL	75
6.1 Riesgos ambientales	76
6.2 Respuestas de protección	79
6.3 Recuperación y reutilización como impulsores de la protección ambiental	81
7. ASPECTOS INSTITUCIONALES Y SOCIALES DE LA SOSTENIBILIDAD	84
7.1 Sistemas de gobernanza para la recuperación y la reutilización de los recursos	84
7.2 Gobierno del ámbito privado del usuario	86
7.3 Gobierno del ámbito público y del ámbito privado de los reutilizadores	91
8. ECONOMÍA Y FINANCIAMIENTO	108
8.1 Aspectos económicos de la brecha en la gestión del saneamiento y de las aguas residuales	108
8.2 Financiamiento de la gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales	110
8.3 Financiamiento en el ámbito público	111
8.4 Financiamiento en el ámbito privado	113
8.5 Implicaciones financieras de la recuperación y la reutilización	116
8.6 Gestión de saneamiento y aguas residuales en un contexto de desarrollo	121
9. EJEMPLOS PRÁCTICOS DE SISTEMAS TÉCNICOS PARA LA RECUPERACIÓN SEGURA DE RECURSOS	123
ESTUDIO DE CASO 9.1 Recuperación de agua del alcantarillado municipal: Planta de recuperación de agua New Goreangab en Windhoek, Namibia	124
ESTUDIO DE CASO 9.2 Reutilización de aguas grises en edificios de apartamentos individuales en Vitória, Brasil	126

ESTUDIO DE CASO 9.3	Agricultura en una región semidesértica, con agua y nutrientes provenientes del alcantarillado: Gerga, Gobernación de Sohag, Egipto	128
ESTUDIO DE CASO 9.4	Reutilización de aguas negras domésticas en agricultura; tecnología de compostaje líquido, Höllö, Suecia	130
ESTUDIO DE CASO 9.5	Gestión descentralizada de excretas y reutilización de aguas grises locales en una comunidad periurbana: El Alto, Bolivia	132
ESTUDIO DE CASO 9.6	Reutilización de lodos de alcantarillado en la agricultura, Estado de Paraná, Brasil	134
ESTUDIO DE CASO 9.7	Sistemas in situ para biogás y fertilizante: China	136
ESTUDIO DE CASO 9.8	Alimento proteínico para el ganado a partir de heces con mosca soldado negra: eThekwini, Sudáfrica	138
ESTUDIO DE CASO 9.9	Sistema de aguas residuales de circuito cerrado: Hamburgo, Alemania	140
ESTUDIO DE CASO 9.10	Servicio de saneamiento fuera de red que transforma los lodos fecales en briquetas de carbón: Kenia	142
10. OBSERVACIONES FINALES		144
REFERENCIAS		146
LOS AUTORES		161

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1-1	Acceso deficiente al saneamiento, contaminación de aguas residuales, desnutrición, baja fertilidad de suelos y escasez de agua: problemas relacionados con soluciones comunes	4
CUADRO 3.1.	Fertilizantes químicos: productividad agrícola, pero ¿a qué costo?	27
CUADRO 3.2	Estimación del valor potencial de los recursos de los desechos	29
CUADRO 4.1	Recuperación de recursos para respuesta ante emergencias	56
CUADRO 5.1	Eficacia y rentabilidad de las intervenciones para la irrigación con aguas residuales en zonas urbanas de Ghana	71
CUADRO 5.2	Directrices locales para la aplicación de lodos fecales en el norte de Ghana	73
CUADRO 6.1	Programa UNEP GEMS para el agua: pionero en la monitorización de la calidad del agua	75
CUADRO 6.2	Planeación integrada de WASH y manejo de cuencas, Bolivia	77
CUADRO 6.3	Productos farmacéuticos en las aguas residuales	79
CUADRO 6.4	La industria de la pulpa y el papel: de molinos sucios a biorrefinerías	80
CUADRO 6.5	REVAQ: certificación de plantas de tratamiento de aguas residuales en Suecia	82
CUADRO 7.1	Ámbitos privado y público en los sistemas rurales y periurbanos	85
CUADRO 7.2	Transmisión del mensaje correcto: reutilización de la orina en Níger	87
CUADRO 7.3	Atención a las necesidades de higiene menstrual	91
CUADRO 7.4	Traducción de los principios de Ostrom al contexto de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales	93
CUADRO 7.5	Usar la geografía, no los sistemas, para establecer la jurisdicción de las empresas de servicios	94
CUADRO 7.6	Servicios de gestión de lodos fecales desarrollados orgánicamente en Bengaluru, India	96
CUADRO 7.7	Planeación y gobernanza participativas mediante el uso del enfoque CLUES	98
CUADRO 7.8	Asociaciones de prestación de servicios: los modelos SISAR y COPANOR	101
CUADRO 7.9	Reglamentación del saneamiento in situ en Suecia: basada en las funciones y decidida localmente	
CUADRO 7.10	Estándares de certificación en Suecia para fracciones de aguas residuales	103
CUADRO 7.11	eThekwini Agua y Saneamiento: Durban, Sudáfrica	105
CUADRO 7.12	Construcción de un sistema para la recuperación de los recursos y no usarlo: Kullön, Suecia	106
CUADRO 8.1	Ejemplos de esquemas de financiamiento novedosos y sus características básicas	115

1. INTRODUCCIÓN



1.1 Saneamiento, aguas residuales y sostenibilidad

En la actualidad, pocas áreas de inversión tienen tanto que ofrecer al cambio global hacia el desarrollo sostenible como la gestión del saneamiento y de las aguas residuales.¹ Las brechas en el acceso a un saneamiento adecuado y operativo son claros indicadores de desigualdad y desventaja. Una gestión poco segura de las excretas y las aguas residuales expone a las poblaciones a enfermedades y degrada los ecosistemas y los servicios que estos suministran.

Al mismo tiempo, existe el creciente reconocimiento de que las sociedades ya no pueden permitirse desperdiciar el agua, los nutrientes, la materia orgánica y la energía contenidas en los flujos de saneamiento y en otros flujos de aguas residuales y desechos orgánicos. Estos recursos pueden, y deberían, recuperarse de manera segura y reutilizarse productivamente. De hecho, la visión de economías circulares que manejen los recursos en forma eficiente no se puede lograr sin introducir un cambio radical en la forma en que gestionamos las aguas residuales, las excretas y otros desechos de biomasa.

En este libro se expone cómo se podría generar un cambio radical semejante. Se sintetizan algunas de las teorías y experiencias más recientes

sobre cómo hacer más sostenible la gestión del saneamiento y de las aguas residuales, y acerca de cómo esta puede contribuir a una sostenibilidad social más amplia. En particular, se centra en la idea de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales como funciones de la gestión de recursos, como maneras de preservar valiosos recursos disponibles para usos productivos que apoyen el bienestar humano y una sostenibilidad de mayor alcance.

Para poner en perspectiva la escala de oportunidad, cada día producimos en el mundo entero un estimado de 9,5 millones de m³ de excretas humanas² y 900 millones de m³ de aguas residuales municipales (Mateo-Sagasta et al. 2015). Estos desechos contienen suficientes nutrientes para sustituir el 25 % del nitrógeno utilizado actualmente para fertilizar las tierras agrícolas en forma de fertilizadores sintéticos, y el 15 % del fósforo, junto con agua suficiente para irrigar el 15 % de todas las tierras de cultivo irrigadas actualmente en el mundo (cerca de 40 millones de hectáreas; Mateo-Sagasta et al. 2015). A escala de las ciudades, las aguas residuales (incluyendo excretas) de una ciudad de 10 millones de personas contienen suficientes nutrientes vegetales recuperables para fertilizar cerca de 500.000 hectáreas de tierras de cultivo las cuales, a su vez, podrían producir cerca de 1,5 millones de toneladas de cosechas.³

¹ Aun cuando los desechos sanitarios se consideran con frecuencia parte de las aguas residuales, este informe los aborda por separado para reflejar el hecho de que muchos sistemas de saneamiento son "secos", es decir, no incluyen descargas de agua y mantienen las heces y la orina separadas de otros flujos de aguas residuales. Esta separación de excretas en la fuente, tal como la discutiremos en el Capítulo 4, a menudo es una función deseable dentro de los sistemas de saneamiento sostenibles.

² Basado en 1,3 litros de excretas por persona y una población mundial de 7,3 mil millones de personas.

³ Basado en que una persona produce aproximadamente 5 kg de equivalentes de nutrientes por año, a una tasa de fertilización de 100 kg/hectárea de tierra de cultivos que produce 3 toneladas de grano por hectárea.

Las oportunidades resultan aún más evidentes cuando consideramos dónde están las brechas más grandes en el suministro. Como lo ilustran los mapas de la Figura 1.1, estas brechas se encuentran principalmente en el África subsahariana y en el sur de Asia. Estas regiones se ven severamente afectadas por algunos

de los desafíos clave para el desarrollo, los cuales podrían mitigarse mediante una gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales, como la inseguridad alimentaria y los aspectos asociados con ella, tales como la desnutrición, la escasez de agua y la erosión del suelo (ver el Cuadro 1.1). Se espera también que

FIGURA 1.1

¿El saneamiento es la solución? Cartografía de algunos de los retos globales clave que el saneamiento sostenible podría ayudar a abordar

FIGURA 1.1A

Brechas de saneamiento: Porcentaje de población con acceso a saneamiento mejorado, 2015

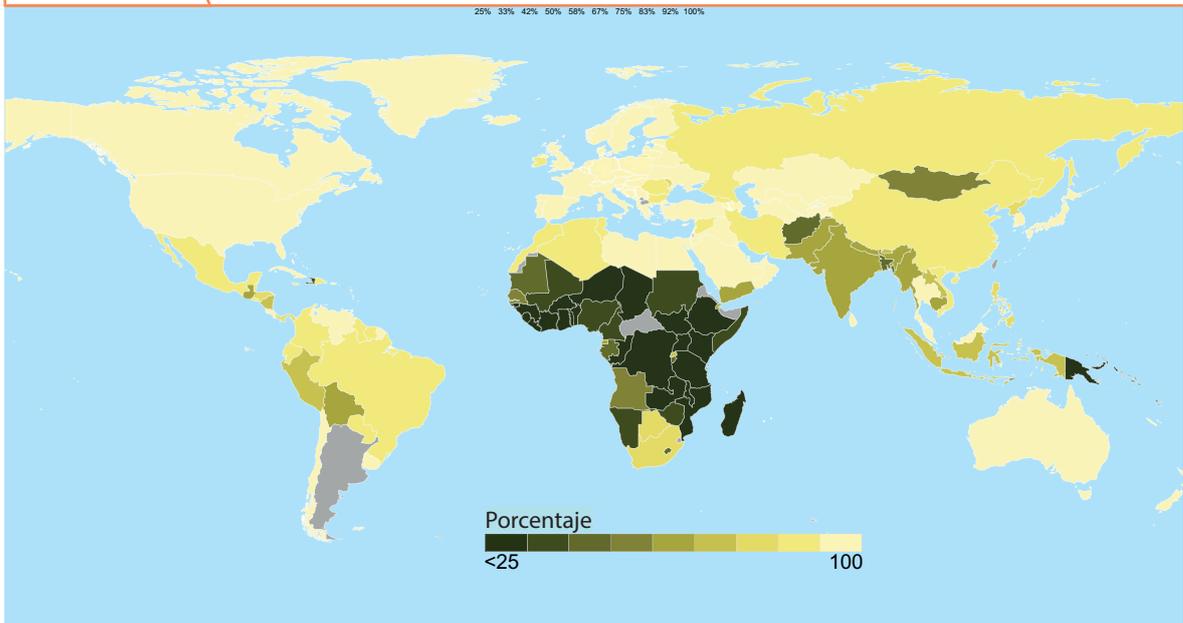


Figura: Basada en datos del Programa Conjunto de Monitoreo del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento (www.wssinfo.org/data-estimates/maps)

FIGURA 1.1B

Enfermedades: porcentaje total de muertes por enfermedades contagiosas y condiciones maternas, prenatales y en materia de nutrición, 2014

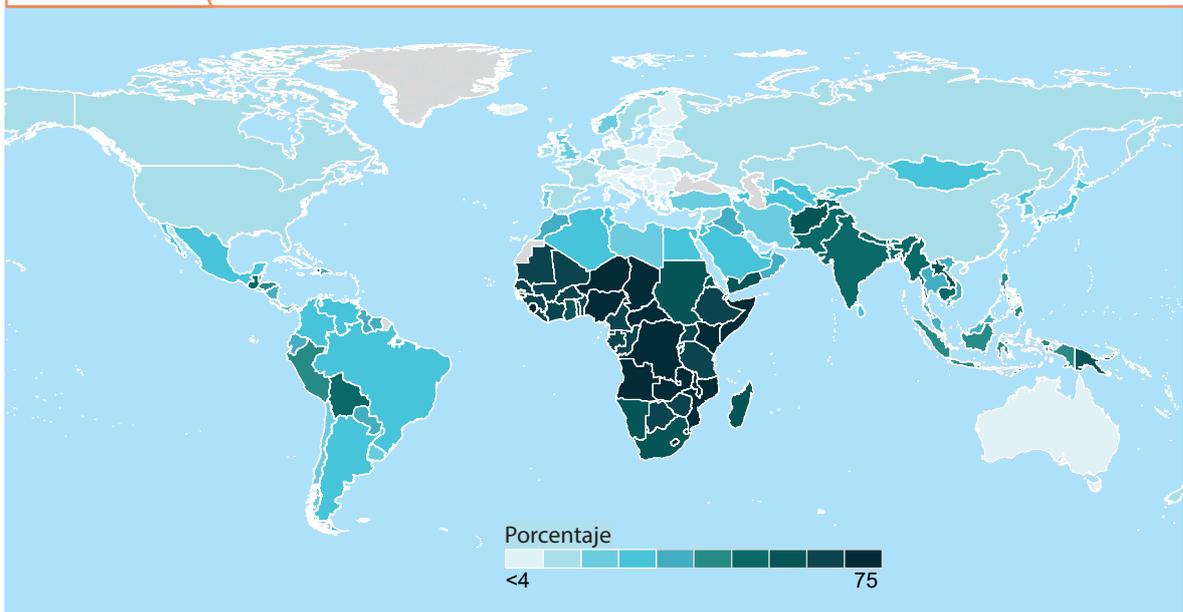


Figura: Basada en datos del Banco Mundial (<http://data.worldbank.org/indicator/SH.DTH.COMM.ZS>).

estas regiones experimenten el mayor crecimiento poblacional para 2030, según las proyecciones actuales (2030 Water Resources Group 2009). Es probable que una gran parte de esta futura población viva en ciudades de rápido crecimiento en las cuales se concentran los riesgos derivados de una gestión inadecuada del saneamiento y de las aguas residuales, así como las oportunidades de mitigar estos riesgos.

Para hacer realidad estas oportunidades, será necesario hacer enormes inversiones en sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales que permitan subsanar las brechas en el suministro y hacer la transición hacia sistemas más sostenibles. El tipo de inversiones que se hagan y de sistemas que se implementen tendrá importantes implicaciones para el desarrollo sostenible global.

FIGURA 1.1C

Escasez de agua: Zonas de escasez física o económica de agua, 2007

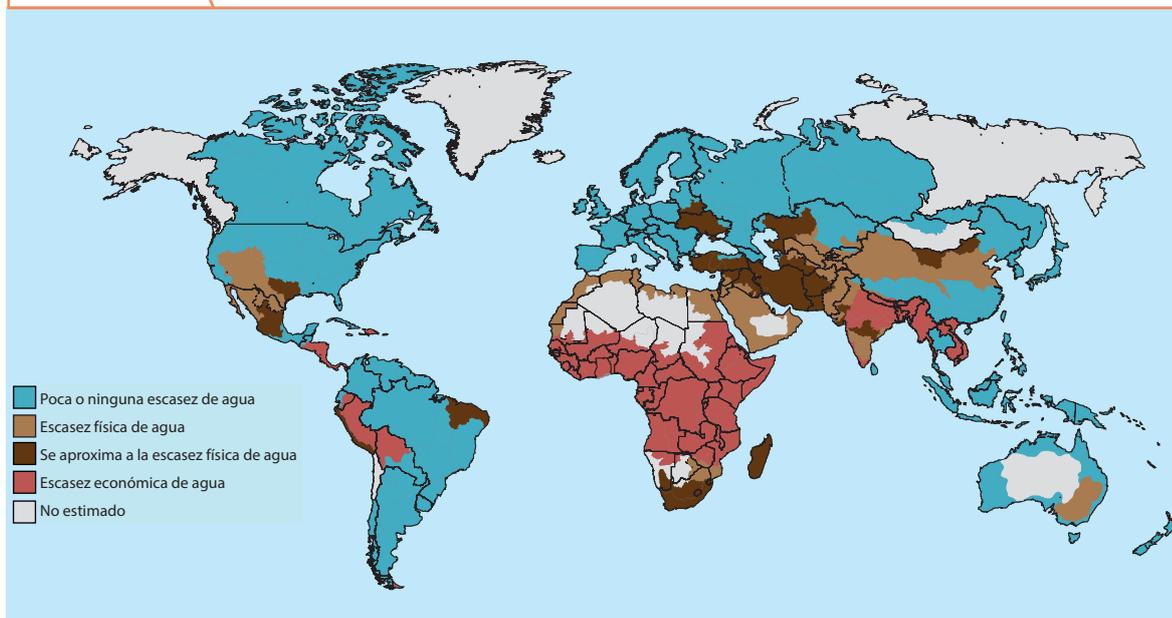


Figura: Basada en datos de International Assessment of Agricultural Science and Technology for Development (Evaluación Internacional de Ciencia y Tecnología Agrícola para el Desarrollo) (www.grida.no/graphicslib/detail/areas-of-physical-and-economic-water-scarcity_1570)

FIGURA 1.1D

Desnutrición: Porcentaje de niños menores de 5 años con atrofia del crecimiento, 2015

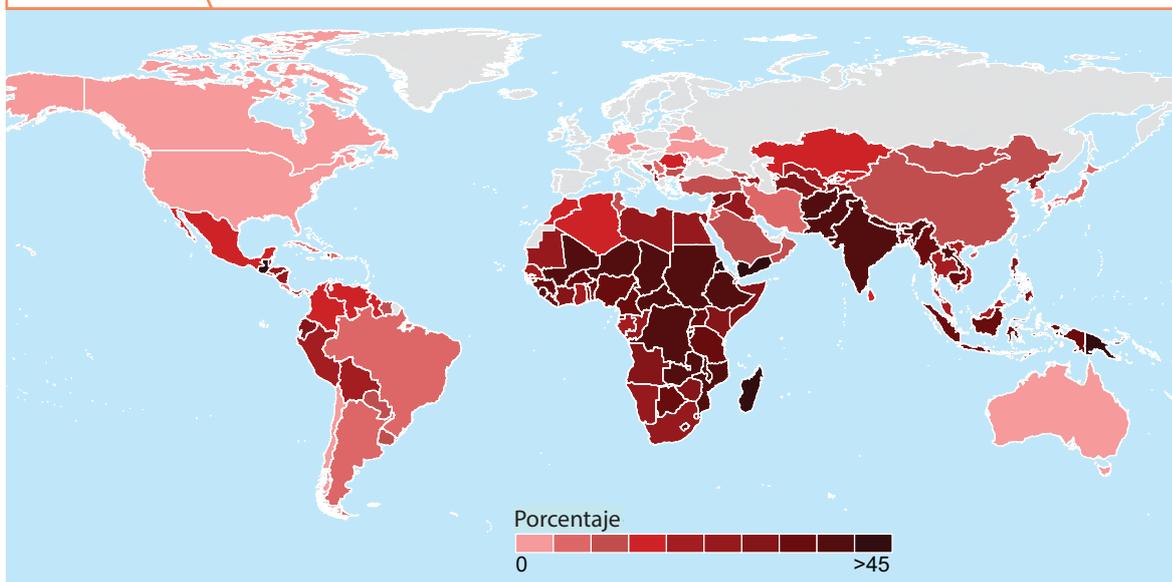


Figura: Basada en datos de UNICEF (<http://data.unicef.org/nutrition/malnutrition.html>)

Acceso deficiente al saneamiento, contaminación de aguas residuales, desnutrición, baja fertilidad de suelos y escasez de agua: problemas relacionados con soluciones comunes



Las tendencias actuales, incluyendo el crecimiento poblacional previsto y un consumo cada vez más intensivo de los recursos naturales solo aumentarán la necesidad de una mejor gestión de las excretas y de las aguas residuales. En el África subsahariana se proyecta que la demanda de agua aumente en un 283 % entre 2005 y 2030 (2030 Water Resources Group 2009). Incluso hoy en día, más de 300 de los 800 millones de personas que habitan en esta región viven en un ambiente marcado por la escasez de agua (NEPAD 2006).

Si bien la prevalencia de la desnutrición ha disminuido, el número absoluto de personas subalimentadas en el África subsahariana continúa en aumento. Se espera que la demanda de alimentos aumente con el crecimiento de la población y con el desarrollo económico. Adicionalmente, la productividad agrícola y la calidad de los suelos están disminuyendo en algunas zonas debido al agotamiento de los nutrientes de los suelos, ocasionado principalmente por una gestión inadecuada de nutrientes, aunado a la extracción de biomasa para la cocina doméstica y la producción de alimentos (Faures y Santini 2008).

Las aguas residuales sin tratar y las escorrentías de las tierras de cultivo contienen grandes cantidades de nutrientes vegetales que al llegar a los ríos, lagos y aguas costeras en grandes concentraciones pueden alterar radicalmente la manera como funcionan los ecosistemas, al estimular el crecimiento de plantas acuáticas, cambiar la composición de la flora y la fauna y privar de oxígeno a organismos que se encuentran bajo el agua, incluyendo los peces. También pueden provocar la floración de algas tóxicas que pueden hacer que el agua dulce y los moluscos sean peligrosos para los seres humanos (ver el Capítulo 6 para más información sobre la eutrofización y otros riesgos ambientales vinculados con aguas residuales y desechos de saneamiento).



Floración de algas causada por eutrofización en el Lago Dianchi, Yunnan, China. Fotografía: Greenpeace China

1.2 La situación actual

El estado actual de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales difiere enormemente en distintas partes del mundo (ver la Figura 1.2), así como los retos para hacerla más sostenible. La gestión de excretas por descargas de agua (provenientes de inodoros y redes de alcantarillado conectadas a una planta centralizada de tratamiento de aguas residuales) es lo usual en muchos lugares, especialmente en las zonas urbanas y en países más ricos. No obstante, en algunos lugares, grandes segmentos de la población carecen de conexión a una red de alcantarillado. Por ejemplo, solo cerca del 10 % de la población en algunos países africanos subsaharianos (incluyendo Costa de Marfil, Kenia, Lesoto, Madagascar, Malawi y Uganda) están conectados a un sistema de alcantarillado (Banerjee y Morella 2011). Se estima que en el mundo entero cerca de 2,7 mil millones de personas utilizan algún tipo de sistema de saneamiento in situ (por ejemplo, letrina, tanque séptico) que requiere gestión de los lodos fecales (ver el Capítulo 4). Se espera que para 2030 los usuarios de saneamiento in situ se dupliquen (Strande et al. 2014).

Más aún, en muchos países las aguas residuales y las excretas sin tratar contaminan las calles, las tierras agrícolas y los cuerpos de agua dulce. No obstante, cuando se hacen generalizaciones acerca de la situación global, es importante reconocer que la información disponible es

limitada en lo que respecta a la gestión de aguas residuales en el mundo. Según una evaluación global, únicamente 55 países han recolectado datos completos sobre la gestión de sus aguas residuales, que incluyen información sobre su producción, tratamiento y reutilización, mientras que otros 57 países no han recolectado ninguna información. Con base en los datos disponibles, se ha estimado que en los países de altos ingresos, en promedio, el 30 % de las aguas residuales se descargan sin ser tratadas; esta cifra aumenta al 62 y 72 %, respectivamente, en países de ingresos medio-alto y medio-bajo, y al 92 % en los países de bajos ingresos (Sato et al. 2013). Según otro análisis, a nivel global, quizás el 90 % de las aguas residuales que se descargan al medio ambiente no recibe tratamiento (Corcoran et al. 2010).

El desarrollo de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales es muy diferente en distintas partes del mundo. La Figura 1.3 ilustra lo anterior, al comparar las tendencias en las poblaciones urbanas y en los sistemas de saneamiento para el África subsahariana y América Latina.

Muchos factores influyen en el desarrollo del saneamiento, entre ellos los patrones de urbanización, la infraestructura existente y las preconcepciones acerca de lo que constituye un saneamiento “moderno.” En muchos casos, las tendencias actuales parecen incompatibles con el desarrollo sostenible. Por ejemplo, mientras que los sistemas centralizados que utilizan agua se asocian en general con la modernidad y el progreso, se están construyendo en zonas

FIGURA 1.2

Proporción de población atendida por diferentes tecnologías de saneamiento, por región

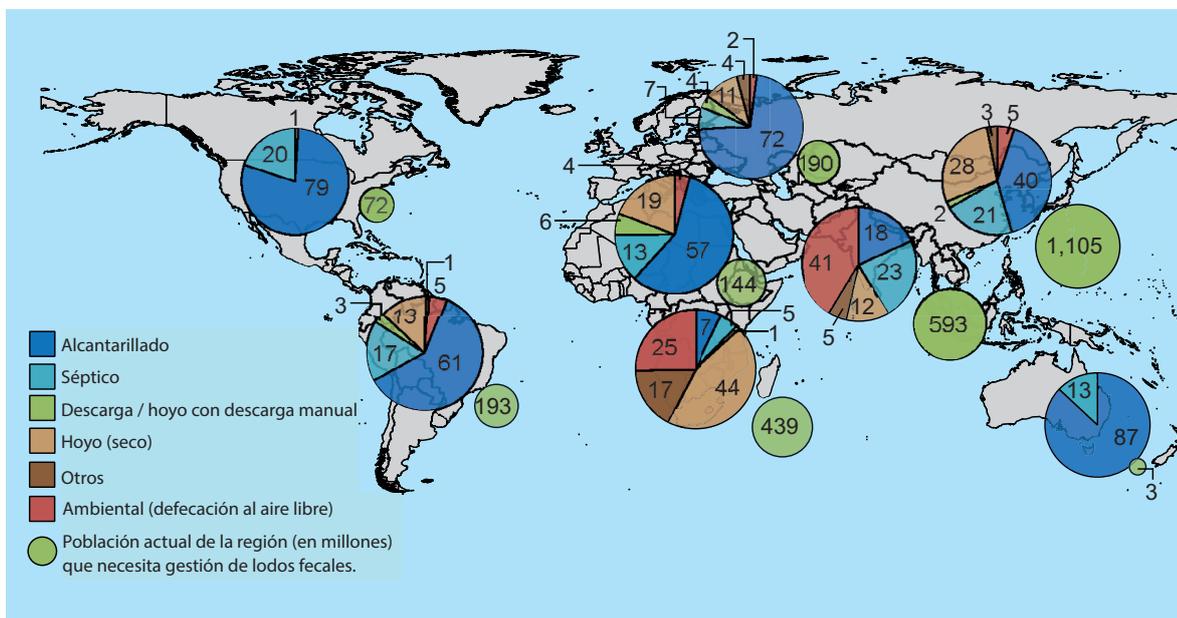


Figura: Basada en datos del Boston Consulting Group analysis of UN Joint Monitoring Programme, tomado de Strande et al. 2014.

que enfrentan una competencia creciente para obtener recursos de agua limitados. Si se considera África en su totalidad, únicamente el 15 % de la población tiene conexión a redes de agua por tubería (Banerjee y Morella 2011), lo que hace que la gestión de excretas transportadas por el agua resulte mucho más difícil. Como lo intenta mostrar este libro, se está reconociendo que los sistemas que utilizan poca agua o que no la usan en absoluto son a menudo la solución más adecuada y sostenible, incluso en países de altos ingresos.

El sector de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales ha sufrido debido a la falta de prioridades políticas, lo cual complica aún más los complejos retos que enfrenta. Por ejemplo, una gobernanza deficiente (con reglamentaciones y cumplimiento débiles, capacidad limitada de las autoridades y de los proveedores del servicio) y una atención inadecuada a la operación y el mantenimiento (O y M), han llevado al mal funcionamiento de los sistemas y a su inutilización, en particular en lo que respecta a las instalaciones compartidas o públicas. Adicionalmente, con mucha frecuencia los programas de saneamiento no logran superar las barreras culturales que impiden mantener un cambio de comportamiento (por ejemplo, terminar con la defecación al aire libre).

La dificultad de superar estos retos se puede apreciar en la baja cobertura alcanzada y en las altas tasas de fracaso de los proyectos de gestión del saneamiento y de las aguas residuales reportados en muchos países alrededor del mundo. En Camboya, por ejemplo, después de una campaña de promoción de saneamiento, solo el 15 % de los hogares con letrina la usaron regularmente (WSP 2012). De forma análoga, una revisión general de las instalaciones sanitarias de las escuelas en el sur de Asia mostró que del 30 al 60 % no funcionaban adecuadamente (UNICEF 2012b). Para más información sobre este problema, ver, por ejemplo, WWAP (2015), Galli et al. (2014), Schweitzer et al. (2015) y Corcoran et al. (2010).

Por otra parte, a pesar de los importantes esfuerzos realizados, muchas personas aún no tienen acceso a un sanitario seguro y funcional. Se estima que en 2015, 2,4 mil millones de personas no utilizaban una instalación de saneamiento mejorada, incluyendo a casi mil millones de personas que aún recurrían a la defecación al aire libre (JMP 2015). La mayoría de estas personas vivía en países de ingresos medios (UN 2014). Sin embargo, esta cifra no tiene en cuenta los sistemas de tuberías disfuncionales usados para gestión del saneamiento y de las aguas residuales, que representan un peligro si las aguas residuales sin tratar se descargan en el medio ambiente humano y natural. Si se tuvieran en cuenta, podría decirse entonces que quizás 4,1 mil millones

FIGURA 1.3

Tendencias poblacionales y de sistemas de saneamiento, regiones seleccionadas

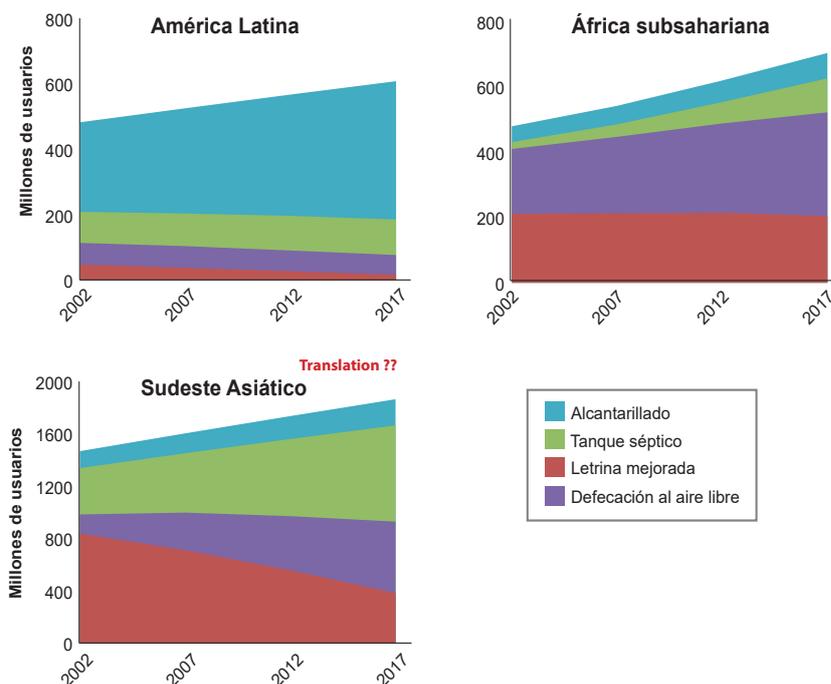


Figura: Basado en datos de washdata.org

de personas — el 60 % de la humanidad—, no tiene un saneamiento mejorado (Baum et al. 2013). Por lo tanto, en los próximos años será necesario dedicar esfuerzos e inversiones mucho mayores al saneamiento.

Los argumentos para invertir en un saneamiento sostenible son cada vez más sólidos. Se ha establecido suficientemente que una gestión adecuada del saneamiento y de las aguas residuales será considerablemente rentable gracias a la reducción en los costos de los servicios de salud y los incrementos en la productividad relacionados con ella (WHO 2012a). El nuevo marco global para el desarrollo sostenible, adoptado en 2015 —la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)— puede proporcionar un mayor impulso y argumentos adicionales para un cambio transformador.

1.3 Gestión del saneamiento y de las aguas residuales, y Agenda 2030

Si bien muchas de las metas para 2015 de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) se han cumplido e incluso se han superado, la meta de los ODM consistente en reducir a la mitad la proporción de la población sin acceso a saneamiento básico no se cumplió por 9 puntos porcentuales.⁴ Aun cuando desde 2000 se asignaron recursos importantes a los servicios de salud, educación y a otras áreas o sectores de desarrollo, no se ha priorizado el saneamiento. El Vicesecretario General de las Naciones Unidas, Jan Eliasson, ha descrito el saneamiento como la meta “más rezagada” entre todos los ODM (Eliasson 2014).

Además, con su enfoque en el acceso al saneamiento y su incapacidad de solucionar problemas más amplios relativos a la gestión de aguas residuales y de excretas, los ODM ofrecían pocos incentivos para invertir en sistemas más sostenibles. Así, gran parte del desarrollo de la gestión de saneamiento y aguas residuales que ya se ha implementado requerirá una inversión adicional para hacerla más eficaz y, a la vez, más sostenible.

La aplicabilidad universal y el énfasis en soluciones integradas en los ODS y la Agenda más amplia para el 2030 ofrecen fuertes argumentos para invertir en una gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales. Los

ODS dedican un objetivo entero al agua y al saneamiento: “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos,” creando una mayor conciencia de los retos del saneamiento. Bajo el Objetivo 6 se encuentran dos metas relacionadas directamente con la gestión del saneamiento y de las aguas residuales:

Meta 6.2: ... lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos, y terminar con la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de mujeres y niñas y de personas en situación de vulnerabilidad.

Meta 6.3: ... mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la descarga de químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad la proporción de aguas residuales sin tratar, e incrementando sustancialmente el reciclaje y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.

Al exigir el acceso universal para satisfacer las necesidades de todas las personas, la meta 6.2 de los ODS es mucho más ambiciosa que la meta previa de los ODM, mientras que resalta también la necesidad de mejorar la higiene y poner fin a la defecación al aire libre.

El indicador para medir el progreso global con respecto a la meta 6.2 es: “el porcentaje de población que utiliza servicios de saneamiento seguros, incluyendo una instalación para el lavado de manos con agua y jabón”. “La población que utiliza servicios de saneamiento seguros” se refiere a quienes “utilizan una instalación doméstica básica de saneamiento . . . que no es compartida con otros hogares, y en la cual las excretas se contienen y eliminan de manera segura in situ o se transportan y se tratan fuera del sitio” (UN Water 2015). Es alentador, no solo por cuanto se refiere directamente al tratamiento, sino también porque enfatiza el nivel de uso en lugar de centrarse únicamente en el nivel de disponibilidad de una tecnología y, por lo tanto, incluye elementos de accesibilidad, aceptabilidad y seguridad.

La meta 6.3 de los ODS exige directamente una gestión mejorada de las aguas residuales y fundamentalmente incluye el reciclaje y la reutilización. Este uso de los términos ubica

⁴ Se estima que en 1990, cerca de la mitad de la población global de 5,3 mil millones no tenía acceso a un saneamiento mejorado, mientras que en 2015 la proporción fue cercana al 32 %, es decir, 2,4 mil millones de personas (JMP 2015).

categorícamente a la gestión de aguas residuales dentro del contexto de la eficiencia de recursos y de la economía circular.

El saneamiento sostenible puede también hacer contribuciones rentables al logro de una amplia serie de metas y objetivos de los ODS, en diferentes sectores del desarrollo. La Figura 1.4. ilustra cómo las mejoras en la gestión del saneamiento y de las aguas residuales podrían ayudar a los países a cumplir hasta 32 metas de los ODS. Asimismo, se destaca el hecho de que el número de metas atendidas aumenta con el nivel de ambición en las inversiones para la gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales. A manera de ejemplo, en los niveles de ambición más básicos (poner fin a la defecación al aire libre e impedir la exposición humana a patógenos y sustancias tóxicas contenidos en excretas y aguas residuales), el mejoramiento de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales puede evitar una gran carga de enfermedades infecciosas (Objetivo 3), y especialmente la mortalidad infantil. Una menor incidencia de enfermedades significa menos días perdidos para la educación (Objetivo 4) y el trabajo productivo.

Si los sistemas están dirigidos también a prevenir la descarga de aguas residuales sin tratar a los ecosistemas naturales y a reducir el vertimiento de nutrientes desde las tierras agrícolas mediante la reutilización de materia orgánica, podrían mejorar las condiciones del agua dulce y de los ecosistemas costeros, así como los servicios que estos suministran (Objetivo 14). Recuperar y reutilizar los valiosos recursos presentes en las excretas y en las aguas residuales contribuye también a la eficiencia de los recursos (Objetivo 12), y puede ayudar a mejorar la seguridad alimentaria (Objetivo 2). Las cadenas de valor de la gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales ofrecen nuevas oportunidades de subsistencia (Objetivos 1 y 8).

Hacer que las ciudades del mañana sean habitables (Objetivo 11) resulta impensable sin una gestión adecuada del saneamiento y de las aguas residuales. Más aún, el “acceso equitativo” a un saneamiento adecuado puede también contribuir a lograr las metas de no discriminación incluidas en el Objetivo 5, mediante el aumento de la participación en la escuela, en la fuerza laboral, en las instituciones y en la vida pública. La carencia de instalaciones adecuadas excluye a las mujeres, a las niñas y a las personas en condición de discapacidad, especialmente durante la menstruación, e incrementa el riesgo de la violencia basada en el género.

El saneamiento ha desempeñado un papel clave al permitir y catalizar el desarrollo a lo largo de la historia, haciendo posible la expansión de las ciudades y contribuir al mantenimiento de poblaciones urbanas cada vez más sanas. La gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales será central, incluso fundamental, para cumplir con la Agenda 2030.

1.4 La economía circular. Un modelo emergente que promueve la eficiencia y la recuperación de los recursos

Como se describió en la Sección 1.3, un incremento de eficiencia en el uso, reutilización y reciclaje de los recursos que se encuentran en los excrementos y en las aguas residuales pueden contribuir al cumplimiento de múltiples ODS. La gestión sostenible de los recursos naturales es también uno de los enfoques fundamentales de la economía circular. El concepto de economía circular ha ganado un gran reconocimiento en la última década; su principal ambición es desvincular la actividad económica del consumo de recursos finitos.

En muchas partes del mundo se han adoptado políticas y planes de economía circular en el ámbito regional, nacional y municipal (Ddiba et al 2020). En 2015, por ejemplo, la Comisión Europea introdujo su primer “paquete” de economía circular, que incluía un plan de acción para toda la Unión Europea con cinco áreas prioritarias: plásticos, desechos alimentarios, materias primas críticas, desechos de construcción y demolición, biomasa y productos biológicos (Comisión Europea, 2015). El plan incluye el texto siguiente:

La reutilización de las aguas residuales tratadas en condiciones seguras y rentables es un medio valioso, aunque poco usado, de incrementar el suministro de agua y de aliviar la presión sobre los recursos hídricos sobreexplotados en la UE. La reutilización del agua en la agricultura aporta también al reciclaje de nutrientes mediante la sustitución de los fertilizantes sólidos. La Comisión emprenderá una serie de acciones para promover la reutilización de las aguas residuales tratadas...

Otra iniciativa de economía circular, esta vez a nivel global, es el Programa de la OCDE sobre la Economía y Gobernanza de la Economía Circular en Ciudades y Regiones. Este programa

FIGURA 1.4

Más allá del Objetivo 6: Las muchas maneras en que la gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales puede contribuir a cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Las inversiones en una gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales pueden ayudar a los países a cumplir muchas de las otras metas incluidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En esta Figura, los bloques de colores indican qué metas se pueden promover mediante la provisión de sistemas sostenibles con funciones cada vez más avanzadas y ambiciosas. Los recuadros semisombreados indican una contribución potencial menor (pero aún positiva) al logro del objetivo que los recuadros completamente sombreados.

Objetivos y metas	Contención de desechos	Acceso y disponibilidad de un saneamiento seguro	Control de emisión de patógenos	Control de emisión de nutrientes	Gestión y recuperación de recursos
1. FIN DE LA POBREZA 1.2 – pobreza en todas sus dimensiones 1.4 – acceso a servicios básicos 1.5 – resiliencia, reducción de vulnerabilidad, eventos extremos					
2. HAMBRE CERO 2.1 – terminar con el hambre / suficiencia alimentaria 2.2 – terminar con la desnutrición 2.3 – duplicar la productividad y los ingresos de los pequeños agricultores					
3. SALUD Y BIENESTAR 3.2 – terminar con la mortalidad evitable de recién nacidos y de niños menores de 5 años 3.3 – terminar con las epidemias / combatir enfermedades relacionadas con el agua 3.9 – reducir la mortalidad y las enfermedades debidas a la contaminación y a la polución					
4. EDUCACIÓN DE CALIDAD 4a – eliminar la disparidad de género en la educación 4a – construir y mejorar instalaciones educativas seguras					
5. IGUALDAD DE GÉNERO 5.1 – terminar con la discriminación de mujeres y niñas 5.2 – eliminar la violencia contra mujeres y niñas en el espacio público					
6. AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO 6.2 – saneamiento e higiene para todos 6.3 – reducir la contaminación del agua, aumentar el reciclaje 6.4 – reducir sustancialmente la escasez de agua 6.5 – gestión de recursos hídricos, cooperación a través de fronteras 6.6 – proteger y restaurar ecosistemas relacionados con el agua 6a – cooperación internacional, apoyo a países en desarrollo					
7. ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE 7.2 – aumentar la proporción de energía renovable					
8. TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO 8.4 – mejorar la eficiencia de los recursos, separar el crecimiento económico de la degradación ambiental					
9. INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURAS 9.4 – mejorar la eficiencia de recursos en la industria y la tecnología limpia					
11. CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES 11.5 – reducir muertes y pérdidas económicas debidas a desastres 11.6 – reducir el impacto ambiental adverso de las ciudades 11.7 – espacios públicos seguros					
12. PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES 12.2 – gestión y uso eficiente de recursos 12.4 – gestión de químicos y desechos 12.5 – reducir la generación de desechos					
13. ACCIÓN POR EL CLIMA 13.1 – fortalecer la resiliencia frente a peligros relacionados con el clima y con desastres naturales					
14. VIDA SUBMARINA 14.1 – reducir la contaminación marina causada por actividades terrestres					
15. VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES 15.1 – conservar, restaurar y utilizar de manera sostenible los ecosistemas terrestres 15.3 – restaurar tierras y suelos degradados					

Figura: Stockholm Environment Institute

apoya ciudades y regiones en transición hacia economías circulares, a través de diálogos en múltiples niveles, aprendizaje entre pares, y medición de indicadores clave. Un reciente estudio adelantado bajo el programa mostró que, de las 34 ciudades y regiones estudiadas, 15 tenían iniciativas de economía circular. De estas, el 76% involucran agua, el 42% desechos y el 61% edificaciones (OECD 2020), todos los cuales pueden relacionarse con el sector de saneamiento y aguas residuales.

Puesto que los conceptos y marcos de la economía circular todavía se encuentran en desarrollo (Prendeville et al. 2018), y la gestión de aguas residuales y excrementos no se menciona explícitamente con frecuencia en las estrategias de la economía circular, existen buenas oportunidades para dar al saneamiento y a las aguas residuales una posición central en esta economía.

1.5 ¿Qué significa “gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales”?

Este informe construye su concepto de saneamiento sostenible con base en aquel propuesto por la “Alianza de Saneamiento Sostenible” (SuSanA, por sus siglas en inglés):

Los sistemas sostenibles de gestión del saneamiento y de las aguas residuales son aquellos que minimizan el agotamiento de la base de recursos, protegen y promueven la salud humana, minimizan la degradación del medio ambiente, son técnica e institucionalmente adecuados, socialmente aceptables y económicamente viables a largo plazo. Deberían ser ininterrumpidos —usados por la población objetivo mientras que funcionan apropiadamente a largo plazo, así como resilientes a los desastres— y, a la vez, contribuir a una sostenibilidad socioeconómica y ambiental más amplia.

Basado en SuSanA 2008

Como lo aclara esta descripción, la sostenibilidad en la gestión del saneamiento y de las aguas residuales tiene varias dimensiones, que se apoyan mutuamente y son interdependientes: ningún sistema puede ser sostenible en una dimensión si no lo es en las otras. Adicionalmente, se debería tener en cuenta la relación del sistema con factores contextuales tales como la geografía física, la demografía, la cultura y las instituciones. Ninguna tecnología es inherentemente más sostenible que otra, y sistemas que funcionan bien en un contexto determinado pueden crear graves problemas de sostenibilidad en otro.

FIGURA 1.5

Dimensiones clave de la sostenibilidad en la gestión del saneamiento y de las aguas residuales



Si las dimensiones de la sostenibilidad son interdependientes, ¿cuál es el propósito central de una gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales? Esta es una pregunta fundamental cuando se proyectan inversiones. En un contexto de desarrollo, la gestión del saneamiento y de las aguas residuales se considera como un aspecto de la salud pública y, más recientemente, como intervenciones de protección ambiental. Sin embargo, se presta poca atención a cómo el cumplimiento de estas funciones podría afectar la base de recursos.

Este libro, por el contrario, propone que la gestión de recursos esté en el centro de los sistemas sostenibles de gestión del saneamiento y de las aguas residuales (ver la Figura 1.5). Siguiendo esta lógica, una consideración fundamental en la planeación y diseño del sistema debería ser la de minimizar el uso de recursos y recuperar los recursos contenidos en las aguas residuales y en otros flujos de saneamiento, de manera que se puedan reutilizar de forma segura. Esta recuperación se debe hacer de manera que se protejan la salud humana y los ecosistemas, se promueva la equidad y el bienestar social, que sea financieramente sostenible y esté apoyada por instituciones sólidas y apropiadas.

1.6 Propósitos de este libro

¿Cómo damos el paso transformador a una gestión sostenible de saneamiento y aguas residuales? ¿Cómo sería en la práctica? Aún no tenemos todas las respuestas, pero hoy sabemos mucho más de lo que sabíamos incluso una década atrás. Las tecnologías se desarrollan con rapidez y comprendemos mucho mejor los factores sociales e institucionales que inciden sobre su éxito. Las aproximaciones a pequeña escala y los programas piloto, especialmente en cuanto a recuperación de recursos, han pasado la prueba del tiempo y se están llevando a mayores escalas con éxito. Importantes donantes están financiando trabajos innovadores. Además, es importante señalar que existe una creciente disposición a hablar del saneamiento y de su papel —entre políticos, profesionales en actividades de desarrollo y en el discurso público.

Este libro reúne las teorías y prácticas más recientes sobre gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales. Al ofrecer ejemplos e ilustraciones del mundo real, se propone hacer accesibles asuntos claves en el diseño, implementación y operación de estos sistemas para las audiencias que elaboran políticas y para los profesionales de actividades de desarrollo, a la vez que ofrece un panorama para

los lectores técnicos y académicos involucrados más directamente en la gestión del saneamiento y de las aguas residuales.

Este libro adopta como marco analítico el pensamiento actual sobre desarrollo sostenible. Su enfoque central son los sistemas de saneamiento —que representan la vasta mayoría de aguas residuales— y la recuperación de los recursos hallados en las aguas residuales, excretas y otros flujos de desechos orgánicos para su reutilización productiva en la agricultura, la producción de energía y un espectro de otras aplicaciones posibles.

El Capítulo 2 presenta, en términos generales, algunas de las formas como se pueden recuperar los recursos contenidos en aguas residuales, excretas y otros desechos orgánicos, así como el potencial para una gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales con recuperación de recursos, junto con algunos de los principales retos que se deben superar para realizarla.

El Capítulo 3 indaga más profundamente en el concepto de abordar la gestión del saneamiento y de las aguas residuales desde la gestión de recursos, y ofrece una guía sobre cómo estimar el potencial de recuperación y reutilización de recursos en un sistema determinado. El Capítulo 4 examina la dimensión técnica de la sostenibilidad y, en particular, la forma de combinar las tecnologías en un sistema que satisfaga de la mejor manera las necesidades y limitaciones de un contexto específico.

Los Capítulos 5 y 6 consideran dos dimensiones adicionales de la sostenibilidad del sistema: la protección de la salud pública y ambiental, respectivamente. El Capítulo 7 analiza el papel del gobierno y de las autoridades locales en la creación de un ambiente propicio para la gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales, y explora, además, asuntos de sostenibilidad en el ámbito social, en particular cómo obtener apoyo social para el saneamiento y la reutilización de recursos, y cómo maximizar beneficios sociales tales como el acceso seguro y equitativo.

El Capítulo 8 expone temas relacionados con la sostenibilidad financiera y económica, incluyendo cómo calcular los costos y beneficios del paso hacia una gestión sostenible y cómo financiarlo.

El Capítulo 9 presenta algunos ejemplos específicos de soluciones tecnológicas para la recuperación y reutilización de recursos. La diversidad de estudios de caso presentados

refleja el hecho de que, si bien los beneficios de la gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales están disponibles tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo, en contextos urbanos y rurales, en ciudades establecidas y en nuevos asentamientos, los medios para explotarlos siguen siendo, en gran medida, específicos de los contextos. Demuestra, asimismo, la importancia de tener una perspectiva de la totalidad del sistema para la sostenibilidad en la gestión del saneamiento y de las aguas residuales — similar al enfoque integrado de la Agenda 2030.

En general, el libro se propone demostrar que los sistemas de gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales no son solo inversiones inteligentes y rentables para la sostenibilidad, sino también que son prácticos, asequibles y ya están aquí.

MENSAJES CLAVE

- La gestión poco segura de excretas y aguas residuales está difundida ampliamente y crea riesgos significativos para la salud y el medio ambiente.
- Los sistemas de gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales son aquellos que minimizan el agotamiento de la base de recursos, protegen y promueven la salud humana, minimizan la degradación ambiental, son técnica e institucionalmente adecuados, socialmente aceptables y económicamente viables a largo plazo.
- No es posible alcanzar economías circulares eficientes en recursos, sin un cambio radical en la manera como gestionamos las aguas residuales, las excretas y otros desechos de biomasa.
- La gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales será central, incluso fundamental, para el cumplimiento de la Agenda 2030.

Repensar las aguas residuales

La búsqueda de soluciones audaces e innovadoras a los retos del desarrollo sostenible exigirá nuevas maneras de pensar acerca de las aguas residuales y otros desechos sanitarios.

Al repensar las aguas residuales, podemos considerar otro de los principales flujos de desechos: los desechos sólidos. Hasta hace 20 ó 30 años, incluso en las economías más avanzadas, la práctica usual era mezclar diversos tipos de desechos sólidos y disponer de ellos en rellenos sanitarios o incinerarlos. Sin embargo, más recientemente, el reciclaje se ha difundido cada vez más, diferentes tipos de desechos se separan en la fuente y se utilizan productivamente. En la actualidad, vemos que comienza a producirse un cambio similar en la gestión de aguas residuales —como lo evidencian muchas de las experiencias descritas en este libro— pero este se encuentra en una etapa mucho más temprana.

Una de las razones que explica el avance más lento en la recuperación de recursos de las corrientes de aguas residuales y de desechos de saneamiento puede ser el alto grado de dependencia e inflexibilidad de las redes de alcantarillado urbano, diseñadas para mezclar y transportar corrientes de desechos líquidos, incluidas excretas transportadas por agua. Estos sistemas son costosos y difíciles de mejorar o reemplazar. No obstante, a medida que estos sistemas envejecen, la necesidad

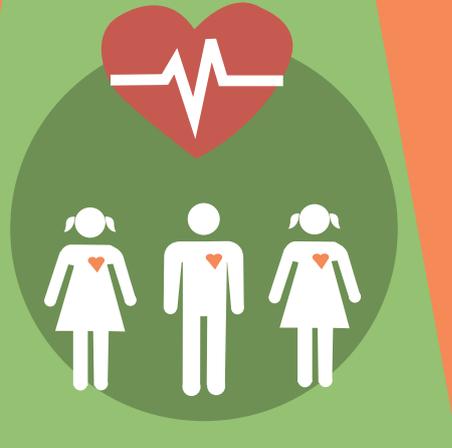
de repararlos y sustituirlos aumenta, y es entonces cuando se pueden introducir las innovaciones. Los nuevos desarrollos urbanos y periféricos tienen la oportunidad de dejar de lado el alcantarillado convencional y construir sistemas optimizados de separación en la fuente para una recuperación de recursos rentable desde el comienzo.

También es importante tener en cuenta que las aguas residuales no se tienen por qué considerar como una sustancia fija e inmodificable. Su naturaleza y composición se pueden alterar restringiendo el ingreso de lo que se permite introducir en la corriente de agua, o separando diferentes flujos en la fuente. Las aguas residuales pueden reducirse en volumen e incluso solidificarse y pueden ser tratadas para eliminar los patógenos y contaminantes que las hacen peligrosas.

Adicionalmente, con mayor frecuencia se pueden convertir en una fuente de energía, de nutrientes vegetales y otros insumos agrícolas, de agua y muchos otros valiosos recursos, generando considerables beneficios económicos, sociales y ambientales que se abordarán en el siguiente capítulo.



2. EL VALOR AGREGADO DE LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL SANEAMIENTO Y DE LAS AGUAS RESIDUALES



Una gestión más sostenible del saneamiento y las aguas residuales podría producir enormes beneficios económicos (así como sociales y ambientales) para las sociedades (Hernández-Sancho et al. 2015). Muchos de estos beneficios adoptan la forma de ahorro en los costos vinculados a una gestión inadecuada del saneamiento y de las aguas residuales —especialmente en los servicios de salud, pero también en cuanto a la pérdida de productividad económica, la reducción de los servicios de los ecosistemas, y otros. En India, por ejemplo, los ahorros estimados gracias a una gestión adecuada del saneamiento y de las aguas residuales para todos (es decir, sin tener en cuenta los beneficios de la gestión de las aguas residuales / las excretas o la recuperación de los recursos), se han estimado anualmente en US\$54 mil millones (WSP 2011).

Estos beneficios económicos se deberían explorar e incluir como factores en la planeación financiera de cualquier programa dirigido a construir o a mejorar los sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales. La Figura 2.1 muestra algunos estimativos de los beneficios económicos que generaría la recuperación de los recursos a partir de un ejercicio realizado en la capital de Laos, Vientiane, como parte del proyecto CityBlues++ (www.cityblues.la). Como lo ilustra la figura, una mejor gestión del saneamiento y la recuperación de los recursos provenientes de desechos podría producir beneficios adicionales en ámbitos tan diversos como el manejo de las aguas naturales, la seguridad alimentaria, la producción de energías renovables y la mitigación del cambio climático.

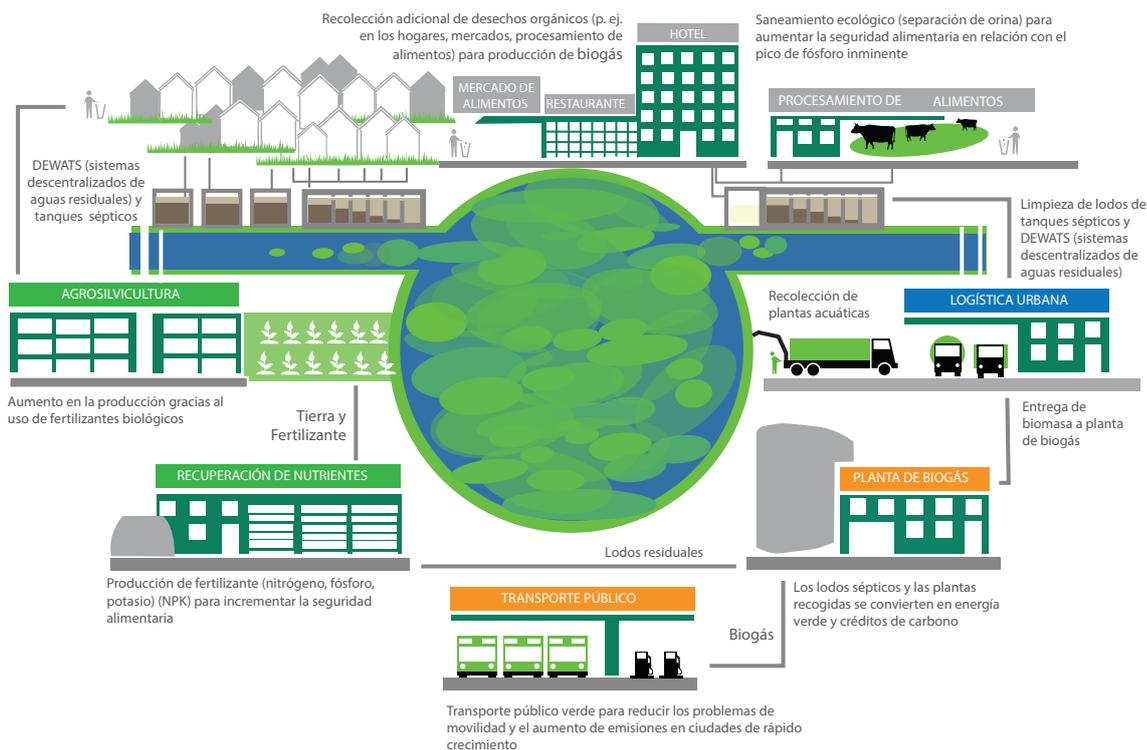
2.1 Beneficios para la salud y beneficios sociales

Un saneamiento e higiene deficientes son la causa principal de la diarrea, la segunda causa de mortalidad en niños menores de 5 años en los países en desarrollo (UNICEF 2012a). Adicionalmente, muchos de los efectos negativos de una gestión no sostenible del saneamiento y de las aguas residuales tienen un impacto abrumador en las poblaciones pobres, marginadas y vulnerables, y debilitan los esfuerzos por reducir la pobreza y la discriminación. Contar con mejores sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales que impidan la exposición de las poblaciones a patógenos y sustancias tóxicas genera enormes mejoras en la salud pública. La Figura 2.2 presenta los costos anuales estimados para la economía de la India derivados directamente de un saneamiento inadecuado. La mayor parte de los costos evitados están vinculados a impactos directos e indirectos sobre la salud (que incluyen días de trabajo perdidos).

Es importante señalar que estos ahorros no serían el resultado únicamente de la instalación de mejores inodoros; se necesitarían sistemas que impidan la exposición humana a patógenos y a otros elementos peligrosos contenidos en las aguas residuales y en las excretas, desde los inodoros hasta su lugar de tratamiento y disposición de manera segura, o de su reutilización. Como se enfatizará posteriormente, la gestión sostenible del saneamiento y de las

FIGURA 2.1

Valor agregado potencial de la recuperación de recursos en la ciudad de Vientiane



Población de la ciudad: 760.000 aproximadamente.

- Ahorro potencial de agua con orinales de baja descarga/ orinales sin agua: 13.700 m³ por día
- El potencial agrícola usando digestato de biogás y orina como fertilizantes es de 40.000 ha. de cultivos de arroz
- Reducción en las emisiones de CO₂ gracias a la sustitución de fertilizantes minerales y diésel: 44.000 toneladas de CO₂/anuales
- El potencial energético de los desechos orgánicos para el sector del transporte es de 10.000 km de recorridos de bus por día (ajustado para consumo de energía debido al aumento del transporte para la recolección de desechos)

Figura: Stockholm Environment Institute, basado en imagen de Cityblues++

aguas residuales solo es posible con sistemas completamente operativos y bien integrados.

La Figura 2.2 incluye también los costos de oportunidad del tiempo de acceso adicional,⁵ la deficiente calidad del agua y los impactos negativos sobre el turismo. A estos podrían agregarse una serie de asuntos relacionados con el desarrollo sostenible y los derechos humanos, que pueden abordarse mediante una gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales:

- Resiliencia a los desastres: los sistemas sostenibles para el saneamiento pueden contribuir a mantener las aguas residuales contenidas de manera segura durante las inundaciones y otros desastres, reduciendo así los riesgos para la salud, especialmente entre las poblaciones más vulnerables.
- Oportunidades educativas: la diarrea y otras enfermedades diseminadas por las aguas residuales sin tratar puede provocar ausencia escolar y reducir la capacidad cognitiva de los niños debido a subnutrición. Es posible que las instalaciones sanitarias escolares que pueden cerrarse en forma segura, especialmente aquellas equipadas con suministros para el manejo de la salud menstrual, eliminen importantes obstáculos para la educación de las jóvenes adolescentes.
- Seguridad personal: las personas, especialmente las niñas y las mujeres, corren el riesgo de sufrir violencia y otros tipos de daños cuando se ven obligadas a caminar un largo trayecto para defecar al aire libre o

⁵ El tiempo de acceso ha sido definido como: "el costo de tiempo adicional para acceder a inodoros compartidos y a sitios de defecación abiertos, comparado con el uso de un inodoro privado dentro del hogar, el costo de tiempo de ausencia de la escuela debido a inodoros inadecuados para las niñas, y el tiempo de ausencia del trabajo debido a inodoros inadecuados para las mujeres." (WSP 2011)

FIGURA 2.2

Impactos económicos del saneamiento inadecuado en India, por categorías, 2006

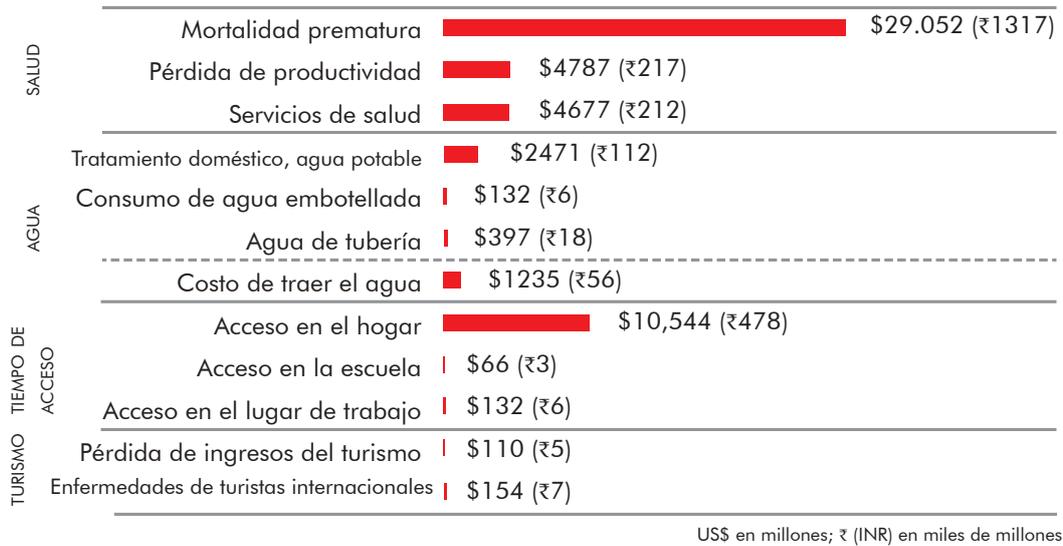


Figura: Basada en WSP 2011

para acceder a una instalación sanitaria. Por lo tanto, un acceso cercano a una instalación puede mejorar la seguridad personal.

Además de la reducción de la incidencia de enfermedades gracias a un saneamiento mejorado, la recuperación de los recursos y su reutilización segura en la agricultura pueden aportar una serie de beneficios adicionales para la salud, especialmente en relación con la nutrición (al impulsar de manera segura la productividad agrícola). Especialmente en el caso de los pequeños agricultores, las mejoras a la subsistencia derivadas de la reutilización agrícola pueden significar que los agricultores puedan asumir mayores gastos en el acceso a los servicios de salud, o en el mejoramiento de su calidad de vida.

2.2 Productividad agrícola y calidad del suelo

Las aguas residuales domésticas y agrícolas y los desechos sanitarios contienen en grandes cantidades los tres insumos más importantes y económicamente valiosos para la agricultura: nutrientes, materia orgánica y agua. Mediante un tratamiento adecuado de las aguas residuales y de las excretas, estos pueden recuperarse y reutilizarse de manera segura por parte de los agricultores.

Nutrientes

La fuente más importante de nutrientes en los flujos de desechos sanitarios son las excretas humanas y animales, que contienen cantidades significativas de los tres componentes principales de los fertilizantes agrícolas: nitrógeno (N), potasio (K) y fósforo (P en forma de fosfatos). Si se procesan otros desechos orgánicos junto con las aguas residuales y otros desechos sanitarios, puede recuperarse incluso una cantidad mayor de N, K y P. Las excretas contienen también micronutrientes tales como hierro, cloro, boro, cobre y cinc, vitales para la nutrición de las plantas, así como de los seres humanos y los animales, pero que, por lo general, no se encuentran en los fertilizantes sintéticos. Los beneficios de recuperar, tratar y reutilizar de manera segura los nutrientes para la agricultura varían ampliamente en distintos contextos. Estos incluyen:

- Sustitución o complementación de fertilizantes comerciales a bajo costo;
- Menor dependencia de fertilizantes comerciales comprados o importados;
- Mejoras directas en la productividad agrícola a un costo mínimo para los pequeños agricultores que no utilizan fertilizantes y tienen sistemas de saneamiento in situ;
- Reducción de riesgos para la salud de los agricultores en comunidades donde se practica la defecación al aire libre en los

campos, o donde se aplican excretas y otras aguas residuales directamente a los cultivos; y

- Nuevas oportunidades comerciales en la producción y venta de fertilizantes provenientes de los recursos recuperados.

Según la calidad del tratamiento y las prácticas implementadas, las aguas residuales y los insumos agrícolas derivados de ellas pueden ser utilizados en forma segura en cualquier tipo de cultivos, incluyendo el cultivo de alimentos para el consumo humano.

La cantidad de nutrientes que se puede recuperar de las aguas residuales y de las excretas es significativa. Se ha estimado que, en países donde predomina la agricultura a pequeña escala, incluyendo muchos países del África subsahariana (IFAD 2011), *el uso total actual de fertilizantes podría teóricamente sustituirse por nutrientes recuperados de excretas humanas* (Rosemarin et al. 2008). Las regiones con alta producción de ganado e importantes exportaciones agrícolas, tales como América del Sur, requerirían más nutrientes (ver la Figura 2.3), pero estos podrían también recuperarse, al menos en parte, de otros flujos de desechos orgánicos tales como estiércol animal, desechos orgánicos de cocina y desechos de las industrias de alimentos.

A otra escala, la orina y heces excretadas anualmente por una persona contienen

nutrientes equivalentes a cerca de 10 kg de fertilizante sintético, con un valor aproximado de US\$10 (Dagerskog et al. 2014). Su aplicación incrementaría la producción agrícola en aproximadamente US\$50, lo cual puede hacer una diferencia significativa para la subsistencia de los pequeños agricultores, especialmente cuando no tienen acceso a fertilizantes químicos.

Si damos una mirada a los sistemas urbanos centralizados que operan con agua, se ha estimado en 1,09 mil millones de rupias (US\$16 millones a la tasa de cambio de 2015) el valor monetario anual de los recursos de nutrientes recuperables y del agua descargada de las ciudades y pueblos costeros de la India. De estos, el 93% del valor proviene de los nutrientes, el resto del agua (CPCB 2009).

Algunos sistemas pueden incluso generar beneficios económicos mediante la recuperación de nutrientes durante el tratamiento de las aguas residuales. Por ejemplo, la espirulina y la lenteja de agua pueden cultivarse en efluentes de determinada calidad (habitualmente después de un tratamiento previo) mientras están almacenados en estanques de estabilización.⁶ Estas nutritivas plantas pueden utilizarse como alimento en acuicultura y en la cría de animales. En Níger, la lenteja de agua ha sido utilizada para limpiar el agua en estanques de estabilización, resultando en un efluente de alta calidad que se utiliza luego para irrigar cultivos adicionales económicamente valiosos (Quayle 2012).

FIGURA 2.3 Nutrientes consumidos en fertilizantes químicos en agricultura vs nutrientes disponibles en excretas humanas en dos continentes, 2017

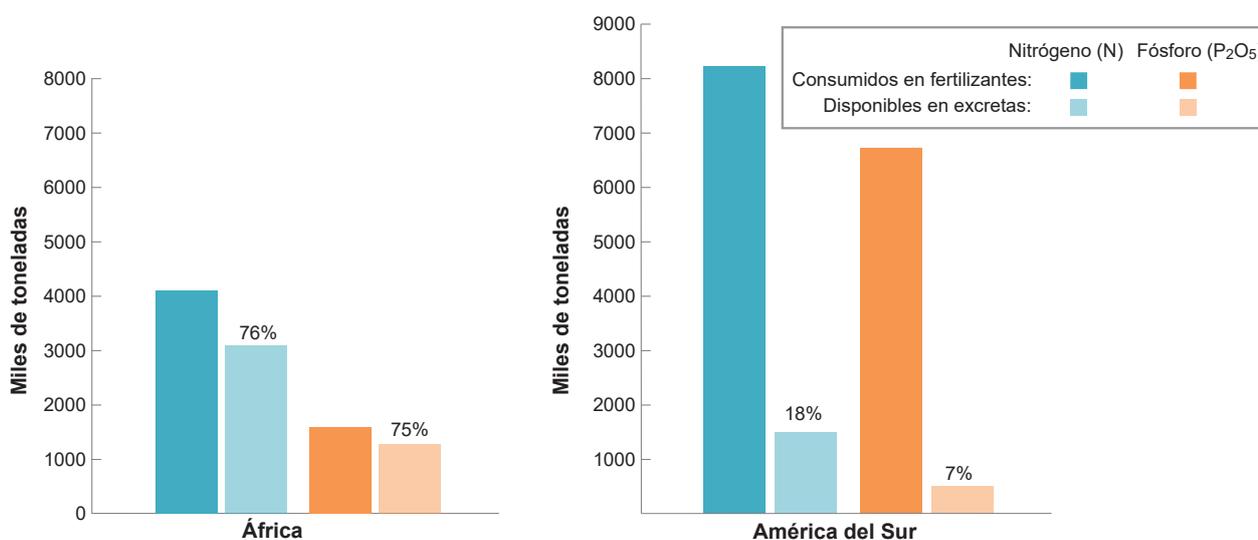


Figura: Basada en datos de faostat.fao.org

⁶ Los estanques de estabilización son grandes pozos artificiales, llamados en ocasiones lagunas, que se utilizan a menudo en países tropicales y subtropicales para tratar aguas residuales. Puede ser un solo estanque o una serie de ellos con diferentes características, a través de los cuales fluyen las aguas residuales.



La orina tratada es un fertilizante poco costoso, seguro y efectivo. Fotografía: Linus Dagerskog

Materia orgánica

La materia orgánica contenida en las aguas residuales y en las excretas está compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas. Si se la captura y procesa (p. ej. mediante compostaje o fermentación), esta materia orgánica puede utilizarse como un poderoso acondicionador de suelos y como fuente de energía, como se describe a continuación, especialmente si se la complementa con desechos alimentarios y residuos agrícolas (Lal 2008).

El aumento de la materia orgánica de los suelos (MOS) apoya sus funciones, tales como la retención de nitrógeno y otros nutrientes y la retención de agua; protege las raíces de enfermedades y parásitos y pone a disposición de la planta los nutrientes retenidos (Bot y Benites 2005). La materia orgánica misma contiene también nutrientes que se liberan gradualmente mientras se descompone por acción de los procesos naturales. Se ha estimado que el 1% de MOS adicional representa cerca de US\$39 por hectárea al año, gracias a los nutrientes que proporciona a las plantas (Land Stewardship Project 2013). Además, al mejorar la retención de agua y nutrientes, el MOS reduce los problemas de escorrentía y eutroficación.

El menor contenido de MOS es un problema extendido que impacta directamente la productividad agrícola y pone en peligro la seguridad alimentaria. Se ha reportado una

pérdida anual del 2 al 5% del carbono orgánico del suelo en África (Bationo et al. 2007). En el África subsahariana, el 85% de las tierras de cultivo tiene una pérdida neta de nutrientes que excede anualmente los 30 kg de nutrientes por hectárea por año (Henau y Baanante 2006). Extraer la materia orgánica de los flujos de desechos y aplicarla a las tierras agrícolas es una estrategia clave para mejorar la fertilidad y productividad de los suelos, junto con medidas tales como impedir el excesivo pastoreo y la incineración de vegetación natural, estiércol animal y residuos del suelo.

2.3 Seguridad del agua

El consumo de agua ocasionado por las actividades humanas ha crecido dos veces más rápido que la población global desde 1900, de cerca de 600 mil millones de m³ a 4.500 mil millones de m³ en 2010, y se espera que crezca de nuevo en más de un 50% para 2050 (McGlade et al. 2012; WWAP 2015).

El desarrollo sostenible requiere acceso a agua potable y a instalaciones de higiene, así como la protección de los ecosistemas acuáticos y terrestres. La seguridad del agua es un problema creciente en muchas zonas áridas y semiáridas, y en aquellas en donde la demanda de la industria, la generación de energía, la agricultura, el suministro de agua dulce y el reabastecimiento de los ecosistemas excede su disponibilidad. Los sistemas sostenibles de gestión del saneamiento y de las aguas residuales pueden mitigar estas presiones de dos maneras: primero, reduciendo el ingreso de

agua dulce al sistema mediante el uso de inodoros de baja descarga o de inodoros secos y, segundo, poniendo a disposición la fracción de agua de las aguas residuales para reutilización segura o para su descarga al medio ambiente.

En la agricultura, la reutilización del agua puede reducir el riesgo de sequía para los cultivos y facilita la irrigación; incrementa el rendimiento e incluso permite una temporada adicional de cultivo. Los agricultores han identificado la disponibilidad de aguas residuales a lo largo del año como otro argumento importante para su reutilización (Drechsel et al. 2010). Los 330 km³ de aguas residuales municipales que se producen en todo el mundo cada año podrían, en teoría, irrigar más de 40 millones de hectáreas —equivalentes a cerca del 15% de todas las tierras de cultivo irrigadas en la actualidad (Mateo-Sagasta et al. 2015).

En lo que respecta al ámbito nacional, la Figura 2.4 compara la extracción de agua con la generación de aguas residuales urbanas en cuatro países. Es evidente que, en algunos países, las necesidades actuales de irrigación exceden por mucho la producción de aguas residuales urbanas —aun cuando su contribución seguiría siendo significativa (p. ej. Brasil 22%, Egipto 12% y Tailandia 10%). En un país industrializado como los Países Bajos, el volumen de aguas residuales producido equivale casi a una cuarta parte del agua utilizada en la industria.

Mejorar la eficiencia en el uso del agua y reducir su consumo pueden generar importantes ahorros, con lo cual se reducen también la demanda de

energía y de infraestructura de los sistemas de agua potable y aguas residuales pues se reduce el volumen de aguas residuales que necesita tratamiento y, por lo tanto, es posible realizar un tratamiento más eficiente y específico de diferentes fracciones de excretas y aguas residuales. El ahorro de agua mediante el uso de sistemas secos o de bajos desperdicios puede variar entre 6 m³ y 25 m³ por persona al año, dependiendo de las técnicas de separación de desechos que se utilicen (Otterpohl 2009).

2.4 Energía limpia

Al descomponerse, los desechos orgánicos producen metano. El metano es un gas de efecto invernadero (GEI) más de 25 veces más potente que el dióxido de carbono. Capturar el contenido energético de las aguas residuales y de las excretas podría ser, no solo una manera eficiente de producir energía renovable, sino también una medida efectiva para mitigar el cambio climático.

La manera más eficiente de capturar el contenido energético de estos flujos de residuos —y una de las más compatibles con la recuperación de recursos— es la generación de biogás. Existe un creciente interés en el uso del biogás como combustible alternativo para los vehículos, gas para cocinar y fuente de energía para la producción de electricidad. El biogás puede utilizarse en aplicaciones a gran escala para generar potencia eléctrica o mecánica incluso como combustible para vehículos (Weiland 2010). Puede ser también un combustible de bajo costo para la cocina y la calefacción domésticas y

FIGURA 2.4

Captación de agua vs producción de aguas residuales, países seleccionados

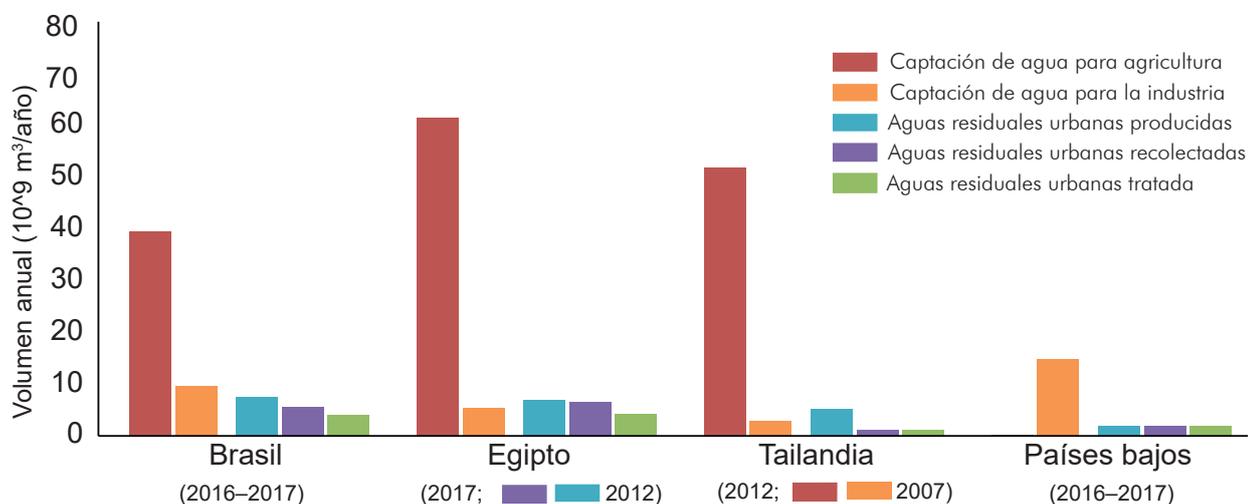


Figura: Stockholm Environment Institute, datos de fao.org/nr/water/aquastat/main.



El Bio-Bus, operado con biogás producido en una planta de tratamiento centralizada de alcantarillado, Reino Unido. Fotografía: Wessex Water

representa una alternativa más limpia y sana que la madera y que otros combustibles de biomasa usados habitualmente en hogares pobres. Así, la generación de biogás a partir de aguas residuales, excretas y otros desechos orgánicos puede ayudar a ampliar el acceso a la energía moderna.

Según un estimativo, la fermentación conjunta de las aguas residuales con desechos de alimentos y detergentes en una planta de tratamiento descentralizada permitiría la generación de 0,9 kWh de electricidad por persona al día, dejando intactos los nutrientes y partes de la materia orgánica para su reutilización agrícola. Esto corresponde a un valor monetario anual de US\$ 170 (Mang 2009; Mang y Li 2010). Con base en un promedio anual de consumo de energía de 3.500 kWh por hogar, la producción mundial estimada de aguas residuales de 330 km³ podría entonces, en teoría, suministrar electricidad a cerca de 130 millones de hogares (Mateo-Sagasta et al. 2015).

Otra manera de recuperar energía a partir de los flujos de desechos es la incineración o combustión controlada. Esta práctica se ha difundido en muchos países, incluyendo Dinamarca y Suecia. En la actualidad, China hace grandes inversiones en la incineración de desechos sólidos (Li et al. 2015). Sin embargo, existe controversia acerca de si la incineración de desechos sólidos desincentiva la reducción de los desechos o su reciclaje, pues crea una demanda por los desechos (Seltenrich 2013). Más aún, si se incineran los plásticos, la incineración de los desechos no

puede calificarse estrictamente como producción de energía renovable.

2.5 Mitigación del cambio climático

Las reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) están estrechamente vinculadas al tema de la recuperación de energía. Una mejor gestión del saneamiento y de las aguas residuales puede contribuir de manera importante a la mitigación del cambio climático, al reducir las emisiones de varios GEI, principalmente CO₂, metano y óxido nítrico. Las emisiones de metano provenientes de las aguas residuales contribuyeron aproximadamente al 7% de las emisiones totales mundiales en 2010 (US EPA 2012b), y se espera que aumenten aproximadamente en un 19% entre 2010 y 2030; se proyectan los mayores incrementos en África, el Medio Oriente, Asia, América Central y América del Sur. En general, el sector de desechos contribuye <5% a las emisiones mundiales de GEI (Bogner et al. 2007). Los rellenos sanitarios son los principales causantes de la emisión de GEI en el sector de los desechos, y es posible que los desechos orgánicos sólidos de los rellenos emitan metano durante décadas.

Hay cuatro maneras básicas para reducir las emisiones en los ciclos de las aguas residuales y de los desechos orgánicos:

- Evitar las emisiones incontroladas de metano de los desechos,

Combustible	Kg CO ₂ (excluyendo la producción de combustible)	Kg CO ₂ (incluyendo la producción de combustible)
Gasolina	2.36	2.65
Diésel	2.72	2.98
Biogás*	0.12	0.39

Fuente: Municipalidad de Örebro, 2010

* El biogás se mide en m³. Un m³ de biogás equivale a cerca de 1,1 l de gasolina

- Sustituir el combustible fósil por energía renovable recuperada de los flujos de desechos,
- Sustituir los fertilizantes químicos que se producen con altos aportes de energía, y
- Secuestro de carbono al retornar la materia orgánica a los suelos.

La mitigación potencial de las emisiones de GEI depende de la configuración del sistema. En el caso de una gestión más convencional de las aguas residuales, por ejemplo, al modificar la configuración del tratamiento se pueden reducir las emisiones de CO₂ en un 35% (Khiewwijit et al. 2015). De manera análoga, la digestión de lodos de aguas residuales y de excretas (especialmente con otros desechos orgánicos) puede reducir en un 70 % aproximadamente las emisiones de metano indeseadas en el postprocesamiento de lodos de aguas residuales (Rogstrand et al. 2012). Por cada kilogramo de residuos de comida tratados pueden evitarse cerca de 0,3 kg de emisiones de CO₂ si se recolecta biogás y se sustituye el combustible fósil. La Tabla 2.1. muestra las emisiones de CO₂ del biogás comparadas con las de gasolina y de diésel.

Un estudio en el que se utilizó la metodología de análisis del ciclo de vida encontró que el uso de orina separada en la fuente como fertilizante para la producción del trigo en Suecia, redujo las emisiones de CO₂ en 33 kg CO₂/persona/año, en comparación con el uso de fertilizantes químicos y el tratamiento convencional de las aguas residuales (Tidaker et al. 2007). La emisión de GEI provenientes de la producción de fertilizantes químicos se encuentra en la actualidad cerca del 1,2% de las emisiones mundiales totales de GEI. Si bien la mayor parte de estas emisiones tiene su origen en la producción de fertilizantes de nitrógeno, las emisiones provenientes del transporte de los 30 millones de roca de fosfato

comercializadas cada año en todo el mundo están lejos de ser insignificantes (Cordell 2013).

Devolver la materia orgánica al suelo es un método reconocido de secuestro de carbono. Investigaciones recientes sugieren que el secuestro de carbono alcanza su máxima efectividad cuando diferentes tipos de materia orgánica se tratan de manera distinta. Por ejemplo, el material rico en carbono seco logra su mejor conversión a biocarbono (un potenciador de suelos) mediante pirolisis, mientras que el material húmedo rico en nutrientes se procesa mejor mediante digestión anaerobia con el fin de maximizar su valor fertilizante, contribuyendo así a producir más materia orgánica (Smith et al. 2014).

Si los 46.200 millones de m³ de metano estimados que podrían producirse cada año a partir de las aguas residuales del mundo (Mateo-Sagasta et al. 2015) sustituyeran el diésel, esto podría llevar a una reducción potencial de GEI de aproximadamente 70 millones de toneladas de CO₂ equivalente.

2.6 Protección ambiental y servicios más sanos de los ecosistemas

Impedir el daño ambiental es una función cada vez más reconocida y valorada del tratamiento de las aguas residuales, y un componente de la agenda para el desarrollo sostenible (ver el Capítulo 6). Los sistemas que aseguran que las aguas residuales sean tratadas antes de descargarlas en aguas naturales receptoras reducen las amenazas a los ecosistemas y a los servicios que estos proveen, los cuales incluyen mejorar la calidad y la seguridad del agua dulce (y, por lo tanto, la posibilidad de usarla) y reducir la contaminación y la eutroficación en los ecosistemas que suministran alimentos (Corcoran et al. 2010).

Los humedales artificiales⁷ son de uso generalizado y constituyen un eslabón efectivo de la cadena de tratamiento para muchos tipos de aguas residuales —pues aprovechan los procesos físicos, biológicos y químicos que ocurren en los humedales naturales para purificar y tratar el agua. (Construir humedales para el tratamiento de las aguas residuales se considera una “tecnología ambientalmente razonable” según la Agenda 21.⁸) Son, en sí mismos, valiosos ecosistemas que sustentan la biodiversidad y proveen muchos de los mismos importantes servicios que prestan los humedales naturales a la sociedad humana.

Los humedales artificiales atraen también muchos visitantes. Un ejemplo de ellos es el Parque Huascar, en Lima, Perú, en donde las aguas residuales tratadas se utilizan para mantener una instalación de múltiples usos con un gran lago, senderos educativos, un pequeño zoológico, un vivero, granjas experimentales, zonas de juegos y áreas de picnic bajo los árboles (di Mario y Drechsel 2013). El parque ofrece importantes beneficios para los ecosistemas (p. ej. prevención de la erosión, fertilidad del suelo y regulación climática), además de los servicios que presta a residentes y visitantes.

Al mismo tiempo, si se reciclan las aguas residuales y se utilizan técnicas de ahorro de agua, habrá menos necesidad de extraer agua dulce de los sistemas naturales para satisfacer las necesidades humanas, dejando una mayor cantidad disponible para otros usos, que incluyen preservar los servicios de los ecosistemas y garantizar los flujos ambientales. Más aún, en ciudades con sistemas de alcantarillado combinado de aguas residuales y pluviales hay varias opciones disponibles para mantener las aguas pluviales fuera del sistema, por ejemplo, haciendo más permeables las superficies en el ambiente construido al dejar espacios verdes y acequias, o al usar un pavimento permeable (Charlesworth 2003). Esto puede contribuir al tratamiento de las aguas pluviales y al reabastecimiento del nivel freático. Como alternativa, la escorrentía de las aguas pluviales se puede usar para irrigación, aunque posiblemente sea necesario un tratamiento previo y tal vez no sea adecuada para cultivos de alimentos.

2.7 Comercio verde y oportunidades de empleo

A lo largo de casi cualquier cadena de valor de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales hay beneficiarios económicos y oportunidades de empleo que abarcan la construcción, la operación y mantenimiento, el transporte, el tratamiento y el financiamiento. La recuperación y reutilización de recursos agregan muchos más beneficiarios potenciales, directos e indirectos: agricultores, transportadores, vendedores, procesadores, proveedores de insumos y consumidores. Según un estimativo, el incremento de la inversión en saneamiento en la India podría crear nuevos mercados comerciales para el país por un valor anual hasta de US\$152 mil millones (WSP 2011).

En las zonas urbanas, la recuperación y la reutilización de recursos pueden mejorar la factibilidad y rentabilidad de la agricultura urbana al usar las aguas residuales como una fuente de agua y nutrientes: se hace más corta la ruta al mercado y se posibilitan la acuicultura y la producción de cultivos de alto valor, como las flores. Un ejemplo es la cosecha de la biomasa que crece dentro de los sistemas de tratamiento de aguas residuales —en particular, si esta se utiliza como alimento para la acuicultura o la cría de animales— puede ofrecer ingresos adicionales, lo cual contribuye a la estabilidad financiera y a la sostenibilidad de los sistemas.

La gestión del lodo fecal —vaciar los tanques sépticos, transportar el lodo y tratarlo— es un sector de creciente interés comercial y ha demostrado tener un potencial de mercado en muchas ciudades africanas y asiáticas donde es común depender de letrinas de pozo y otros sistemas de saneamiento in situ (Chowdhry y Koné 2012).

Aparte de estos negocios, existen también oportunidades económicas en la recuperación de energía a partir del lodo fecal y en el procesamiento de este desecho orgánico rico en nutrientes para convertirlo en productos comercialmente atractivos.

⁷ Un humedal artificial es un humedal utilizado para el tratamiento de aguas residuales. La flora y la fauna que crecen en el humedal ayudan a remover los sedimentos y los microcontaminantes, así como a inactivar patógenos.

⁸ Las tecnologías ambientalmente razonables se definen en el Capítulo 34 de la Agenda 21 como tecnologías que: a) protegen el medio ambiente; b) son menos contaminantes; c) utilizan todos los recursos de una manera más sostenible; d) reciclan una mayor cantidad de sus desechos y productos; y e) manejan los desechos residuales de una manera más aceptable que las tecnologías a las que sustituyen.

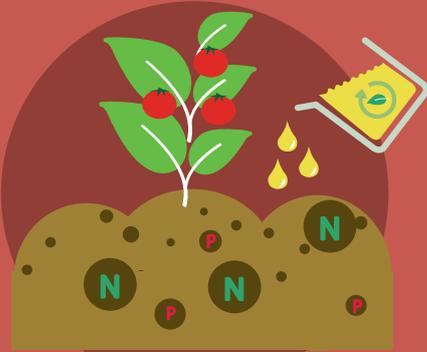


Nuevo negocio: servicio de recolección de orina para su reutilización, Burkina Faso. Fotografía: Linus Dagerskog

MENSAJES CLAVE

- Una gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales puede generar enormes beneficios económicos (así como sociales y ambientales) para las sociedades.
- La reutilización del agua, los nutrientes y la materia orgánica de las excretas puede contribuir a mejorar la productividad agrícola y la calidad de los suelos.
- Una mejor gestión del saneamiento y de las aguas residuales puede generar recursos energéticos y mitigar las emisiones de GEI.
- Reciclar los recursos hídricos tiene como resultado que se extraiga menos agua dulce de los sistemas naturales para satisfacer la demanda humana, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental.
- A lo largo de cualquier cadena de valor de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales hay beneficiarios económicos y oportunidades de empleo.

3. GESTIÓN Y RECUPERACIÓN DE RECURSOS



3.1 Estado actual

Resulta difícil cuantificar el estado actual de la recuperación de los recursos. Teniendo en cuenta la ausencia general de datos sobre las aguas residuales, no es de sorprender que los datos sobre su reutilización sean aún más escasos, y solo contamos con estimativos muy aproximados. No obstante, sabemos que la actual gestión del saneamiento y de las aguas residuales se enfoca casi exclusivamente en la disposición de desechos más que en la recuperación y reutilización de los recursos. El tratamiento de las aguas residuales, en los lugares donde se realiza, únicamente reduce el contenido de patógenos y, con menor frecuencia, los contaminantes químicos y el exceso de nutrientes antes de descargarlas en el medio ambiente.

Aun cuando la recuperación de los recursos puede representar retos adicionales para la gestión del saneamiento y de las aguas residuales (ver la Tabla 3.1), puede mitigar también las crecientes presiones que enfrentan estos sistemas, tales como reducir la necesidad de un tratamiento avanzado cuando se reutiliza los nutrientes y la materia orgánica en la agricultura.

Hoy en día se utilizan numerosos sistemas para la recuperación y reutilización de recursos a partir de las aguas residuales y de las excretas humanas. La implementación de algunos de ellos ha sido motivada por oportunidades comerciales, o por marcos reglamentarios dirigidos a garantizar la protección medioambiental, o por la escasez tangible de recursos.



Una cosecha sana de un árbol de banano fertilizado con orina, Malí. Fotografía: Linus Dagerskog

TABLA 3.1

Síntesis de los desafíos reportados a partir de iniciativas de recuperación de recursos

Salud / ambiente	<p>Cuando se reutilizan los recursos existen problemas potenciales relacionados con la presencia tanto de químicos tóxicos (p. ej. de fuentes industriales de efluentes) como de microorganismos patógenos. Incluso la irrigación con aguas residuales tratadas puede llevar a una acumulación de nutrientes en exceso, patógenos, metales pesados y sedimentos salinos en los suelos irrigados (UN Water 2015).</p> <p>En ocasiones, se pasa por alto el grado y peligro de la contaminación fecal cruzada; es esencial entender los diferentes caminos que llevan a la exposición humana. A menudo hay un enfoque excesivo en el riesgo relacionado con los productos finales, pero no se evalúan ni mitigan aquellos presentes a lo largo de la cadena de valor de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales (Stenström 2013).</p>
Sociales	<p>Carencia de conciencia pública ambiental que genere la aceptación de soluciones alternativas, y también falta de capacitación rigurosa de los usuarios para garantizar su uso, operación y mantenimiento adecuados (Rosemarin et al. 2012).</p> <p>Las tecnologías del saneamiento sin agua o las de separación en la fuente pueden desafiar las percepciones de los usuarios, pues rompen con el paradigma de “descarga y eliminación” propio de la gestión centralizada de las aguas residuales (Lienert 2013). En los sistemas donde se almacenan o tratan in situ para su reutilización, a algunas personas puede repugnarles la idea de manejar excretas humanas (Andersson 2014a).</p> <p>Sin embargo, se ha encontrado que el malestar arraigado culturalmente con respecto a la reutilización de desechos humanos es mucho menos frecuente de lo esperado. Los desafíos son mucho mayores con respecto a la capacidad de las personas y de las comunidades agrícolas para adoptar y mantener opciones de mitigación de riesgo posteriores al tratamiento, pues muchos agricultores y consumidores no son conscientes de los posibles impactos negativos que tiene la reutilización de las excretas y las aguas residuales sobre la salud (WWAP 2015).</p>
Institucionales	<p>La recuperación de los recursos requerirá una gobernanza más fuerte y un sector público activo transversal entre varios sectores (Corcoran et al. 2010).</p> <p>Se requieren tiempo y recursos que garanticen pruebas, ensayos y seguimiento adecuados cuando se implementen soluciones innovadoras. Existe la necesidad de desarrollar instrumentos institucionales apropiados para promover el cambio (Rosemarin et al. 2012).</p> <p>Muchos de los programas nacionales dirigidos a modificar el comportamiento no cuentan con suficiente información de investigaciones adelantadas sobre las actitudes de los usuarios (WHO 2012b).</p>
Técnicos	<p>Para que un producto final sea de interés para los clientes (reutilizadores) es importante que la calidad, por ejemplo, el nivel de los nutrientes, sea constante en el tiempo. Esto puede implicar requisitos en cuanto a la composición del material que ingresa. La consistencia en los volúmenes producidos también es importante para mantener un nivel designado de suministro (7th World Water Forum 2015).</p> <p>Es posible que las innovaciones técnicas requieran un alto nivel de destreza para su construcción.</p> <p>Pasar de un programa piloto a la ejecución plena de los proyectos puede representar retos en cuanto a la factibilidad de las tecnologías y de la logística.</p> <p>El acondicionamiento o sustitución de los sistemas existentes puede resultar costoso (Larsen y Gujer 2013).</p>
Financieros	<p>Los análisis de rentabilidad son cruciales para apoyar las inversiones iniciales más altas que pueden requerirse para una mejor gestión y recuperación de los recursos (WHO 2012a)</p> <p>Uno de los mayores desafíos cuando se consideran otros componentes de valor agregado es la economía general del mercado objetivo. Por ejemplo, la recuperación de metales implica altos costos iniciales y operativos (7th World Water Forum 2015).</p>

3.2 Del uso lineal al uso cíclico de los recursos

Los ecosistemas son muy eficientes en el reciclaje de recursos. Los organismos interactúan entre sí y con el ambiente permitiendo que los nutrientes, el agua y otros recursos transiten a través del sistema, de manera que los productos de “desecho” de un proceso se conviertan en valiosos insumos para el siguiente. Es muy poco lo que se pierde, con excepción de la energía, la cual se reabastece con la luz solar. No obstante, las intervenciones humanas tales como la agricultura, han tenido como consecuencia una extracción de recursos a gran escala de algunos ecosistemas, y la descarga de diversos desechos y subproductos en otros sistemas (DeFries et al. 2004).

Con la industrialización, el creciente uso de recursos no renovables y la transformación del entorno debida a la urbanización y a la expansión agrícola, los volúmenes de desechos cada vez son mayores y se reduce la capacidad de los sistemas naturales para absorberlos y para producir nuevos recursos. Al largo plazo, el desarrollo sostenible exige que se mantengan en circulación los recursos, haciendo un uso productivo de ellos en cada etapa.

Uno de los tres nutrientes vegetales esenciales, el fósforo, ilustra la grave ineficiencia de la actual gestión de los recursos vitales contenidos en las aguas residuales. Únicamente el 20% del fósforo extraído para los sistemas de producción de

alimentos termina en los alimentos consumidos (Schröder et al. 2010). Buena parte del resto se pierde en los ríos y aguas costeras, en donde puede causar eutroficación. El sistema requiere constantemente nuevos insumos, así como grandes insumos de energía (habitualmente fósil) incluyendo aquellos para la producción de fertilizante. (Para más información sobre los fertilizantes sintéticos y su producción, ver el Cuadro 3.1.)

Existe la urgente necesidad de que las sociedades gestionen sus recursos de una manera más eficiente para satisfacer sus necesidades actuales y futuras. Una gran parte del desarrollo sostenible se relaciona con “cerrar el ciclo”: convertir los esquemas lineales de gestión de recursos en esquemas cíclicos, dentro de las denominadas economías circulares.

En el caso de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales, es necesario tener en cuenta muchos “ciclos”. Dos de los más importantes vinculan el saneamiento con la producción de alimentos: los ciclos de los nutrientes y los de la materia orgánica. El ciclo del agua (residual) no comprende solamente la agricultura, sino también los flujos de ecosistemas y otra serie de usos humanos, entre ellos el industrial. Aunque a menudo las aguas residuales regresan eventualmente a cuerpos de agua (idealmente después de ser tratadas), no siempre es posible reutilizarlas directamente, por ejemplo, porque están excesivamente contaminadas, o porque se descargan corriente abajo de donde se extrae el agua dulce. No obstante, hay muchas maneras de



Una mina de fosfato en Túnez. El fósforo es un problema grave para la seguridad alimentaria; los precios del fosfato mineral aumentaron alrededor de 800% en 2008, y el 75% de las escasas reservas comerciales se encuentran en Marruecos / Sahara Occidental. Foto: Reuters / Zoubeir / Souissi

Fertilizantes químicos: productividad agrícola, pero ¿a qué costo?



Los modernos fertilizantes químicos solo se originaron a comienzos del siglo XX. Compuestos principalmente de nitrógeno, potasio y fosfatos, han llevado a enormes incrementos en la productividad de los cultivos. No obstante, nuestra dependencia cada vez mayor de ellos conlleva altos costos.

Primero, la producción antropogénica de nitrógeno requiere un gran consumo de energía. El principal método utilizado, el proceso Haber-Bosch, supone combinar, a alta presión y calor, nitrógeno del aire con hidrógeno, producido habitualmente a partir de gas natural. El proceso consume energía y grandes volúmenes de gas natural.

Cuando se aplica un fertilizante de nitrógeno a la tierra de cultivo, este libera grandes cantidades de óxido nitroso (N_2O), un gas de efecto invernadero que tiene 300 veces el efecto de calentamiento atmosférico del peso equivalente de CO_2 . En zonas en las que se utiliza una gran cantidad de fertilizantes sintéticos, a este proceso se le pueden atribuir la gran mayoría de emisiones antropogénicas de N_2O , que llegaría al 74% en Estados Unidos (US EPA 2010). Otros impactos negativos son la disminución del ozono estratosférico, la contribución a la lluvia ácida, cambios en el ciclo global del nitrógeno y la contaminación del agua subterránea con nitratos (Roy et al. 2002).

Análogamente, la producción antropogénica de fósforo depende de la extracción de roca fosfórica. Los principales depósitos que existen aún se concentran en unos pocos países; las más grandes reservas se encuentran en Marruecos, el Sahara Occidental y China. Se estima que la mitad del fósforo extraído cada año termina en las corrientes de agua y en los océanos (Rockström et al. 2009), donde —junto con el nitrógeno— contribuye a la eutrofización y al agotamiento del oxígeno. A escala mundial, si se recolectara el fósforo disponible en las excretas humanas, equivaldría al 22% de la demanda total de fósforo (Mihelcic et al. 2011). Esta es una proporción significativa, pero también un indicador de la cantidad de nutrientes aplicados en la agricultura que se pierden antes de entrar a la cadena alimentaria humana.

El uso de fertilizantes producidos sintéticamente en todo el mundo se estima en 170 millones de toneladas al año (FAO 2011), aun cuando su distribución es bastante irregular. Al mismo tiempo, los sistemas convencionales de gestión del saneamiento y de las aguas residuales descargan anualmente, en pozos y en el ambiente natural, nutrientes equivalentes a cerca de 50 millones de toneladas de fertilizante, con un valor comercial mundial de cerca de US\$15 mil millones (Werner 2004).

cerrar el ciclo en lo que se refiere al agua dulce y las aguas residuales, por ejemplo, recuperando el agua del alcantarillado urbano y devolviéndole su uso como agua potable (después de un tratamiento riguroso), como se hace actualmente en Windhoek, Namibia (ver el estudio de caso en la Sección 9.1), o reutilizando las aguas residuales en agricultura o silvicultura, o filtrándolas a través de humedales artificiales.

Cerrar estos ciclos exige fundamentalmente enfoques novedosos para la gestión del saneamiento y de las aguas residuales que se deben reflejar no solo en sistemas tecnológicos, sino también en medidas sociales, ambientales, institucionales y financieras. Cuando la gestión de los recursos se convierte en la función central de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales, esto sugiere una nueva lógica para planear y diseñar sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales (ver la

FIGURA 3.1

Marco de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales desde una perspectiva de gestión de recursos



Figura: Stockholm Environment Institute

Figura 3.1). La primera pregunta que debemos plantearnos es qué recursos están disponibles en los flujos de desechos, qué demanda podría haber para ellos y cómo se podrían recuperar de una forma económica. El Cuadro 3.2 presenta un ejercicio dirigido a hacer un mapeo de los recursos disponibles y su valor potencial para un centro urbano.

3.3 Identificación de la demanda y disponibilidad de los recursos

Para que la recuperación de los recursos sea viable debe existir la perspectiva de una demanda futura de los productos derivados de ellos, así como la

posibilidad de llevarlos a centros de demanda sin que los costos de hacerlo sean prohibitivos desde un punto de vista económico, ambiental o social.

Calcular la demanda no se limita a identificar la poca disponibilidad de un recurso determinado. La demanda depende de la "utilidad" de un producto para los consumidores; es decir, cuánto están dispuestos a pagar por obtenerlo, lo cual puede verse afectado por innumerables factores relacionados con sus actitudes y expectativas. A menudo hay resistencia frente a la idea de usar fertilizantes fabricados a base de excretas por parte de los usuarios, vecinos y de los consumidores potenciales de las cosechas cultivadas con ellos. No obstante, la experiencia



Compostaje de heces operado por empresa local, El Alto, Bolivia. Foto: Flickr / SuSanA Secretariat



Estimación del valor potencial de los recursos de los desechos

Paso 1: Mapear los flujos de desechos

El primer paso para estimar un suministro potencial es hacer un mapeo de los flujos existentes y futuros potenciales del saneamiento y de las aguas residuales. Esto debería ser relativamente sencillo en ciudades que disponen de grandes redes de alcantarillado centralizadas; no obstante, como lo ilustra la primera figura siguiente para Dakar, es posible que haya una gran variedad de flujos en ciudades de ingresos bajos y medios y en zonas periurbanas. Esta figura se elaboró utilizando el método para inventarios de desechos del saneamiento: “Flujos de los desechos fecales” desarrollado por el Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial.

Paso 2: Estimar el contenido de recursos

El paso siguiente es estimar qué recursos están disponibles en los diferentes flujos. La segunda figura ilustra los valores agregados potenciales para Dakar si el flujo de los desechos fecales que se inicia desde los sistemas in situ (junto con una porción de orina) se gestionara de manera eficiente para la recuperación de los recursos. En este ejercicio exploratorio inicial, el enfoque se ha limitado a la recuperación de desechos de saneamiento desde sistemas in situ, lo cual, en el caso de Dakar, podría cubrir el 76% de todas las instalaciones sanitarias existentes.

Si se hiciera una co-digestión del lodo fecal y de los desechos orgánicos municipales para producir biogás, podría obtenerse un excedente de energía equivalente a cerca de 3.000 m³ de combustible diésel (que excluye la energía adicional necesaria para recolectar el lodo fecal, los desechos orgánicos y la orina, estimada en cerca de 3.300m³ de diésel). Además de esta producción de energía renovable, el tratamiento apropiado y la reutilización de los nutrientes contenidos en la orina, el lodo fecal y los desechos orgánicos bastaría para fertilizar más de 50.000 ha. de cultivos de arroz (con una producción aproximada de 200.000 toneladas de arroz al año), lo cual, para Senegal, corresponde a una cuarta parte de las importaciones anuales, y contribuiría así de manera apreciable tanto a la “soberanía” como a la seguridad alimentarias. Además de ofrecer la posibilidad de reutilizar valiosos recursos, adoptar el enfoque de la recuperación hará una importante contribución al control de la gestión deficiente de desechos y su vertimiento en ambientes residenciales y en las aguas receptoras. Desde la perspectiva del cambio climático, sustituir el diésel y los fertilizantes químicos podría reducir potencialmente las emisiones de carbono en cerca de 70.000 toneladas anuales.

SEI está desarrollando una herramienta llamada REVAMP, que puede usarse para estimar las cantidades y el valor de los recursos reutilizables disponibles en las aguas residuales municipales y otros flujos de desechos orgánicos. Ver la Sección 4.7 y Ddiba et al. (2016).

sugiere que esta resistencia puede superarse mediante campañas de concientización y demostración. Los esquemas de recuperación exigen también inversiones de los sectores público y privado y generan oportunidades comerciales potencialmente lucrativas. Es necesario que las instituciones, incluyendo los marcos jurídicos y legales, ofrezcan un apoyo decisivo.

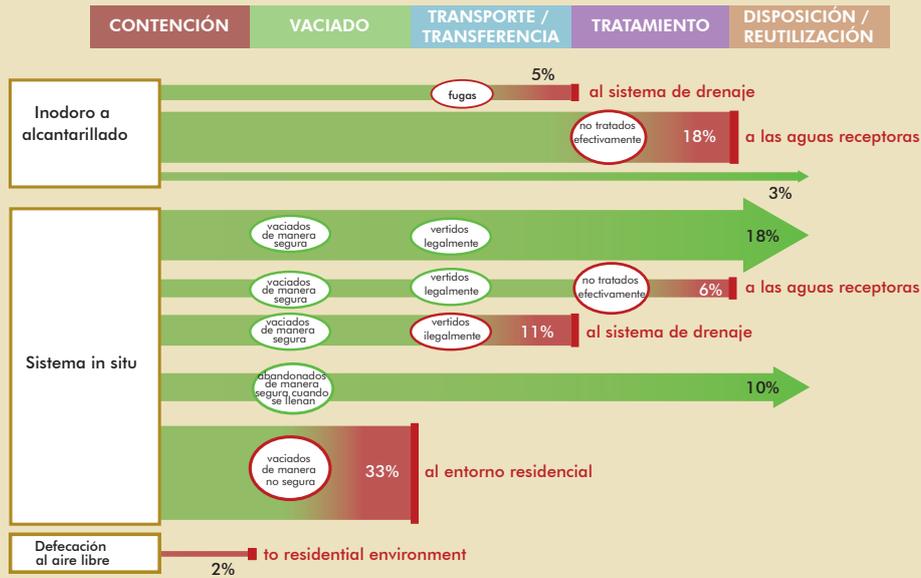
Una vez establecidas la disponibilidad y la demanda potencial, es preciso considerar las

opciones de recuperación que mejor se adapten al contexto. Hay también aspectos de factibilidad técnica, y la posible necesidad de una nueva infraestructura u otras adecuaciones.

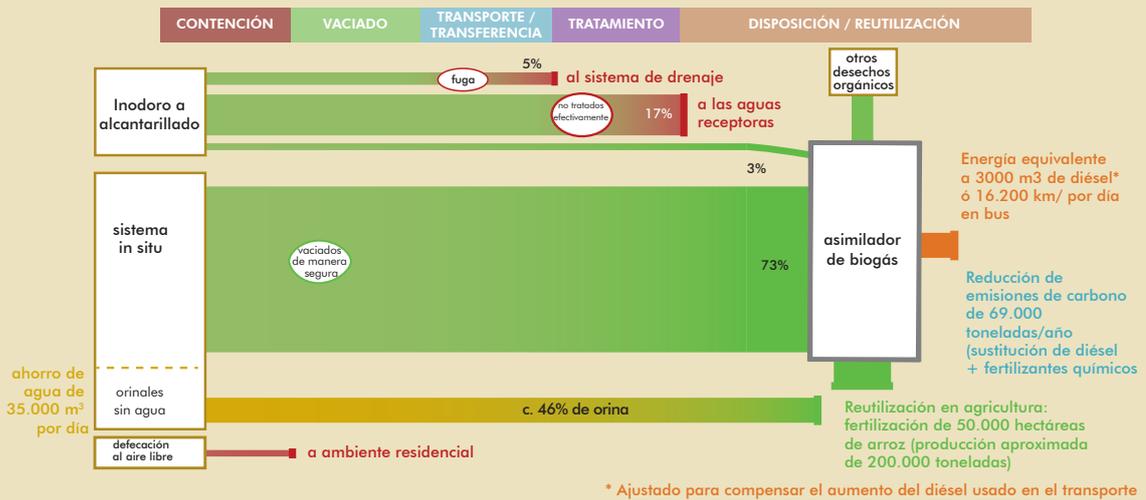
Otra consideración muy importante es la distancia entre el lugar donde se generan o procesan los desechos y los sitios en donde se pueden reutilizar. En el caso de la reutilización agrícola, por ejemplo, es probable que la distancia sea mínima en las comunidades de pequeños agricultores,

CUADRO 3.2 (cont.)

Flujos de desechos fecales en Dakar, Senegal - estado actual



Potencial de recuperación de recursos en flujos de desechos, Dakar



Las flechas rojas indican una gestión de los desechos poco segura, y las flechas verdes una gestión segura, al menos desde el punto de vista de la salud humana

Figura: Stockholm Environment Institute, basada en WSP 2014, con cálculos adicionales por parte de SEI.

pero puede llegar a representar un problema en contextos urbanos y periurbanos apartados de las tierras de cultivo en donde se utilizan los productos.

Otros costos potenciales incluyen los sistemas de tratamiento, la aplicación regular de pruebas de calidad, equipos y campañas de concientización.

La Figura 3.2. ilustra los principales recursos que se podrían recuperar de diferentes flujos de desechos, según el contexto. El tamaño de los flujos de

los desechos y la cantidad y concentración de los recursos, así como su reutilización potencial, exigirían un análisis detallado específico del contexto. Dependerían también de factores tales como las actividades industriales, las tecnologías existentes y las conexiones de las aguas residuales, las dietas, las prácticas de gestión de desechos sólidos, el clima y la geología (para más información sobre análisis de flujo de materiales, ver, por ejemplo, Montangero 2006; Meininger 2009).

Nutrientes y materia orgánica

La reutilización de los nutrientes y de la materia orgánica recuperados de los flujos del saneamiento y de las aguas residuales ha recibido más atención en años recientes, pero, de hecho, se ha practicado desde tiempos antiguos como una manera de obtener fertilizantes locales. A pesar de las muchas opciones disponibles, este tipo de reutilización de los sistemas para el saneamiento y las aguas residuales se da únicamente en una escala relativamente limitada en todo el mundo. Esto tiene muchas explicaciones, que incluyen la difundida resistencia social a la reutilización de los desechos humanos, los peligros potenciales de exposición a microcontaminantes (que han aumentado con la combinación de residuos domésticos e industriales y un uso social de químicos, por lo general alto) y los riesgos que representan los patógenos. Al mismo tiempo, en la actualidad, los fertilizantes químicos son ampliamente accesibles (e incluso son subsidiados por algunos gobiernos).

En la agricultura y la silvicultura, los recursos recuperados en forma de nutrientes y materia orgánica podrían complementar o suplementar el uso actual de fertilizantes sintéticos y acondicionadores de suelos; por lo tanto, un punto de partida útil consiste en hacer un inventario del uso productivo de la tierra donde hay (o es probable que haya) una necesidad identificable de insumos nuevos. El inventario podría incluir las tierras agrícolas de baja fertilidad o con dependencia de un suministro incierto o excesivamente costoso de fertilizantes sintéticos, y los proyectos de reforestación. Sin embargo, es posible que haya también una demanda

de fertilizantes y acondicionadores de suelos derivados de las aguas residuales y de las excretas humanas, por motivos económicos, sociales o éticos, incluso cuando hay alternativas sintéticas fácilmente accesibles.

Se han probado muchas medidas innovadoras en todo el mundo para hacer que los productos fertilizantes derivados de las excretas humanas resulten atractivos para el mercado. Una de ellas es comercializarlos con nombres, empaques, etc. que resalten la transformación de las excretas humanas en un producto nuevo y seguro. Esta medida fue de gran ayuda en una iniciativa periurbana en Uagadugú, Burkina Faso, consistente en construir un mercado para la orina, separada en la fuente y tratada, como fertilizante (ver Dagerskog et al. 2014). En El Alto, Bolivia, se agregan hierbas a la orina tratada para cambiar su color y olor. Los productos derivados de lodos sépticos y de lodos fecales a partir del saneamiento in situ pueden procesarse, por ejemplo, convirtiéndolos en gránulos secos, que además facilita la aplicación a las tierras de cultivo.

Un ser humano excreta aproximadamente la misma cantidad de nutrientes que consume. Por lo tanto, es posible estimar la cantidad de cada nutriente que estaría disponible en un flujo de desechos de saneamiento con base en el alimento consumido por la población pertinente (suponiendo que la mayor parte de las excretas de la población terminen en el flujo de desechos). La Tabla 3.2 ilustra el promedio estimado *per cápita* de contenido de nutrientes en las excretas humanas en países seleccionados, calculado por Jönsson et al. (2004) mediante el uso de datos sobre el consumo de alimentos nacional

FIGURA 3.2

Panorama de recursos provenientes de desechos y potenciales de una mejor gestión y recuperación

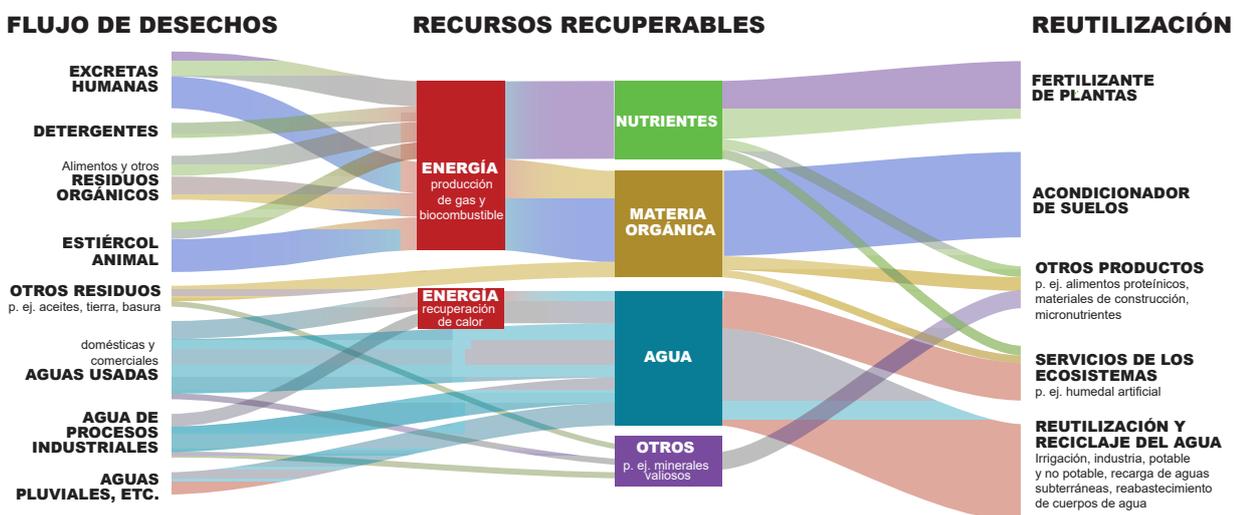


Figura: Stockholm Environment Institute

TABLA 3.2

Excreción estimada de nutrientes per cápita en diferentes países

País	Nitrógeno (kg/cápita/año)			Fósforo (kg/cápita/año)			Potasio (kg/cápita/año)		
	Orina	Heces	Excretas humanas	Orina	Heces	Excretas humanas	Orina	Heces	Excretas humanas
China	3,5	0,5	4,0	0,4	0,2	0,6	1,3	0,5	1,8
Haití	1,9	0,3	2,1	0,2	0,1	0,3	0,9	0,3	1,2
India	2,3	0,3	2,7	0,3	0,1	0,4	1,1	0,4	1,5
Sudáfrica	3,0	0,4	3,4	0,3	0,2	0,5	1,2	0,4	1,6
Uganda	2,2	0,3	2,5	0,3	0,1	0,4	1,0	0,4	1,4

Adaptado de Jönsson et al. 2004

promedio de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

La concentración de nutrientes en el flujo de los desechos depende de qué otros desechos ingresan al flujo junto con las excretas humanas. En sistemas que mantienen separadas las excretas humanas de las otras aguas residuales (por ejemplo, muchos sistemas rurales in situ), la cantidad de nutrientes por unidad de peso o volumen de desechos será mucho más alta que la de los sistemas a base de agua, especialmente cuando se mezclan los flujos de desechos domésticos con otros flujos de desechos. Las aguas residuales se clasifican a menudo de acuerdo con la concentración de los componentes diferentes al agua y estas clasificaciones pueden combinarse con datos sobre el consumo de alimentos para estimar los niveles aproximados de nutrientes. La Tabla 3.3 presenta los niveles de nutrientes estimados en aguas residuales domésticas y municipales. (La diferencia entre estos dos flujos se ilustra en la Figura 3.6.).

Vale la pena señalar también que la gran mayoría de nutrientes de las excretas humanas se encuentra en la orina, que es particularmente rica en nitrógeno. Contiene asimismo P y K, pero las proporciones de N respecto a estos otros nutrientes son más altas que en la mayoría de los fertilizantes comerciales. La orina tiene también un contenido de patógenos mucho menor que las heces. Este es uno de los principales argumentos a favor de la separación de la orina en la fuente (ver la Sección 4.4). Como regla general, la excreción anual de orina de una persona es suficiente para satisfacer las necesidades de fertilización de nitrógeno de 300 a 400 m² de cultivos y las necesidades de fertilización de fósforo de 600 m²

de cultivos para una temporada de cultivo (Jönsson et al. 2004).

Las heces también contienen nutrientes, aun cuando, en este caso, el P es el más importante. Las heces excretadas por una persona promedio contienen suficiente P para fertilizar de 20 a 40 m² de trigo cultivado en un suelo bajo en P; en suelos con un contenido normal de P, las heces de una persona pueden fertilizar de 200 a 300 m² de producción de trigo (EcoSanRes 2008). Para un análisis más detallado del valor agrícola y la reutilización de las excretas humanas, ver Jönsson et al. (2004).

El contenido de materia orgánica en los flujos de desechos domésticos depende considerablemente de los hábitos relacionados con la dieta y la preparación de alimentos. A diferencia de los nutrientes, el contenido de materia orgánica de los desechos de saneamiento se encuentra casi enteramente en las heces. Esta materia orgánica tiene dos principales valores de reutilización que no son mutuamente excluyentes: como acondicionador de suelos y como fuente de energía. Una persona promedio produce cerca de 50 litros de heces al año (EcoSanRes 2008). Cuando se utiliza papel higiénico, este es otra fuente importante de materia orgánica en los desechos del saneamiento.

Qué cantidad del contenido orgánico del flujo de los desechos del saneamiento puede recuperarse, y en qué forma, depende de las técnicas de tratamiento. Dado que las heces pueden contener una alta carga de patógenos, su tratamiento y manejo seguro son de particular importancia. En los sistemas de agua, gran parte del contenido orgánico se puede extraer de los lodos que se

TABLA 3.3

Concentraciones típicas de nutrientes en aguas residuales domésticas y municipales no tratadas

	Concentración de aguas residuales	Nitrógeno (mg/l)	Fósforo (mg/l)	Carbono orgánico total (mg/l)
Aguas residuales domésticas	Baja	20	4	80
	Media	40	7	140
	Alta	70	12	260
Aguas residuales municipales	Baja	20	4	80
	Media	40	8	160
	Alta	85	15	290

Adaptado de Tchobanoglous et al. 2003

producen durante el tratamiento de las aguas residuales. Dependiendo de la eficiencia del sistema, es posible recuperar de esta manera cerca de 20–30 kg/persona/año de materia orgánica seca (Roy et al. 2011). Las heces pueden tratarse también mediante compostaje o desecación.

Un factor importante es que para el acondicionamiento de suelos es necesario aplicar una cantidad mucho mayor de heces de la que se usaría solamente como fertilizante de fósforo. Las heces excretadas por una persona al

año contienen suficiente materia orgánica para acondicionar de 1,5 a 3 m² de suelos agrícolas (Jönsson et al. 2004).

Los otros desechos orgánicos domésticos e industriales se deben considerar también como fuentes potenciales de materia orgánica. De acuerdo con datos de Vögeli et al. (2014), la generación anual de residuos orgánicos en 23 ciudades de distintas partes del mundo varía entre 45 y 320 kg por persona (ver la Figura 3.3).

FIGURA 3.3

Composición de los desechos sólidos municipales en 23 ciudades

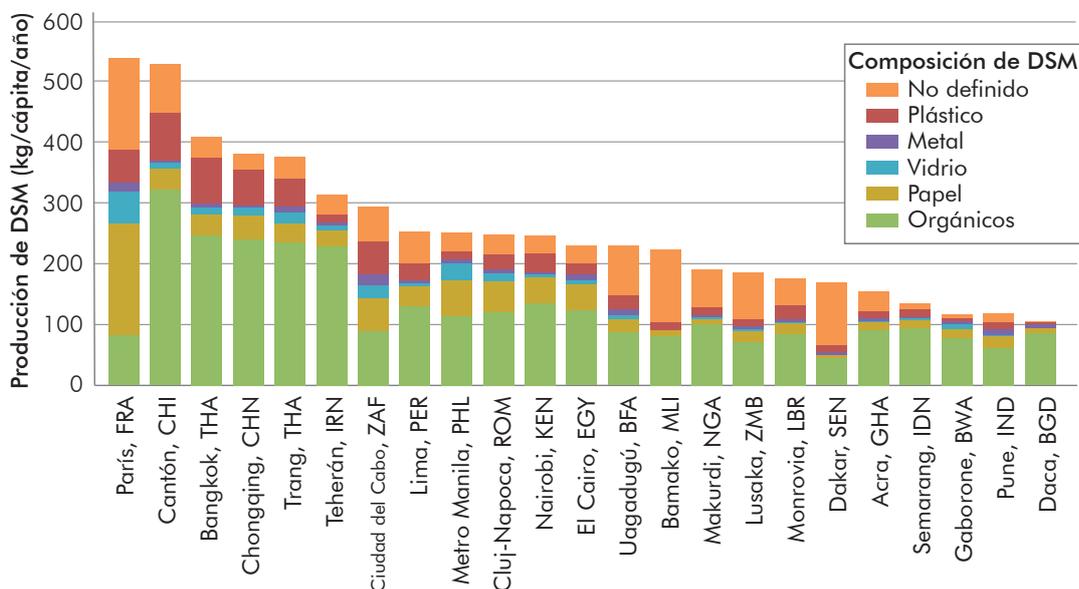


Figura: Basada en Vögeli et al. 2014

Agua reciclada

En muchos lugares, la reutilización de los recursos del agua es una estrategia importante para gestionar la escasez de agua, especialmente cuando los asentamientos humanos y las actividades industriales compiten por un suministro limitado de agua. Muchos pequeños agricultores en zonas urbanas y periurbanas de países con escasez de agua dependen ya en gran medida de las aguas residuales para irrigar sus cultivos —a menudo, por ser la única fuente confiable de irrigación disponible (Sato et al. 2013). La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha estimado que 20 millones de hectáreas de tierras cultivables en todo el mundo (aproximadamente el 7% del total de las tierras cultivables) se irrigan con aguas residuales (WHO 2006). En 2006, había más de 3.300 instalaciones de recuperación de agua en todo el mundo, con diferentes grados de tratamiento y para diversas aplicaciones (Salgot y Huertas 2006). La mayor parte de ellas estaba en Japón (más de 1.800) y Estados Unidos (más de 800), pero Australia y la Unión Europea tenían también 450 y 230 proyectos, respectivamente. El Mediterráneo y el Medio Oriente tenían cerca de 100 instalaciones, América Latina 50, y el África subsahariana 20.

Por otra parte, la reutilización de aguas grises (agua recolectada del lavado y del baño del

cuerpo, etc.) ha despertado un creciente interés en los hogares y las comunidades (ver un estudio de caso en la Sección 9.2). Las aguas grises componen la mayor parte del flujo típico de aguas residuales domésticas y pueden ser usadas con seguridad para la descarga de inodoros, irrigación de zonas verdes y usos similares, si se las mantiene separadas de las excretas humanas y libres de sustancias tóxicas. Para más información sobre esquemas de recuperación de aguas grises, ver la Sección 4.4.

Hay numerosos ejemplos de formas de reutilizar o reciclar las aguas residuales (ver la Figura 3.4). Algunas de las más comunes incluyen:

- irrigación agrícola y de zonas verdes,
- usos industriales (p. ej. agua reciclada de procesos, enfriamiento),
- usos potables (p. ej. mezclas en el suministro de agua municipal),
- usos no potables (p. ej. descarga de inodoros, control del polvo, lavado de autos),
- reabastecimiento de cuerpos de agua naturales (p. ej. aguas subterráneas),
- reabastecimiento de lagos y humedales artificiales.

Para la gestión de la demanda de agua y su posible escasez, puede resultar estratégico

FIGURA 3.4

Reutilización de las aguas residuales como parte de los ciclos de agua naturales

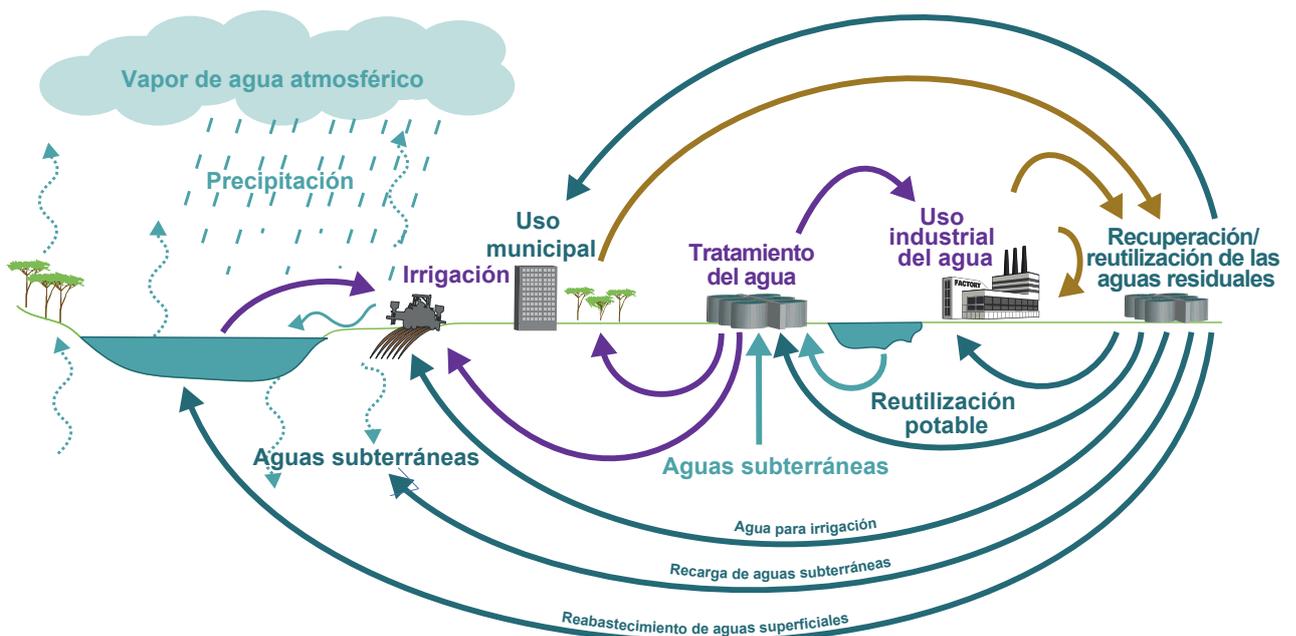


Figura: Basada en Asano 2002



Tierra de cultivo irrigada con aguas residuales recicladas en terrenos asolados por la sequía, Watsonville, California. Fotografía: Flickr / USDA.

hacer un inventario de los principales flujos de suministro de agua y luego compararlos con los flujos de aguas residuales para determinar cómo podrían correlacionarse con la demanda, de manera similar a como lo ilustra el diagrama de flujo de los desechos fecales del Cuadro 3.2. En este caso sería conveniente encontrar los flujos de aguas residuales y las opciones de recuperación que mejor coincidan con los requerimientos de calidad de agua de cada segmento de la demanda, para evitar inversiones en tratamientos innecesarios. Cómo llevar los flujos separados de aguas residuales tratadas a cada usuario final es otra pregunta pertinente —para evitar, por ejemplo, la práctica ineficiente pero difundida de utilizar el agua potable para la irrigación.

En volumen, el agua es el componente principal de cualquier flujo de aguas residuales. Una localidad puede producir una amplia diversidad de tipos de aguas residuales, de acuerdo con sus actividades industriales y comerciales, tipos de uso de la tierra, asentamientos humanos y estructuras urbanas. Los volúmenes y contenido de los diversos flujos pueden también variar considerablemente. La Figura 3.5 ofrece un panorama de los flujos típicos de aguas residuales provenientes de diferentes fuentes en una zona urbana.

La cantidad total de aguas residuales generada en una localidad puede estimarse de manera muy aproximada con base en datos sobre el suministro de agua, usualmente disponibles con

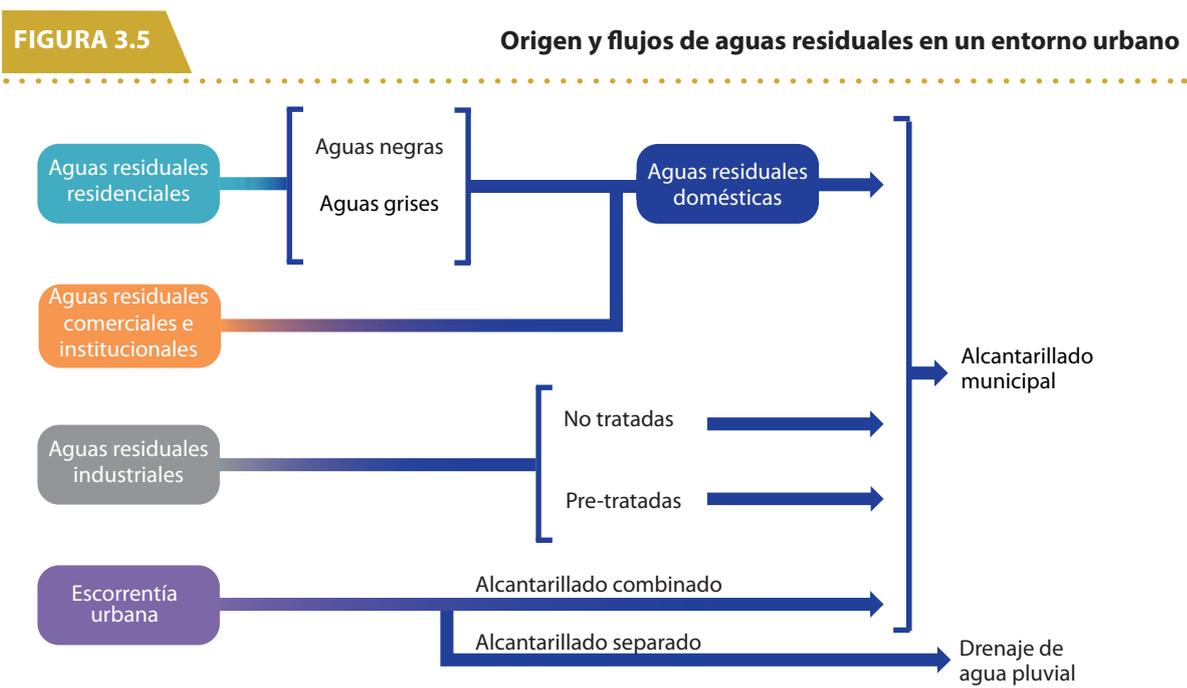


Figura: Basada en Helmer y Hespanhol 1997

facilidad. Es necesario hacer ajustes para el agua que no termina en las aguas residuales, como la utilizada para irrigación; el agua incorporada a productos industriales; o la porción de agua bebida por la gente. Además, cuando las redes de alcantarillado reciben un mantenimiento deficiente y tienen filtraciones, esto puede reducir la cantidad disponible para su reutilización y contaminar las aguas subterráneas y el agua superficial con patógenos y contaminantes.

Sin embargo, no todos los flujos de aguas residuales pueden considerarse iguales desde la perspectiva de su recuperación y reutilización. En uno de los extremos de la escala, algunos tipos de aguas residuales se pueden reutilizar de manera segura para la limpieza doméstica, la irrigación, e incluso como agua potable después de un tratamiento mínimo. En el otro extremo, algunos flujos de aguas residuales están tan contaminados que tratarlos para muchas clases de reutilización segura puede resultar excesivamente costoso.

Debido a lo anterior, vale la pena considerar de manera separada los diferentes flujos de aguas residuales. Esto permite hacer un cálculo más preciso de cuánta agua residual adecuada estará disponible para tipos particulares de reutilización. Es posible también que haya oportunidades para un mayor control y separación de aguas residuales en la fuente, para impedir que flujos relativamente limpios de aguas residuales se contaminen y permitir un tratamiento más rentable. Por ejemplo, es posible que un flujo de aguas residuales industriales contenga constantemente algunos microcontaminantes, pero que esté relativamente puro en otros

aspectos. Este flujo puede recibir entonces un tratamiento específico para eliminar estos microcontaminantes cerca de la fuente, mientras que sería excesivamente costoso tratar de la misma manera todas las aguas residuales generadas en la localidad. En el Capítulo 4 se exponen con más detalle los potenciales de separación en la fuente de las aguas residuales.

Cuando se hace un cálculo financiero de los costos y beneficios de la recuperación y reutilización de las aguas residuales, es importante excluir el costo de tratar las aguas residuales según los estándares de efluentes (es decir, los estándares permitidos para su descarga en el medio ambiente), que son los estándares mínimos para cualquier tratamiento de aguas residuales. Esto es pertinente, por ejemplo, cuando se comparan con los costos de un método alternativo de producción de agua potable, tal como la desalinización.

En los hogares, la generación de aguas residuales varía considerablemente en diferentes lugares, poblaciones e incluso en cada hogar individualmente. No depende solamente de la disponibilidad del agua, sino también, entre otros factores, de si los miembros del hogar trabajan fuera de él, del tipo de instalación que haya (p. ej. lavadoras o equipo de ahorro de agua) y de los estilos de vida. Otra manera de reducir las necesidades del tratamiento y preservar la fuente natural de agua es, desde luego, reducir la cantidad de agua que entra al sistema. Por ejemplo, el solo consumo de agua de un inodoro de descarga puede ser entre 6.000 y 15.000 litros anuales por usuario (Larsen et al. 2013).



Lodos sépticos tratados, aplicados a una tierra de cultivo en Alemania. Fotografía: Flickr / SuSanA Secretariat

Reutilización de agua y nutrientes combinados

En la mayoría de las formas de reutilización y disposición, es necesario separar los nutrientes y la materia orgánica de los flujos de aguas residuales que incluyen excretas humanas diluidas. No obstante, bajo algunas circunstancias resulta viable reutilizar estas aguas residuales sin hacer esta separación, especialmente para fertilizar e irrigar a la vez en agricultura, silvicultura o actividades similares. En las zonas urbanas, especialmente en regiones secas con escasez de agua, las aguas residuales se pueden aplicar a espacios verdes. En varios países asiáticos (entre ellos China, India, Indonesia y Vietnam) ya es una práctica común en acuicultura reutilizar conjuntamente el agua y los nutrientes.

Este tipo de reutilización combinada no solo promueve el crecimiento de las plantas, sino que elimina algunas de las etapas de tratamiento (reduciendo la inversión y el uso de energía), pues no es necesario separar los nutrientes y la materia orgánica del contenido del agua. A menudo, los estanques de estabilización del agua y otros tratamientos de las aguas residuales a bajo costo pueden ser suficientes para reducir la carga de patógenos y de contaminantes a niveles admisibles (Alderson 2015).

Tanto las aguas residuales municipales convencionales como las aguas usadas separadas en la fuente (aguas de descarga y excretas humanas) pueden ser fuentes de reutilización de agua y nutrientes combinados (ver los estudios de caso en el Capítulo 9).

Demanda y disponibilidad de energía

La producción de biogás mediante la digestión anaeróbica (o fermentación) de materia orgánica proveniente de plantas de tratamiento de las aguas residuales se usó por primera vez a comienzos de la década de 1900. Su aplicación se ha diversificado a lo largo de los años con respecto al tipo de flujos de desecho y a su escala de operación.

La producción de biogás puede hacerse en los hogares o industrias individuales, en comunidades o distritos, o centralizadamente. A menudo resulta más eficiente agregar residuos de alimentos u otros orgánicos a las aguas residuales o a las excretas humanas, pues ambos contienen una importante cantidad de materia orgánica. Los desechos orgánicos provenientes de diferentes actividades industriales deberían considerarse también como insumos potencialmente importantes para la recuperación de energía. En China, muchos de los hogares rurales tienen sus propios digestores de biogás, los cuales, en su mayoría, combinan las excretas humanas con estiércol animal y desechos orgánicos.

El potencial energético de los flujos de desechos varía enormemente con la concentración de materia orgánica y, en particular, con el contenido de las excretas humanas. Los desechos fecales derivados de dietas más altas en proteína (típicas de consumidores más adinerados) genera más biogás. La Tabla 3.4 presenta un panorama de la producción potencial de biogás a partir de algunos flujos de desechos de saneamiento



Parte de la planta de cogeneración de bioenergía de la Planta de Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales Blue Plains, Distrito de Columbia, E.E. U.U. Fotografía: DC Water

TABLA 3.4

Potencial de producción de biogás a partir de excretas humanas y lodos

	Lodo de letrinas de pozos públicos y privados	Residuos sépticos de tanques sépticos	Aguas residuales domésticas normales
Características	Alta concentración, baja estabilización	Baja concentración, buena estabilización	-
Biogás (m ³ /kgsólidos totales)	0.35–0.5	0.1–0.2	-
Biogás (m ³ /m ³)	8.0–10.0	0.5–2.0	0.1–0.3

Fuente: Schmidt 2005

típicos. Además de estas cifras, aproximadamente 10 kg (peso húmedo) de biodesechos no sanitarios (p. ej. desechos de cocina y de mercado) pueden producir 1 m³ de biogás (Vögeli et al. 2014).

En términos de cuánta energía puede producirse de esta manera, 1 m³ de biogás produce aproximadamente 6 kWh de energía, equivalente a cerca de 0,6 litros de combustible diésel (Vögeli et al. 2014). Una regla general muy aproximada es que las excretas humanas de 10 a 15 personas pueden suministrar suficiente biogás para cocinar tres comidas promedio al día para una persona (Balasubramaniyam et al. 2008). Por lo tanto, la recuperación de energía de las aguas residuales puede ser una contribución a la seguridad energética y un avance hacia la energía renovable, no una solución completa. Además, es probable que los esquemas a gran escala sean más factibles económicamente que los de menor escala.

No obstante, la digestión anaeróbica sirve también como una forma de tratamiento de las aguas residuales (p. ej. al eliminar patógenos) y, por lo tanto, un digestor de biogás cumple ambos propósitos. Los nutrientes y la materia orgánica pueden recuperarse de los desechos después de la digestión. La digestión puede reducir también la alta demanda de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas comúnmente con el tratamiento de las aguas residuales, al sustituir las tecnologías convencionales de alto consumo de energía y reducir las emisiones de metano.

En algunas jurisdicciones, incluyendo la Unión Europea, se exige que los residuos de alimentos y subproductos animales se sometan a “higienización” para eliminar patógenos antes de ser utilizados para la producción de biogás. El método más común es la pasteurización (calentamiento a alta temperatura durante un período de tiempo). Pasteurizar el lodo de las aguas residuales con desechos orgánicos de este tipo aumenta la entrada de energía significativamente, pero se ha demostrado que, incluso en este caso, el proceso puede generar una salida de energía positiva neta (Rogstrand et al. 2012).

La incineración se usa también con frecuencia para la recuperación de energía a partir del lodo de alcantarillado y de los desechos sólidos orgánicos municipales. Cuando se incinera, el valor calorífico del lodo de alcantarillado seco (12–20 MJ/kg) se aproxima al del carbón (Samolada y Zabaniotou 2014). La incineración también reduce significativamente el volumen de desechos. Sin embargo, destruye también la mayor parte de la materia orgánica y de los nutrientes (p. ej. nitrógeno, azufre y fósforo disponible para las plantas) que, de otra manera, podrían recuperarse (Niwigaba 2009). Por lo tanto, la incineración solamente se debería considerar como parte de un sistema sostenible cuando la reutilización de nutrientes no sea factible.

Otros métodos de recuperación de energía a partir del lodo que aún no han avanzado más allá de una implementación a pequeña escala, son la pirolisis y



Gránulos de fibra de celulosa recuperadas del alcantarillado. Estos gránulos, comercializados bajo el nombre de Recylose, se pueden utilizar como combustible o en la producción de papel, aislamientos, materiales de construcción y bioplásticos. Fotografía: Reuters / Baz Ratner

la gasificación. La gasificación térmica de diversos residuos de biomasa es una tecnología promisoría para combinar la producción de bioenergía con la gestión de la fertilización de suelos mediante la aplicación del biocarbón (biochar) resultante para la reparación de suelos (Hansena et al. 2015).

La recuperación del calor de las aguas residuales ha despertado cierto interés, especialmente en aquellos países con demanda de calefacción doméstica. En la actualidad se comercializan sistemas para edificios que pueden recuperar calor a partir del agua de los drenajes para precalentar el agua caliente, mientras que algunos sistemas a mayor escala pueden recuperar calor de los alcantarillados municipales. Es posible también recuperar calor de algunos flujos de aguas residuales industriales.

La combinación de la producción de biomasa con el tratamiento de aguas residuales es un enfoque integrado de uso de tierras y sistemas que genera muchos beneficios. La biomasa cultivada en las aguas residuales durante su tratamiento puede usarse como insumo para la recuperación de energía. Un enfoque emergente es el tratamiento de las aguas residuales con microalgas (Sriram y Seenivasan 2012). Este necesita aún más desarrollo para convertirse en una fuente competitiva de energía (Trivedi et al. 2015).

Otros usos de los recursos

Además de estos métodos más comunes para la recuperación de recursos de las aguas residuales y de los desechos de saneamiento, hay disponibles una serie de métodos adicionales. El lodo tratado y las cenizas del lodo, por ejemplo, pueden usarse para fabricar ladrillos u otros materiales de construcción cuando no hay un mercado para

otras formas de reutilización (ver Slim y Wakefield 1990). Otro enfoque, cada vez más atractivo, consiste en cultivar larvas de insectos en los desechos orgánicos, junto con lodo o heces, para producir alimentos proteínicos para el ganado, lo cual reduce a la vez el volumen de los desechos e impide la transmisión de patógenos. En la sección 9.8 se presenta un proyecto en el que se usan larvas de la mosca soldado negra con ese fin.

MENSAJES CLAVE

- Existe la necesidad urgente de que las sociedades gestionen sus recursos de manera más eficiente para satisfacer sus necesidades actuales y futuras.
- Si bien la recuperación de recursos presenta desafíos adicionales, puede aliviar las presiones crecientes que enfrentan los sistemas de saneamiento y de aguas residuales.
- “Cerrar el ciclo” requiere examinar qué recursos están disponibles en los flujos de desechos, qué demanda podría haber para ellos y cómo podrían recuperarse de una forma económica.
- Uno de los ciclos potenciales más importantes vincula el saneamiento con la producción de alimentos, lo cual implica recuperar los nutrientes y la materia orgánica de los desechos de saneamiento revertirlos en uso agrícola.

4. FUNCIONALIDAD TÉCNICA



4.1 El diseño de un sistema

Un error que comparten muchos de los intentos por mejorar la gestión del saneamiento y de las aguas residuales es comenzar con una tecnología que ha “funcionado” en otro lugar, incluso como parte de un sistema sostenible. Este enfoque ha hecho que muchas ciudades y comunidades implementen sistemas que están lejos de ser óptimos y que, por ejemplo, no se pueden adaptar fácilmente a cambios en la densidad poblacional; ejercen una pesada carga sobre los escasos recursos de agua; con frecuencia se averían o funcionan mal, especialmente durante las inundaciones y las lluvias fuertes; y, en algunos casos, ni siquiera se utilizan (Wong y Brown, 2009). Además, los modelos para financiar y atender la prestación del servicio, así como las disposiciones institucionales que funcionan en una ciudad, no necesariamente lo hacen en otra.

Ninguna interfaz de saneamiento del usuario (ver más adelante) o tecnología de tratamiento son sostenibles por sí mismas —son solamente tecnologías que cumplen funciones específicas dentro de un sistema relativamente sostenible. Este sistema se debe planear, diseñar y operar de manera que se adapte a las condiciones específicas en las que se necesita. Es posible, por ejemplo, que los inodoros secos de compostaje in situ, “arboolos”⁹ y/o los sistemas que usan para los cultivos aguas grises mínimamente tratadas sean

las opciones más sostenibles para un pequeño agricultor rural; por el contrario, para los grandes centros urbanos, pueden ser más adecuados los sistemas que operan con agua, con redes de alcantarillado que desembocan en una planta de tratamiento centralizada donde se recuperan y distribuyen los recursos en grandes cantidades.

Entre estos dos extremos hay una gama de posibilidades con diferentes funciones que se realizan en el sitio, en instalaciones centralizadas o descentralizadas, según la densidad poblacional, las condiciones geofísicas y otros factores. Por fortuna, disponemos en la actualidad de una amplia gama de tecnologías. En este capítulo se presenta un panorama amplio de las diferentes funciones de la tecnología en un sistema para saneamiento y aguas residuales y explora cómo identificar e implementar tecnologías que cumplan estas funciones dentro de un sistema sostenible y apropiado localmente. Al hacerlo, se introducen algunas de las tecnologías más interesantes y comunes.¹⁰

Elementos técnicos de un sistema

Un sistema sostenible de gestión del saneamiento y de las aguas residuales debe incluir infraestructura o servicios para desempeñar las siguientes funciones de una manera segura, eficiente y adecuada:

⁹ Letrinillas portátiles colocadas sobre un pequeño hoyo; una vez que el hoyo se llena, se planta allí un árbol y la superestructura se traslada a un nuevo hoyo (Mara 2012).

¹⁰ El Compendium of Sanitation Systems and Technologies (Tilley et al. 2014), con el material suplementario el Guide to Sanitation Resource-Recovery Products & Technologies (McConville et al. 2020), presentan un buen panorama de las tecnologías disponibles. Es posible acceder a una amplia colección de fichas técnicas de Tecnología de Aguas Residuales de US EPA en <http://water.epa.gov/scitech/wastetech/mtbfact.cfm>.

Interfaz del usuario: Este es el punto en el que los flujos de desechos (excreta, aguas residuales y, potencialmente, otros desechos orgánicos) salen por primera vez del entorno inmediato del usuario; por ejemplo, un inodoro o drenaje de piso.

Recolección y almacenamiento: La recolección y almacenamiento de los flujos de desechos pueden realizarse in situ o en un punto centralizado; por ejemplo, en bidones para la orina y en tanques de almacenamiento o tanques sépticos para las aguas residuales.

Transferencia y transporte: Según la configuración del sistema, es posible que el flujo de desechos necesite transferirse entre diferentes lugares y funciones tecnológicas, por ejemplo, de la interfaz del usuario al(los) punto(s) de recolección; de un punto de recolección a un punto de tratamiento; y del punto de tratamiento al de reutilización. Es posible descargar partes del flujo de desechos en el medio ambiente después de tratarlas, o bien depositarlas para almacenamiento a largo plazo (p. ej. en el caso de un contenido tóxico que deba aislarse). Los medios de transferencia y de transporte pueden variar desde contenedores de plástico a redes de tubería fijas o camiones.

Tratamiento: Conjunto de procesos diseñado para eliminar o extraer los componentes indeseados o peligrosos, y hacer que los otros componentes resulten seguros y prácticos para su reutilización (o descarga en el medio ambiente). El tratamiento puede ser pasivo (almacenamiento) o activo, mediante el uso de procesos mecánicos, biológicos o químicos.

Recuperación y reutilización de los recursos: Existen diversos métodos para la recuperación y reutilización o reciclaje de los recursos contenidos en los flujos de desechos, que dependen

de la demanda y las condiciones locales. Varios pueden coincidir parcialmente con el tratamiento (p. ej. compostaje, digestión para la producción de biogás).

Factores del diseño del sistema

Existe una gama de factores que debería incidir en la elección y combinación de tecnologías en un sistema de saneamiento o de aguas residuales. Algunos de ellos son estrictamente técnicos, mientras que otros se relacionan con aspectos más amplios de la sostenibilidad del sistema, entre los que se encuentran:

- la demanda identificada de recursos recuperables (p. ej. necesidades agrícolas; ver el Capítulo 3);
- factores geográficos y geofísicos (p. ej. disponibilidad del agua, calidad y sensibilidad del agua receptora, topografía y geología subterránea, estructura urbanística y densidad poblacional, infraestructura existente y peligros naturales);
- necesidades, expectativas y capacidad de los usuarios. Estas incluyen asuntos tales como preferencias por el enjuague o limpieza anal, necesidad de manejo de higiene menstrual; protección de la salud humana y del medio ambiente (ver los Capítulos 5 y 6);
- capacidad institucional y acceso al apoyo técnico local (ver el Capítulo 7);
- disponibilidad de materiales para la construcción, operación y mantenimiento del sistema;
- desarrollos proyectados (p. ej. urbanización, densidad poblacional, expansión industrial);
- disponibilidad de recursos financieros para su construcción y operación a largo plazo.

FIGURA 4.1

Funciones técnicas en una cadena de valor sostenible del saneamiento y de las aguas residuales

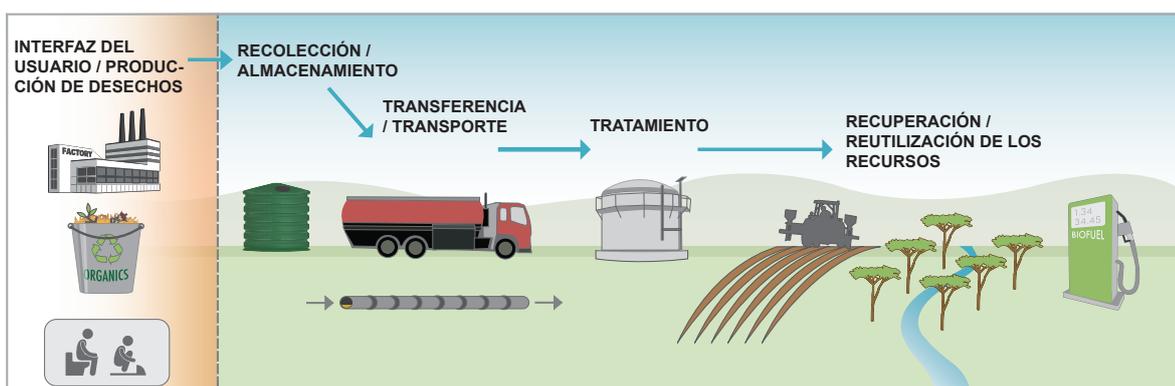


Figura: Stockholm Environment Institute

Muchos de estos aspectos se exponen en mayor detalle en otros capítulos, como lo indica la lista anterior, mientras que este capítulo se centra en particular en factores geográficos y geofísicos, así como en configuraciones tecnológicas desde la perspectiva de la gestión sostenible de los recursos. Para más orientación acerca de cómo planear y diseñar sistemas para el saneamiento y las aguas residuales, ver Tilley et al. (2014) y Parkinson et al. (2014).

4.2 Factores geográficos y geofísicos

Los factores geográficos y geofísicos que determinan qué resulta factible o no cuando se planean sistemas nuevos o mejorados de gestión del saneamiento y de las aguas residuales son, con frecuencia, específicos del lugar. En esta sección se presentan algunos de los más importantes. (Para una exposición más detallada, ver también Cruz et al. 2005.)

Disponibilidad del agua

Es necesario realizar un análisis de la disponibilidad del agua, que incluya el acceso al agua en el sitio, la disponibilidad de energía para bombear el agua, y anticipar la variabilidad estacional o incluso diaria del acceso al agua. Esto es de especial importancia para el diseño de los sistemas del saneamiento doméstico, pues los inodoros de descarga se han popularizado en los programas de desarrollo

–principalmente porque se los considera más convenientes para los usuarios.

Es importante también mirar hacia el futuro. El crecimiento poblacional, el desarrollo industrial o agrícola y el cambio climático, por ejemplo, son todos aspectos que pueden incidir significativamente en la futura disponibilidad del agua en algunos lugares. Podemos tomar como ejemplo el área metropolitana de La Paz, Bolivia, donde los glaciares, que suministran aproximadamente el 30 % del agua dulce, se están retirando con rapidez debido al aumento de las temperaturas (Buxton et al. 2013). En otras áreas, por ejemplo, el África subsahariana, sufren escasez de agua “económica” (ver el Cuadro 1.1) –es decir, escasez de agua debida a la falta de crecimiento económico y de inversión en infraestructura del agua. Es posible que un aumento en la disponibilidad del agua lleve a la gente a cambiar las tecnologías de saneamiento en sus hogares, lo cual, a su vez, puede modificar la compatibilidad de la interfaz del usuario con las partes aguas abajo del sistema.

Topografía, geología superficial y sensibilidad de las aguas receptoras

Una topografía montañosa puede hacer que los sistemas centralizados que utilizan agua sean mucho menos viables, pues las aguas residuales deben ser bombeadas de una zona de subcaptación a otra. De manera análoga, las formaciones rocosas cercanas a la superficie pueden hacer difícil o costoso el tendido de la tubería de alcantarillado. Para los sistemas que



Inodoro de compostaje con separación de orina, en Níger (izquierda) y demostración de un inodoro sanitario con separación de orina en la Bio Reserva y Centro Ecológico Tarumitra, Bihar, India (derecha), con cuerda para facilitar su uso. Fotografías: Linus Dagerskog, Kim Andersson.

dependen de la infiltración, tales como las letrinas de pozo o pozos/campos de lixiviación, son igualmente importantes el tipo de suelo y el nivel de las aguas freáticas locales.

Por otra parte, factores biofísicos tales como la calidad y la sensibilidad ecológica actuales de las aguas receptoras (subterráneas o superficiales) pueden restringir las opciones tecnológicas. Es necesario también tenerlos en cuenta al determinar el nivel mínimo de tratamiento necesario antes de descargar los desechos en el medio ambiente, o para ubicar los puntos adecuados para la descarga de las aguas residuales (especialmente si la gente extrae su agua potable o se baña en lugares cercanos).

Las opciones tecnológicas disponibles para la ciudad de Kochi, en India, por ejemplo, están limitadas por condiciones de un terreno plano con alto nivel freático, que no son favorables para un sistema convencional de drenaje subterráneo. Los tanques sépticos y las letrinas de pozo no funcionan adecuadamente, lo que da como resultado la contaminación del agua y del subsuelo. La solución sugerida en este caso incluyó el sellamiento de los sistemas in situ y la recolección de aguas negras a través de alcantarillas de bajo calibre (o alcantarillas simplificadas) con instalaciones de tratamiento descentralizadas (Corporación Municipal de Cochin 2011).

Peligros naturales

Es posible que los peligros relacionados con el clima y otros fenómenos naturales, tales como las inundaciones, las lluvias torrenciales, las sequías y la escasez de agua, afecten el funcionamiento de diferentes componentes del sistema, agregando incluso graves peligros para la salud por la exposición a patógenos y contaminantes durante los desastres. Por tanto, los sistemas se deben diseñar de manera que sean robustos o resilientes frente a los peligros naturales a los que es vulnerable la zona local, en especial frente a acontecimientos recurrentes tales como las inundaciones estacionales.

El clima puede incidir también en los procesos del tratamiento, y es necesario tener en cuenta en el proceso de diseño los requisitos estacionales de nutrientes y de agua. Por ejemplo, la interfaz del usuario u otros componentes del sistema que no dependan del agua para transportar la excreta (p. ej. un inodoro seco) pueden resultar menos vulnerables durante las sequías (Andersson 2014a).

Urbanización y densidad poblacional

Es posible que las condiciones rurales, periurbanas y urbanas (con una creciente densidad poblacional y de desarrollo) incidan de forma directa sobre el diseño del sistema. Una alta concentración de población y de unidades residenciales, en especial donde hay rascacielos y un espacio público limitado, tiende a favorecer un alcantarillado subterráneo y servicios de tratamiento centralizados, mientras que, donde hay una menor densidad, los sistemas descentralizados e individuales son más prácticos y económicamente factibles.

La urbanización y la densidad poblacional afectan también las oportunidades y los retos para la recuperación de los recursos. En un contexto rural, por ejemplo, los nutrientes de las plantas, los acondicionadores del suelo y las aguas para la irrigación se necesitan por lo general cerca del lugar donde se producen los desechos del saneamiento (y otros desechos orgánicos). Habitualmente esto no sucede en las zonas urbanas, en donde la logística puede ser un grave problema. Al mismo tiempo, las densidades poblacionales más altas hacen que resulten más adecuados los servicios de recolección centralizados, lo cual puede resultar más atractivo desde la perspectiva de los usuarios.

Infraestructura y servicios existentes

La infraestructura existente de gestión del saneamiento y de las aguas residuales puede determinar de manera decisiva cuáles innovaciones son factibles. Es probable que los sistemas existentes ofrezcan una buena base para una mejor gestión y reciclaje de algunos recursos; sin embargo, en otros casos, es posible que los costos y aspectos prácticos de sustituir y acondicionar los sistemas existentes limiten las opciones para la gestión y recuperación de los recursos. Estas limitaciones se aplican principalmente a los sistemas centralizados operados con agua y conectados a un alcantarillado. Por ejemplo, los sistemas combinados (que mezclan las aguas residuales domésticas y el agua pluvial) pueden recibir grandes cantidades de aguas pluviales durante las estaciones de lluvias, diluyendo así los lodos y haciéndolos mucho menos eficaces para la producción de biogás. De manera análoga, los sistemas combinados pueden recibir aguas residuales industriales complejas que contienen sustancias que hacen poco seguros algunos tipos de reutilización, incluso después de tratamiento.

No obstante, existen muchas maneras de mejorar la situación que no incluyen costosas obras de infraestructura; por ejemplo, las campañas de concientización dirigidas a diversos grupos de usuarios (hogares, comerciales, industriales, institucionales), en lo posible respaldadas por reglamentaciones, pueden reducir en gran medida las sustancias peligrosas que ingresan al flujo de aguas residuales. La construcción de zanjas y estanques de retención local, así como la instalación de superficies permeables en espacios públicos, son maneras de reducir las aguas pluviales que ingresan a los sistemas combinados y crean, a la vez, posibilidades para su tratamiento (ver p. ej. Charlesworth et al. 2003; Poletto y Tassi 2012). Por lo tanto, cuando se planea un mejor desarrollo del saneamiento, es importante realizar un análisis detallado de los sistemas existentes para el saneamiento y las aguas residuales.

4.3 Factores operativos

Entre las decisiones más importantes al diseñar un sistema de gestión del saneamiento y de las aguas residuales están aquellas relacionadas con el lugar en donde se realizarán la recolección, el almacenamiento y el tratamiento, y con qué grado de centralización; si el sistema será operado con agua, bajo en agua o seco; y qué tipo de tratamiento y utilización de los recursos se proyectan.

Los servicios de recolección y tratamiento se pueden organizar de manera centralizada o descentralizada (ver la Figura 4.2), pero es necesario decidir también si se prestarán en el sitio o fuera de él, o mediante una combinación de ambos. Desde la perspectiva de la recuperación de los recursos, estos diferentes esquemas de gestión ofrecen tanto ventajas como desventajas.

La gestión centralizada de las aguas residuales es un enfoque común en muchas partes del mundo. La ventaja de una gestión centralizada, citada con frecuencia, es la economía de escala: la inversión per cápita y los costos operativos de una única planta de tratamiento son mucho menores que para varias plantas a pequeña escala, mientras que el control de los estándares de calidad y de los procedimientos de operación de la planta puede resultar también más eficiente (Wendland y Albold 2010). No obstante, los sistemas centralizados pueden presentar retos desde la perspectiva de la gestión de los recursos, debido al alto nivel de disolución y a la complejidad de la composición de las aguas residuales; en un sistema más grande, el control en la fuente de los contaminantes resulta más difícil.

Por otra parte, los sistemas centralizados exigen grandes inversiones iniciales, mientras que, a menudo, los sistemas más descentralizados se pueden implementar por etapas. Cuando existen oportunidades locales para la reutilización, el vecindario o la localidad puede ser el límite más apropiado para el sistema, con el fin de evitar,

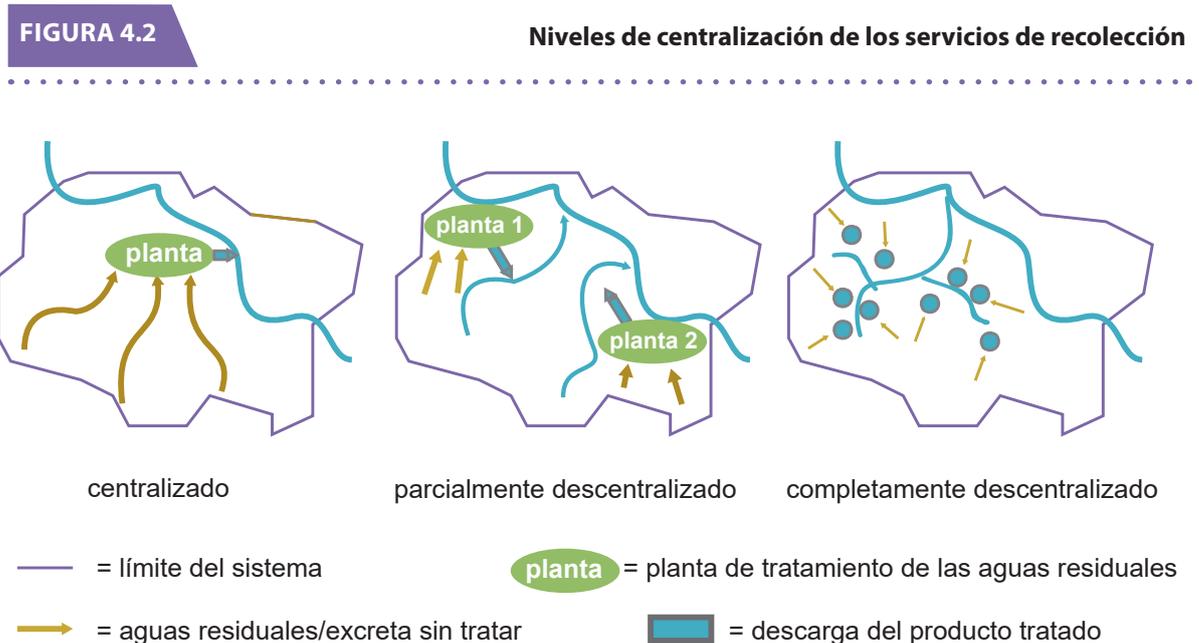


Figura: Stockholm Environment Institute, basada en Parkinson et al. 2014

por ejemplo, una costosa logística, y para reducir el peligro de disolución y contaminación de los recursos de los desechos (ver el Capítulo 7 para más información sobre los límites del sistema). Otra práctica bastante difundida consiste en gestionar diferentes fracciones de aguas residuales en distintos niveles. Es posible, por ejemplo, recolectar de manera centralizada las fracciones líquidas mediante un sistema de tuberías, mientras que las fracciones de desechos sólidos se pueden recolectar en el sitio (p. ej. lodos).

La Tabla 4.1 presenta un panorama de posibles configuraciones centralizadas/descentralizadas, in situ/fuera del sitio, que incluye sus principales características e implicaciones. Es posible, por ejemplo, que un esquema de aguas residuales en el sitio que incluya tanques sépticos, tenga un servicio centralizado para la gestión de lodos. A

menudo, en este caso, la reducción del volumen en la fuente es crucial para facilitar la logística.

4.4 Separación en la fuente

Mantener separados diferentes flujos de aguas residuales, desde la interfaz del usuario hasta su tratamiento, es, con frecuencia, una manera rentable de facilitar la recuperación de los recursos. Permite un tratamiento más específico (y más sencillo) de un volumen menor de las diferentes fracciones, y garantiza un contenido más consistente, a diferencia de lo que sucede con los desechos mezclados. Esto es de particular importancia en los sistemas descentralizados, pues resulta difícil implementar y operar tecnologías de tratamiento avanzadas de manera económica



Compostaje de heces para su reutilización agrícola en un proyecto en El Alto, Bolivia. La orina y las heces se recolectan de manera separada mediante el uso de inodoros secos con separación de orina. Las aguas grises se aplican a humedales artificiales domésticos. Fotografía: Kim Andersson

TABLA 4.1

Tipo de sistemas de recolección de aguas residuales y sus características

Tipo de sistema de recolección	Características
<p>Sistema centralizado, ya sea de alcantarillado combinado (incluye aguas pluviales) o separado (alcantarillado separadas para aguas residuales y aguas pluviales)</p> <p>Opciones de tratamiento: Sistema intensivo de aguas residuales (p. ej. lodos activados), tratamiento extensivo de aguas residuales (p. ej. estanques)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diferentes tipos de sistema de alcantarillado: de alta tecnología, como alcantarillado presurizado y alcantarillado al vacío, o de baja tecnología, como alcantarillas de gravedad con nivel de agua libre • El sistema de alcantarillado necesita mantenimiento • Es posible que se requieran estaciones de bombeo • Importantes desarrollos mundiales sobre cómo diseñar soluciones locales y sostenibles (posibles y necesarias para todos los sistemas) para las aguas de escurrimiento pluvial
<p>Sistema combinado in situ y centralizado</p> <p>Recolección y pretratamiento de aguas residuales en el sitio en tanques sépticos, combinado con alcantarillado sin arrastre de sólidos o simplificado y tratamiento secundario intensivo o extensivo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Alcantarillado (sin arrastre de sólidos) menos costoso y complejo que el alcantarillado convencional • Tiene ventajas si se han instalado previamente tanques sépticos
<p>Sistema semi-centralizado</p> <p>Serie de plantas de tratamiento más pequeñas, semi-centralizadas, que atienden a un conglomerado</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene ventajas si el conglomerado está aglutinado en varios asentamientos • Flexible, puede construirse por módulos • La red de alcantarillado es más corta
<p>Sistema in situ descentralizado (sin alcantarillado) doméstico</p> <p>Opciones de tratamiento: sistema de aguas residuales intensivo, extensivo e innovador es posible</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene ventajas en zonas escasamente pobladas y/o difíciles condiciones del lugar para el alcantarillado • No se requiere alcantarillado central • Los propietarios o servicios gestionados privada/públicamente se encargan de su operación y mantenimiento • Requiere que las obligaciones y derechos públicos y privados estén identificados adecuadamente • Potencial para cerrar el ciclo de agua local (reutilización en el sitio del agua y de los nutrientes)

Fuente: Adaptada de Wendland y Albold 2010

a pequeña escala, y es posible que no se cuente localmente con una capacidad técnica adecuada. No obstante, la separación en la fuente depende, por lo general, del comportamiento apropiado de los usuarios —para garantizar que los desechos se mantengan separados y no se contaminen, por ejemplo, colocando productos tóxicos en aguas grises separadas que podrían ser reutilizadas o descargadas en aguas receptoras sensibles con un tratamiento mínimo.

Aun cuando la tendencia en el desarrollo del saneamiento hasta la fecha ha sido combinar los flujos de aguas residuales y gestionarlos de manera centralizada, la separación en la fuente ha surgido espontáneamente como respuesta a la escasez de agua, de fertilizantes o de energía

(Lienert 2013). Durante los últimos veinte años, se han invertido grandes esfuerzos en la investigación y desarrollo de la separación en la fuente, que incluyen soluciones de baja y alta tecnología en contextos urbanos y rurales y a diferentes escalas. Larsen et al. (2013) y Tilley et al. (2014) presentan un panorama global de los sistemas descentralizados y de separación en la fuente. En esta sección presentamos algunas de las opciones de separación en la fuente de flujos de aguas residuales y excreta. En la Tabla 4.2 se presentan algunos retos relacionados con cada una de ellas.

Una de las variables más importantes en la separación en la fuente es si los sistemas para el saneamiento analizados son a base de agua

Oportunidades y retos relacionados con las aguas residuales domésticas separadas en la fuente

TABLA 4.2

Flujo de desechos	Oportunidades	Retos
Orina	Recuperación de nutrientes (N, P, K)	Es pesada para su transporte mecánico; riesgo de precipitación y obstrucción cuando se transporta por tubería; evaporación y olor a amoníaco
Materia fecal	Producción de energía (biogás), reparación de suelos	Pequeños volúmenes producidos por persona; el transporte y la logística pueden ser difíciles; altos niveles de patógenos; olor
Aguas negras (agua de descarga, orina y heces) o aguas marrones (agua de descarga y heces, sin orina)	Producción de energía (biogás), recuperación de nutrientes, reparación de suelos, fluye por gravedad	La cantidad de agua afecta el transporte (obstrucción) y su valor para la producción de energía; patógenos; olor
Aguas grises (agua usada en duchas, tinas, lavado de manos, lavado de platos y lavado de ropa)	Recuperación de calor, recuperación de agua	Tratamiento requerido para impedir el nuevo crecimiento de bacterias; generación de productos paralelos (lodos y espuma); impacto de la salinidad y de los químicos en los suelos; separación en la fuente; patógenos; olor
Lodos fecales (lodos recolectados en sistemas in situ que contienen excreta y posiblemente otros desechos)	Reparación de suelos, fuente de combustible	Recolección y transporte; identificación de las instituciones responsables de su gestión; patógenos; olor

Fuente: Adaptado de Tilley 2013

o secos. Si bien las condiciones locales (en especial la disponibilidad de agua y la densidad poblacional) desempeñan necesariamente un papel primordial para determinar si son más apropiados los sistemas de agua o los sistemas secos, el tipo de recuperación proyectada de los recursos debería incidir también en esta decisión. La disolución de la excreta humana, por ejemplo, hace que resulte menos eficiente la recuperación de los nutrientes concentrados; no obstante, es posible usar las aguas negras sometidas a tratamiento (ver la Tabla 4.2) para irrigar y fertilizar a la vez las tierras de cultivo. La disolución afecta también la facilidad con la que se produce el biogás para generar energía. Algunas tecnologías de inodoros secos separan la orina de las heces, lo cual aumenta en gran medida la eficiencia de la recuperación de los recursos y la reducción de patógenos. Es preciso considerar también las diferentes opciones de traslado —desde alcantarillado hasta servicios de vaciado de letrinas de pozo o compostaje y reutilización in situ.

El reto principal para la recuperación de los recursos de sistemas de agua combinados más convencionales, en especial los municipales, es su nivel de contaminación. Por lo general, los sistemas de alcantarillado reciben una mezcla de aguas residuales provenientes de zonas residenciales, hospitales, industrias y escurrimiento pluvial, con posibles cargas de metales pesados y otras sustancias tóxicas. Por lo tanto, es importante que el control de calidad (y la composición) de estos flujos se realice tan cerca de la fuente como sea posible, para facilitar el tratamiento y permitir una recuperación segura de los recursos.

Si se encuentra que es más factible usar sistemas que utilizan agua por medio de tubería, pero no existe una demanda directa de agua para irrigación, puede ser más razonable concentrar los nutrientes en los lodos, para facilitar su transporte a largas distancias. Esto se puede hacer durante el tratamiento; no obstante, los inodoros de baja descarga o de vacío pueden contribuir a reducir el contenido de agua en la fuente.

Uno de los retos que surgen al introducir interfaces de usuario de separación en la fuente o con ahorro de agua en los sistemas por tubería es que el sistema puede depender de determinado volumen de flujo líquido para su correcta operación. Es posible que los flujos reducidos aumenten la sedimentación

y ocasionen obstrucciones y olor (Larsen y Gujer 2013). A este respecto, los sistemas descentralizados ofrecen una mayor flexibilidad y oportunidades de adaptarse a condiciones cambiantes (la urbanización, por ejemplo) que los grandes sistemas centralizados.

Separación de los flujos de desechos

La separación en la fuente es una manera tradicional de gestionar la excreta humana manteniéndola separada de otros flujos de desechos. Los sistemas utilizados pueden ser con agua, o secos/sin agua. Los sistemas que utilizan agua por lo general se dividen en sistemas de aguas negras (que combinan heces, excreta y orina) y sistemas de aguas marrones (que solo combinan agua y heces). Los sistemas convencionales sin agua que separan la excreta humana incluyen diferentes tipos de letrina.

Tradicionalmente, ninguno de estos tipos de sistema se ha construido considerando la reutilización. Por el contrario, depositan o infiltran la excreta humana en el subsuelo, lo cual es una fuente significativa de contaminación de las aguas subterráneas, con consecuencias negativas para la salud de la población. Sin embargo, ambas técnicas de separación de excreta humana en la fuente, tanto en sistemas con agua como sin ella, tienen un buen potencial para la recuperación de los recursos, en especial si han sido diseñados con este propósito desde el comienzo.

Sistemas de aguas negras y aguas marrones

La separación en la fuente de las aguas negras es un método convencional en la gestión de las aguas residuales, en el que se utiliza un inodoro de descarga (a menudo con descarga manual) conectado a un pozo de lixiviación.¹¹ Este sistema mantiene separados la excreta humana cargada de patógenos, del ambiente doméstico inmediato (aun cuando puede contaminar las aguas subterráneas), pero no es útil para la recuperación de recursos. Sin embargo, en Europa del norte se implementan actualmente diversos tipos novedosos de sistemas para la gestión de las aguas negras y marrones más adecuados para la recuperación de recursos (ver el estudio caso en las Secciones 9.4 y 9.9, donde se presentan ejemplos de Suecia y Alemania, respectivamente; y Thibodeau et al. 2014). Las principales razones para el aumento del interés por estos sistemas incluyen el hecho de que estas aguas pueden ser transportadas en sistemas de tubería, y la alta disponibilidad de nutrientes y

¹¹ Los pozos de lixiviación se asemejan a las letrinas de pozo pero están diseñados de manera que el agua se filtra al suelo circundante en lugar de quedar retenida en los lodos fecales.

material orgánico presente en las aguas negras (en menor medida en las aguas marrones, pues los nutrientes se hallan en su mayor parte en la orina). Estos sistemas pueden estar equipados con inodoros de baja descarga o de vacío, reduciendo así la disolución de la excreta. Como beneficio indirecto, las aguas grises pueden gestionarse de manera separada, lo cual facilita su reutilización segura (ver más adelante).

Sistemas secos para el manejo de excreta humana combinada

Algunos sistemas mezclan la orina y las heces pero sin usar agua para la descarga, tales como las letrinas de pozo comunes. Se construyen principalmente para contener la excreta humana, pero permiten con frecuencia cierto grado de recuperación de recursos. Las letrinas de pozo convencionales tienen un hoyo profundo y existe el peligro de que el exceso de líquido se filtre al suelo y contamine las aguas subterráneas. Algunas alternativas para facilitar la recuperación de recursos incluyen los pozos superficiales, una cámara de compostaje o una cámara de digestión anaerobia, según el contexto. La interfaz del usuario puede ser un pedestal elevado o una bandeja para acucillarse en donde hay un agujero para recibir la orina y las heces, así como posibles aditivos.

Separación de la orina en la fuente

La orina constituye menos del 1 % del volumen total de las aguas residuales domésticas, pero

contiene la mayor parte de los nutrientes —cerca del 80 % del nitrógeno y la mitad del fósforo (Friedler et al. 2013). Esto significa que, en la mayoría de los casos, para la recuperación de los nutrientes resulta más eficiente gestionar la orina de manera separada que gestionar las aguas residuales diluidas. Otro beneficio de la gestión separada de la orina es que facilita su reutilización segura, pues los patógenos se hallan en mayores cantidades en las heces, no en la orina. La separación de la orina en la fuente reduce también el peligro de eutroficación si las aguas residuales se descargan en aguas receptoras (Tervahauta et al. 2013).

La interfaz del usuario más común para la separación de la orina en la fuente es el inodoro seco con desviación de orina (ISDO). Estos inodoros se utilizan en todo el mundo en contextos de ingresos bajos, medios y altos. Los ISDO son interfaces individuales que recolectan de manera separada la orina y las heces. Existen modelos de pedestal elevado y de cuclillas.

Los orinales son ideales para la separación de la orina en la fuente, aunque rara vez se instalan con este propósito. Los orinales con agua para los usuarios masculinos son los más comunes, en especial en instalaciones públicas. Sin embargo, existen alternativas secas disponibles que impiden la disolución de la orina y además ahorran agua. También se han implementado orinales femeninos; no obstante, estos ofrecen pocas ventajas con respecto a los inodoros con separación de orina.

FIGURA 4.3 Diferentes tipos de inodoros con separación de orina

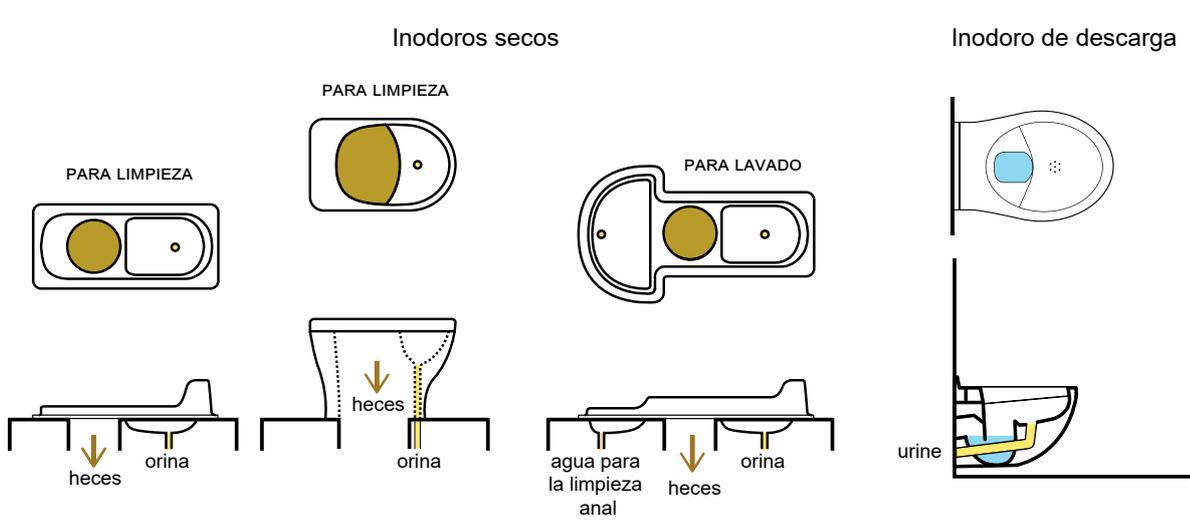


Figura: Basada en Tilley et al. 2014

La orina separada se puede canalizar directamente a tierras cultivadas, combinada con las aguas grises (p. ej. para la irrigación de huertos donde la fruta y los trabajadores no están expuestos directamente a ella), o bien se puede recolectar en recipientes que van desde pequeños contenedores portátiles (p. ej. bidones) hasta grandes tanques para su almacenamiento —por lo general, el único tratamiento necesario para hacerla segura.

Una tecnología con transporte de agua para la separación de la orina, el inodoro de descarga con separación de orina (IDSO), despertó algún interés en Suecia en la década de 1990, pero desde entonces no tiene mucha demanda. No obstante, los IDSO ofrecen un potencial para la separación en la fuente en los sistemas con transporte de agua, pues recolectan la orina y las heces de manera separada, y solo usan el agua para descargar las heces. La Figura 4.3. ilustra los principales diseños básicos de las interfaces de los usuarios para la separación de la orina.

Separación de las heces en la fuente

La cantidad de heces excretada diariamente por una persona es poca si se compara con otros flujos de desechos domésticos de saneamiento (100–350 g/persona). Puesto que las heces contienen altos niveles de patógenos, mantenerlas separadas puede facilitar su tratamiento eficiente. En muchos casos, la separación de las heces en la fuente es el resultado directo de una separación deliberada de la orina; entonces la interfaz del usuario será la misma que para la separación de la orina.

Las aguas marrones pueden tratarse de manera similar a las aguas negras —por ejemplo, la digestión anaerobia para producir biogás y reducir la carga de patógenos. Las heces separadas de los sistemas sin agua se pueden gestionar mediante deshidratación o compostaje. El contenido de nutrientes de estos productos no será tan alto sin la orina, pero la materia orgánica adicional es útil para el acondicionamiento de los suelos.

Papel higiénico y otros desechos sólidos

Es posible que muchos sistemas no funcionen cuando se deposita en ellos papel higiénico y, en especial, de toallas de papel. Estos se pueden recolectar de manera separada y gestionar con otros desechos sólidos, o bien agregarse separadamente a los lodos para la digestión

de biogás o para compostaje. También es importante, tanto para la sostenibilidad técnica como para la social, y como forma de promover la igualdad de género, ofrecer un espacio seguro para la gestión de la higiene menstrual (GHM). No obstante, la práctica común de desechar productos de la GHM (tales como tampones y toallas sanitarias) en los sanitarios en general es problemática, pues aumenta la probabilidad de obstrucciones y otros problemas, junto con una posible contaminación química de los productos a ser reutilizados. En la mayoría de los casos, es preferible gestionar los desechos menstruales mediante el sistema de gestión de los desechos sólidos (Kjellén et al. 2012).

Separación de las aguas grises

Las aguas grises son aguas residuales que no contienen cantidades significativas de excreta humana: aquellas producidas en baños, duchas y lavamanos, así como en el lavado de ropa y de loza, bien sea de forma manual o por máquinas (Morel and Diener 2006). La composición de las aguas grises varía enormemente según las fuentes a partir de las cuales se generan. Las aguas grises provenientes de los fregaderos de cocina, por ejemplo, tienen en general un alto contenido de grasa y de partículas de alimentos, mientras que aquellas de los baños contienen champú, jabones, dentífrico y, si provienen de las duchas o tinas, pueden contener también trazas de excreta humana. Las aguas grises tienen un contenido mucho más bajo de sólidos y nutrientes comparadas con la orina, las aguas negras y las aguas marrones.

Con respecto al volumen, la generación de aguas grises puede variar enormemente, desde 20 a más de 200 litros por persona al día, y conformar entre el 65 % y (en el caso de viviendas con gestión de excreta humana sin agua) el 100 % del flujo doméstico de aguas residuales (Morel y Diener 2006).

Hasta la fecha, la recuperación de recursos de las aguas grises se ha realizado principalmente a través de su reutilización directa, en especial para la irrigación de jardines o tierras agrícolas en zonas con escasez de agua. En ocasiones, las aguas grises se reutilizan también dentro del hogar en lugar de agua potable para descargar los sanitarios y para otros usos no potables (ver el estudio de caso en la sección 9.2). En algunos lugares, se ha implementado otra opción, que consiste en recuperar el calor de las aguas grises para contribuir a la calefacción doméstica.

4.5 Tratamiento

Un sistema de tratamiento para las aguas residuales o para la excreta y otros desechos orgánicos se debería diseñar de acuerdo con las opciones de reutilización (o eliminación) elegidas, que no se relacionan únicamente con la forma física del producto terminado (que incluye su volumen, contenido de agua, etc.) sino también con el nivel de reducción de patógenos y remoción de nutrientes. Por ejemplo, si las aguas residuales se reutilizarán para irrigación de zonas verdes, por lo general necesitarán menos tratamiento que si se usan para la irrigación de cultivos (en especial si el producto se consume crudo y sin pelar) o para reciclarlas y obtener agua potable.

Aguas residuales

Para la recuperación del agua a partir de las aguas residuales, es preciso implementar cuatro funciones principales:

- reducción o desactivación de patógenos,
- remoción de material orgánico,
- remoción de nutrientes,
- remoción de microcontaminantes.

A continuación, se describe una selección de las diferentes técnicas disponibles. Algunas lecturas más detalladas sobre las tecnologías de tratamiento pueden hallarse en Tilley et al. 2014, en el sitio web de la caja de herramientas de Sustainable Sanitation and Water Management (www.sswm.info) y en las fichas técnicas publicadas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (disponibles en water.epa.gov/scitech/wastetech/mtbfact.cfm).

Reducción o desactivación de patógenos

La mayoría de los tipos de reutilización de las aguas residuales requiere que se reduzca el contenido de patógenos vivos para evitar la exposición de los seres humanos y de la fauna al peligro de contraer enfermedades. No obstante, los diferentes tipos de reutilización exigen distintos grados de reducción de patógenos; la producción directa de agua potable, por ejemplo (ver el estudio de caso en la sección 9.1), exige

estándares mucho más altos que su aplicación mecánica a cultivos diferentes de los alimentarios en zonas de baja densidad poblacional.

Con frecuencia, los tratamientos para los patógenos se diseñan en varias etapas, comenzando por etapas biológicas (lagunas, lodos activados, filtros percoladores), seguidas por filtración (p. ej. en filtros biológicos o de arena) y por un tratamiento con sustancias químicas (p. ej. cloro u ozono), o con luz ultravioleta (irradiación de UV germicida). Todos los anteriores métodos requieren algún tratamiento previo para la remoción de la materia orgánica.

Remoción de materia orgánica

Si el tipo seleccionado de reutilización del agua exige altos estándares con relación a su contenido de partículas, el tratamiento deberá remover la materia orgánica y otros sólidos del flujo de aguas residuales. La remoción de la materia orgánica ha sido la principal prioridad del tratamiento en los sistemas convencionales, en donde las aguas residuales se descargan en cuerpos de agua; por lo tanto, existe una amplia gama de tecnologías disponibles. Algunos ejemplos de los sistemas disponibles para el tratamiento son las lagunas anaerobias, los lodos activados, los digestores anaerobios y los filtros percoladores. Algunos sistemas (para aguas residuales con alto contenido de DBO¹²) pueden también combinar provechosamente la reducción de la materia orgánica con la generación de biogás, como en el caso del reactor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos.

Remoción de nutrientes

Mientras que la reutilización de las aguas residuales en la agricultura claramente se beneficia de un alto contenido de nutrientes, no sucede lo mismo con otros tipos de reutilización —entre ellos la recarga de las aguas subterráneas, la descarga de inodoros y el agua potable— ni para su descarga en aguas receptoras, en donde existe el peligro de eutroficación. Existen métodos de tratamiento biológicos y químicos para la remoción de nutrientes. El principal proceso de tratamiento biológico para remover el nitrógeno es la nitrificación, seguida por la desnitrificación.¹³ Algunos ejemplos de tecnologías para la remoción de nitrógeno son los sistemas de lodos activados, los sistemas de biopelículas, los reactores secuenciales por lotes, los contactores biológicos rotativos y las zanjas de oxidación.

¹² Con frecuencia, la materia orgánica contenida en las aguas residuales se cuantifica en términos de demanda biológica de oxígeno (DBO), que es la cantidad de oxígeno disuelto necesaria para que los organismos en el agua la descompongan.

¹³ En la nitrificación, las bacterias convierten el amoníaco (NH₃) o el amonio (NH₄⁺) en nitrito y luego nitrato, bajo condiciones aerobias. En la desnitrificación, diferentes bacterias convierten el nitrato en gas de nitrógeno.

Una remoción eficiente del fósforo requiere que se retire tanto el fósforo ligado a partículas como el fósforo soluble. Un proceso común es la remoción biológica intensificada del fósforo. El principal método de remoción química del fósforo es mediante la precipitación, que se consigue al agregar aditivos tales como el aluminio o los sulfatos férricos. La precipitación de nutrientes ha despertado reciente interés como estrategia para la recuperación de recursos dirigida a extraer los nutrientes del flujo de desechos (p. ej. para la precipitación de estruvita¹⁴).

Remoción de microcontaminantes

Los peligros asociados con el contenido de microcontaminantes en las aguas residuales reciben cada vez más atención. Es posible que los tipos y niveles de microcontaminantes varíen ampliamente, dependiendo de las fuentes de las aguas residuales.

Es posible que sustancias tales como hidrocarburos, metales pesados, organocloruros y farmacéuticos estén presentes en los flujos de desechos. Puede ser que los procesos biológicos y químicos de las plantas de tratamiento más convencionales remuevan en parte los microcontaminantes, pero para mejorar la

remoción se aplican habitualmente tecnologías tales como la ozonización, la ósmosis invertida y el carbono activado.

Tratamiento de lodos de alcantarillado

Un subproducto del tratamiento de las aguas residuales domésticas o industriales son los lodos de alcantarillado semisólidos. A menudo, la gestión y, en especial, la reutilización de los lodos resultantes del tratamiento de las aguas residuales es compleja, pues es posible que haya acumulación de microcontaminantes. Una solución que ha demostrado su eficacia para este problema es el control de la contaminación aguas arriba, lo cual reduce el contenido de microcontaminantes del flujo de desechos original (ver el Capítulo 6).

La digestión anaerobia es un método muy difundido para tratar los lodos, pues convierte en metano (que se puede extraer como biogás) la mayor parte de la materia orgánica fácilmente degradable que se halla en él y, al mismo tiempo, genera un residuo de mayor calidad (reduciendo el olor y el contenido de patógenos vivos). Una práctica común consiste en reducir el volumen de lodos mediante deshidratación¹⁵, lo que facilita su manejo. El método más sencillo para el



Planta descentralizada de tratamiento de aguas residuales con un humedal artificial, Cochabamba, Bolivia. Fotografía: Kim Andersson

¹⁴ La estruvita es un mineral fosfato que puede formarse de manera natural o inducirse mediante precipitación química.

¹⁵ La deshidratación es la reducción del contenido de agua del lodo, utilizando, por ejemplo, una centrifugadora, un lecho filtrador (o un sistema de filtración mecánica) o bien la evaporación.

tratamiento de lodos son los lechos de secado, que pueden ser con plantas o sin plantas (Strande et al. 2014).

Desechos separados en la fuente

Tratamiento de aguas grises

El tipo de recuperación de recursos buscado orientará el método apropiado para el tratamiento de las aguas grises. Existe una amplia gama de opciones disponibles, desde las más avanzadas (p. ej. sistemas que reciclan las aguas grises para la descarga de inodoros dentro del mismo edificio), hasta sistemas naturales de tratamiento de baja tecnología, tales como los humedales artificiales. En la actualidad, diferentes tipos de humedales artificiales son comunes para el tratamiento de las aguas grises en sistemas descentralizados, a menudo en contextos en donde las aguas grises tratadas se destinan a la irrigación de zonas verdes o huertos de cocina. Es importante reducir el uso de productos químicos (p. ej. detergentes no degradables ricos en fósforo) y, en lo posible, utilizar productos biodegradables para la limpieza y la higiene. Por lo tanto, es preciso complementar las medidas técnicas con la concientización de los usuarios.

Tratamiento de aguas negras y aguas marrones

Cuando la reutilización es la razón principal para gestionar de manera separada las aguas negras o las aguas marrones, por lo general, la reducción de los patógenos es la prioridad del tratamiento. Un proceso de tratamiento anaerobio puede ser el indicado, pero existen ahora tecnologías más desarrolladas tales como el compostaje húmedo y el tratamiento con urea (ver el estudio de caso en la sección 9.4).

Tratamiento de lodos fecales

Los lodos fecales pueden encontrarse crudos o digeridos parcialmente, según el sistema de recolección y almacenamiento.¹⁶ Contiene heces y orina y es posible que contenga también papel higiénico, agua de lavado anal e incluso aguas grises o agua de descarga (Strande et al. 2014). La calidad y cantidad de los lodos fecales dependen del diseño del sistema, de los procesos involucrados y del comportamiento de los usuarios.

A menudo, la gestión de los lodos fecales requiere que se vacíe periódicamente el recipiente de recolección. Desafortunadamente, es común

que los lodos fecales se gestionen de manera inadecuada (p. ej. descarga sin tratamiento en aguas receptoras) o bien, que no se gestione en absoluto, lo cual tiene como resultado sistemas de saneamiento disfuncionales. El tratamiento de los lodos y la recuperación de los recursos son siempre preferibles. Las opciones de tratamiento son similares a aquellas para los lodos provenientes del tratamiento de las aguas residuales.

Tratamiento de las heces

Las heces separadas en la fuente, provenientes de inodoros secos, se tratan por lo general por medio de deshidratación o de alguna forma de compostaje, al reducir los patógenos y hacerlas más aptas para reutilización. El proceso de compostaje se puede mejorar asegurando una alta temperatura mediante la adición de residuos orgánicos o agregando lombrices, larvas o microorganismos. Otras formas de reducir los patógenos son los tratamientos químicos con materiales alcalinos tales como ceniza, cal o amoníaco, y el tratamiento térmico o incineración.

Orina

El principal método de tratamiento para la orina es su almacenamiento en contenedores sellados. Durante el almacenamiento ocurren procesos químicos en la orina que elevan su pH y desactivan los patógenos. Es importante que la orina esté lo menos diluida posible para que este tratamiento funcione de manera óptima.

Los tiempos de almacenamiento recomendados varían según la configuración del sistema y la temperatura del ambiente (las temperaturas más altas hacen que los patógenos mueran más rápido), pero, por lo general, varían de uno a seis meses (Richert et al. 2010). Debido a su volumen, la orina presenta retos de logística para una gestión centralizada. En la actualidad se exploran métodos para reducir los volúmenes de orina, que incluyen una combinación de nitrificación y destilación, la precipitación química de la estruvita y la deshidratación (Larsen et al. 2013; Senecal et al. 2015).

Sistemas de tratamiento naturales

Si bien existen muchas tecnologías y procesos diferentes para llevar a cabo estas funciones, es importante enfatizar el potencial de los sistemas de tratamiento naturales. Los humedales artificiales, por ejemplo, pueden ser muy

¹⁶ El lodo fecal es el estiércol líquido o los semisólidos generados por distintos tipos de sistemas para el saneamiento in situ, y recolectado en una letrina de pozo, cloaca, pozo séptico o similar.

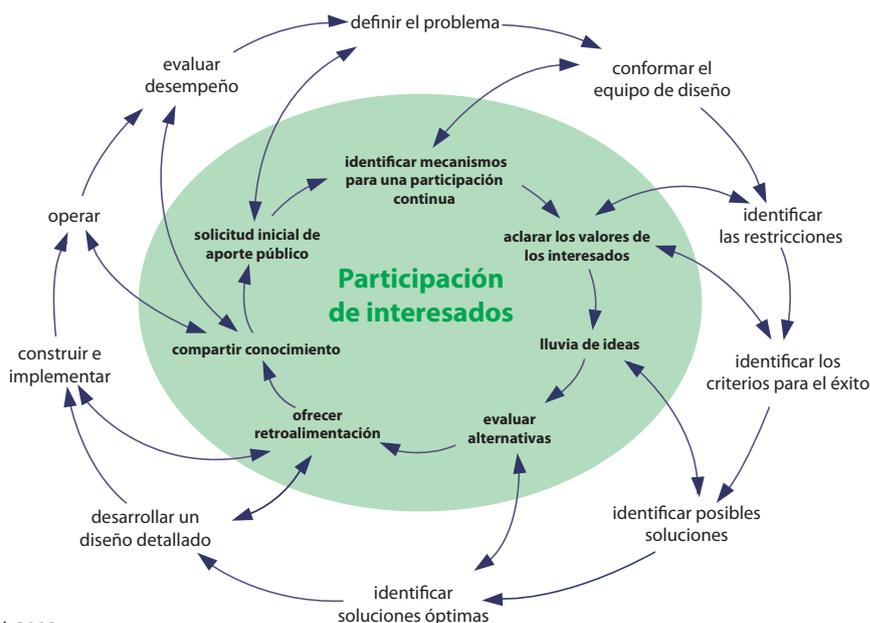


Figura: Guest et al. 2009

eficientes y sus costos de instalación pueden ser bajos, al igual que sus requisitos de operación y mantenimiento (Adrados et al. 2014). Es posible que los sistemas de tratamiento naturales sean la etapa principal del tratamiento o bien una etapa posterior de “acabado” que mejore aún más la calidad de una o varias de las prioridades del tratamiento específicas descritas anteriormente. El hecho de que, además del tratamiento, estos sistemas ofrezcan oportunidades para la recreación y para el hábitat de la vida salvaje constituye un beneficio potencial adicional.

4.6 Planeación y diseño a largo plazo

Una tercera consideración clave cuando se planean y diseñan sistemas para el saneamiento y la gestión de las aguas residuales, además del contexto local y de las necesidades de gestión de los recursos, es su uso a largo plazo. Esto significa tener en cuenta los requisitos e intereses de los usuarios a quienes están dirigidos, así como su capacidad de facilitar (y de cubrir los gastos de) su operación y mantenimiento a largo plazo.

Participación de los usuarios y de otros actores

Muchos planes maestros para la gestión del saneamiento y de las aguas residuales se enfocan en la infraestructura y prestan poca atención a los usuarios y a otros actores del sistema de gestión (Parkinson et al. 2014).

Sin embargo, es un error desconocer la dimensión humana del sistema, en particular, la interfaz del usuario y cualquier otro requisito que exija la participación del usuario — la gestión de las heces compostadas, por ejemplo — deberían satisfacer las necesidades y expectativas específicas del grupo de usuarios. De lo contrario, existe el peligro de que el sistema no sea utilizado, o se use de manera incorrecta haciéndolo disfuncional. Esto es de especial importancia en los contextos de bajos ingresos, donde es posible que los usuarios tengan poca experiencia previa con instalaciones de saneamiento y hábitos de saneamiento higiénicos.

La planeación participativa y el involucramiento de los usuarios y otros actores en la gestión del sistema (quienes serán responsables de su operación y mantenimiento, por ejemplo) son cruciales para que sus necesidades y expectativas se reflejen en el diseño del sistema (ver la Figura 4.4. donde se ilustra cómo pueden participar los actores en los procesos de toma de decisiones relativos a un sistema de saneamiento).

Una mejor gestión de recursos que incluya su recuperación, hace que la participación a lo largo de todo el ciclo de planeación e implementación resulte aún más importante, pues es posible que se necesiten nuevas configuraciones tecnológicas y logísticas. Es probable también que estas planteen exigencias adicionales a los usuarios y al personal de operación y mantenimiento, por ejemplo, mantener separados los flujos de desechos. Es preciso

prestar aún mayor atención para conseguir que el uso del sistema sea más amigable y facilitar su uso correcto.

Es posible que se necesite también capacitación para los usuarios, así como instrucciones claras (visuales) sobre cómo utilizar el sistema.

Se necesita que una amplia gama de actores se involucre en el desarrollo de estrategias para la gestión, tratamiento y reutilización de los desechos. Los procesos participativos y la capacitación ayudarán también a crear conciencia y pertenencia de los sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales.

Además de las funciones más técnicas —desde limpiar y vaciar las letrinas de pozo y los tanques sépticos hasta reparar inodoros rotos o tuberías de alcantarillado con filtraciones —la operación y mantenimiento del sistema incluye asimismo los componentes administrativos e institucionales necesarios para conseguir el funcionamiento sostenido de los diferentes componentes en todo el sistema (Bräustetter 2007). La complejidad tecnológica del sistema y de sus componentes determinará el nivel de entrenamiento requerido para las diversas funciones de operación y mantenimiento. Algunos factores clave para lograr un desempeño sostenido incluyen los siguientes: integrar al proceso de diseño las consideraciones sobre la operación y el mantenimiento; garantizar que los recursos humanos y financieros necesarios estén disponibles constantemente; y establecer planes de monitoreo relacionados con la seguridad, la salud y la protección ambiental, por ejemplo (Strande et al. 2014).

Solidez técnica

La solidez técnica constituye también un parámetro importante para determinar la funcionalidad del sistema a largo plazo. Es necesario que el sistema siga operando con variaciones en la carga, que pueden ser significativas, en especial en los sistemas descentralizados a pequeña escala (Larsen and Gujer 2013). Además, el sistema se debe diseñar de tal manera que siga operando durante eventos tales como cortes de energía, escasez de agua e inundaciones, y también después de estos eventos. Los inodoros elevados a prueba de inundaciones, por ejemplo, pueden impedir que el lodo se desborde durante las inundaciones (ver Andersson 2014a). Dadas las incertidumbres que suscita el cambio climático, se recomienda implementar sistemas para saneamiento y aguas

residuales que operen en una gama de posibles escenarios climáticos.

Por otra parte, es importante considerar la flexibilidad del sistema con el fin de adaptarlo a las demandas cambiantes de recursos a lo largo del tiempo. Resulta relativamente sencillo y poco costoso incorporar la infraestructura para separación en la fuente cuando se instala un sistema nuevo, incluso si esta capacidad no se utiliza de inmediato, si se compara con readaptar la infraestructura posteriormente.

4.7 Respuesta ante emergencias

Los servicios de agua, saneamiento e higiene en buen funcionamiento se encuentran entre las prioridades más urgentes cuando se trata de responder ante emergencias. En condiciones de hacinamiento y de escasez de recursos, como en los campos humanitarios de refugiados, la contaminación de los alimentos, del agua y del entorno físico con heces tratadas inadecuadamente puede llevar a brotes devastadores de enfermedades, a la vez que se reduce la calidad de vida.

Además de una densidad poblacional alta y cambiante, estos campos pueden estar ubicados en zonas de condiciones geofísicas que hacen que algunas soluciones de saneamiento básicas estándar, tales como letrinas de pozo sencillas, sean difíciles o imposibles de implementar. Más aún, algunas de estas soluciones estándar permiten la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

Por lo tanto, es posible que soluciones alternativas para contener los excrementos no solo sean más seguras, sino que ofrezcan el beneficio adicional de permitir la recuperación de recursos, mejorar la seguridad energética y alimentaria en ambientes donde los recursos con frecuencia son limitados, así como generar oportunidades de obtener sustento (ver el Cuadro 4.1).

Otro rasgo especial de los entornos de respuesta humanitaria es la transición por diferentes etapas de respuesta, cada una con imperativos y oportunidades cambiantes. Estas pueden dividirse en tres fases generales:

- La *fase aguda de respuesta*, que tiene lugar durante las primeras horas y días posteriores a una crisis. Se enfoca en medidas a corto

Recuperación de recursos para respuesta ante emergencias



La instalación de sistemas de saneamiento para la recuperación de recursos durante la respuesta ante emergencias puede evitar que las comunidades queden maniatadas a sistemas menos sostenibles, y propiciar el mejoramiento de las condiciones económicas, sociales y ambientales mucho más allá del período de respuesta, al mejorar la seguridad hídrica, crear empleos, impulsar la producción de alimentos y el acceso a la energía (lo cual con frecuencia alivia la presión sobre los bosques aledaños), mientras que satisface también los requisitos de cualquier sistema de saneamiento.

En el proyecto ROSE - Resource-oriented sanitation in emergencias (Saneamiento orientado a recursos durante las emergencias), SEI y la Cruz Roja Sueca exploraron cómo la implementación de tres promisorias tecnologías de saneamiento para recuperación de recursos podría agregar valor a los campos de emergencia. Las tecnologías fueron seleccionadas con base en una revisión de la bibliografía y el criterio de expertos. Las oportunidades que ofrecen y los retos que representan se sintetizan en la Tabla 4.3.

Una de estas tecnologías, la transformación de heces (y de otros desechos orgánicos) en briquetas ha sido ya objeto de una prueba piloto por parte de la compañía Sanivation, en el campo de refugiados de Kakuma, Kenia, para atender alrededor de 1.000 usuarios. Los hogares reportaron un alto nivel de satisfacción con el uso de inodoros secos con separación de orina (con contenedores), mencionando sus mayores beneficios con respecto a las letrinas de pozo, como reducción de olores y de moscas; un diseño cómodo y el servicio de recolección de desechos (Nyoka et al. 2017). Un análisis de los resultados mostró que los ingresos provenientes de la venta de las briquetas cubrieron ampliamente los costos operativos del sistema, a pesar de que la inversión inicial fue superior a la requerida para letrinas de pozo estándar (ver también el caso que aparece en la Sección 9.10).

plazo para garantizar la supervivencia. En esta fase, se suministran instalaciones básicas de saneamiento e higiene más transitorias, junto con otros suministros de emergencia (OMS 2018), con el fin de impedir la propagación de patógenos y la contaminación del medio ambiente y de las fuentes de agua.

- La *fase de estabilización* se inicia habitualmente a las pocas semanas del comienzo de la emergencia, y puede prolongarse durante varios meses, en ocasiones durante más tiempo. En esta fase se observa con frecuencia una transición del saneamiento comunitario a soluciones en los hogares, así como esfuerzos por entregar la responsabilidad del saneamiento a la comunidad, con una visión más robusta de la totalidad de la cadena de servicio.
- Durante la *fase de recuperación*, el objetivo es recrear (o mejorar) las condiciones en las

que vivía la población afectada antes de la emergencia. Esto puede tardar algunos meses o varios años. Las intervenciones efectuadas durante la fase de recuperación deberían incluir una clara estrategia de salida para las agencias que proporcionan la ayuda, así como la transición a la propiedad plena de los servicios por parte de los gobiernos, comunidades o prestadores del servicio locales.

La decisión de si la recuperación de recursos se debe implementar, y de qué manera, se puede postergar hasta después de la instalación de inodoros y letrinas, junto con el almacenamiento transitorio o las tecnologías de tratamiento, dado que las interfaces de usuario y otras tecnologías son compatibles con la recuperación de recursos a lo largo de la cadena de servicios de saneamiento. Podrían instalarse, por ejemplo, inodoros secos con separación de orina. En un primer momento, estos pueden funcionar como cualquier inodoro seco local, pero ofrecen la opción de conectarse

TABLA 4.3

Posible aplicación de tres tecnologías para recuperación de recursos en emergencias

Tecnología innovadora	Oportunidades	Desafíos
Compostaje líquido (digestión aeróbica termofílica)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Potencialmente resiliente a condiciones de inundación o de escasez de agua ✓ Movilidad y modularidad ✓ Adaptable a diversos tipos de interfaz de usuario y materiales dispuestos ✓ Tratamiento rápido 	<ul style="list-style-type: none"> × Potencialmente costosa debido a procesos de alta tecnología × Requiere personal entrenado para su operación × Necesita electricidad × Un prerequisite es encontrar usuarios de fertilizadores o acondicionadores de suelos
Compostaje con mosca soldado negra	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Recuperación de nutrientes a través de alimento animal y compost ✓ Incremento de seguridad alimentaria ✓ Creación de empleos e ingresos adicionales 	<ul style="list-style-type: none"> × Logística para criar y distribuir las larvas de las moscas × La cría de larvas de mosca requiere personal entrenado
Conversión a combustible sólido (briquetas)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Recuperación de energía ✓ Creación de empleos e ingresos adicionales ✓ Tratamiento rápido 	<ul style="list-style-type: none"> × Inversión de capital relativamente alta × Se requiere tierra para el secado × Depende de las condiciones climáticas × Un prerequisite es un sustrato orgánico suplementario

después para la separación en la fuente y la recuperación de recursos.

Global WASH Cluster ha publicado un Compendio de Tecnologías de Saneamiento en Emergencias, que ofrece orientación sobre cómo implementar un saneamiento más sostenible y seguro durante las emergencias (Gensch et al. 2018). Son también de gran utilidad el manual de emergencias en línea, del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para Refugiados (<https://emergency.unhcr.org/>) y el Manual Esfera (SPHERE 2018).

4.8 Herramientas de apoyo a la toma de decisiones

Como lo demuestra el presente capítulo, es preciso tener en cuenta múltiples factores cuando se desarrollan sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales, en especial aquellos dirigidos a la recuperación de recursos. Por fortuna, existen algunos sistemas y herramientas disponibles para sustentar las decisiones que ayudan en la selección y combinación de las tecnologías (p. ej. Chamberlain et al. 2014). Estos pueden complementar (mas no sustituir) los estudios

detallados sobre su factibilidad técnica y los procesos participativos.

REVAMP - Resource Value Mapping (Mapeo del Valor de Recursos) es una herramienta desarrollada por SEI para apoyar la toma de decisiones, que puede ser utilizada para estimar la totalidad de los recursos y el potencial de reutilización disponible en las aguas residuales, junto con otros flujos de desechos orgánicos, de una ciudad, así como su valor financiero potencial (Ddiba et al. 2016). Utilizando datos provenientes de los flujos de desechos de la ciudad, REVAMP calcula los beneficios que podrían obtenerse bajo diferentes escenarios de reutilización—por ejemplo, compostaje de lodos fecales para utilizarlos como fertilizante agrícola; producción de biogás o de briquetas de desechos sólidos—en términos de energía y de contenido de nutrientes, qué cantidad de los productos que compiten con estos podrían sustituir, y cuánto podrían costar esos productos sustituidos. De esta manera, REVAMP ayuda a construir casos de negocios para diferentes opciones de reutilización y, a la vez, informa ejercicios de planeación basados en escenarios en momentos de toma de decisiones cruciales, y complementa otras herramientas de gestión de saneamiento y aguas residuales.

MENSAJES CLAVE

- Conseguir la funcionalidad técnica de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales exige planeación y diseño a lo largo de toda la cadena de saneamiento (interfaz del usuario, contención y almacenamiento, transporte, tratamiento, eliminación o reutilización), y dirigirse a todos los determinantes específicos del contexto (p. ej. geográficos y socioculturales), tanto actuales como proyectados.
- Existe una amplia gama de opciones técnicas que se puede usar y adaptar a un contexto determinado con el fin de hacer que los sistemas para el saneamiento y las aguas residuales sean más sostenibles. Las variables clave incluyen niveles operativos (centralizados, descentralizados, in situ, fuera del sitio), sistemas que utilizan agua o no, métodos de separación en la fuente, y tecnologías de tratamiento (según la recuperación de recursos y las prioridades de tratamiento relacionadas con esta).
- El diseño del sistema debería abordar las diversas necesidades de diferentes grupos de usuarios, y tener en cuenta si son apropiados desde una perspectiva cultural y comportamental. Además, lograr una mejor gestión y recuperación de los recursos dentro de este sistema y más allá de él exige un análisis de la demanda local de recursos y del volumen disponible de desechos.

5. PROTECCIÓN Y PROMOCIÓN DE LA SALUD HUMANA



Una función fundamental de todos los sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales es impedir el contacto humano con patógenos y productos químicos peligrosos, incluso cuando el objetivo principal es la recuperación de recursos. Los sistemas de recuperación de recursos bien diseñados no solo protegen la salud, sino que también la promueven al contribuir a la seguridad de los alimentos y del agua.

La defecación al aire libre y una gestión deficiente del saneamiento y de las aguas residuales facilitan la propagación de enfermedades ocasionadas por bacterias patógenas, virus, protozoos y parásitos. Esto sucede cuando las personas se ven expuestas a los patógenos contenidos en las excretas sin tratar o tratados de manera inadecuada, bien sea por contacto directo o ingestión, o de manera indirecta a través del agua, los alimentos o los suelos contaminados. Es posible que estos resultados negativos se multipliquen durante los desastres naturales tales como inundaciones y tormentas, cuya ocurrencia más frecuente y extrema se espera en algunas regiones debido al cambio climático. Por lo tanto, el saneamiento, combinado con buenas prácticas de higiene, resulta fundamental para romper el ciclo de las enfermedades transmitidas por el agua.

Según un estimativo reciente, 842.000 personas —en su gran mayoría niños pequeños— mueren cada año debido a enfermedades diarreicas relacionadas con el agua, y una gran proporción de estas muertes puede atribuirse de manera directa a un saneamiento inadecuado (Pruss-Ustun et al. 2014). La contaminación fecal ha estado implicada en graves brotes de enfermedades, tales como el cólera, la tifoidea

y E. coli O157:H7, tanto en países desarrollados como en países en desarrollo, con funestas consecuencias sociales y económicas.

En algunas comunidades en las que se practica la defecación al aire libre o que tienen un acceso deficiente a sistemas operativos de gestión del saneamiento, la higiene y las aguas residuales, hay una variedad de amenazas constantes para la salud, entre ellas las enfermedades diarreicas y las infecciones por helmintos. Estas enfermedades infecciosas se relacionan con la desnutrición crónica, la mortalidad infantil y ausentismo laboral y escolar. Además, una exposición persistente puede llevar a desnutrición y a deficiencia cognitiva. Se ha estimado que un mejor saneamiento—enfocado a proteger los hogares de los usuarios— puede reducir las tasas de las enfermedades diarreicas aproximadamente en un 35 % (Fewtrell et al. 2005; Waddington et al. 2009).

Es posible que la mayor parte de los diferentes tipos de desecho que ingresan a los flujos de aguas residuales contengan patógenos, junto con químicos peligrosos para la salud pública (ver la Tabla 5.1). La exposición a los elementos contaminantes puede darse en múltiples puntos de los sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales —no solo en la interfaz del usuario (p. ej. en el entorno doméstico) sino también durante su transporte, almacenamiento, tratamiento y reutilización de recursos (si los recursos no se han transformado en recursos seguros mediante su tratamiento). Por lo tanto, la protección de la salud en la gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales debe cubrir la totalidad del sistema.

5.1 Peligros presentes en los flujos de desechos

Patógenos

La carga de patógenos en diferentes flujos de desechos depende del nivel de infección de la población en la fuente. Las heces, que contienen la enorme mayoría de los patógenos hallados en las excretas humanas, pueden contener niveles particularmente altos del patógeno común *áscaris* y de los protozoos parásitos *cryptosporidium* y *giardia*, en especial en las zonas rurales. La importancia relativa de estos peligros biológicos como causa de enfermedades depende asimismo de factores tales como su persistencia en el entorno, la dosis infecciosa mínima, la capacidad de inducir inmunidad a ellos en los seres humanos y los períodos de latencia (Shuval et al. 1989). Los helmintos, por ejemplo, son una de las principales preocupaciones de los sistemas de saneamiento, pues sus huevos persisten durante mucho tiempo en el medio ambiente.

Si bien la orina fresca generalmente es estéril, es posible que contenga algunos patógenos, bien sea excretados de manera directa en la orina misma o

mediante el contacto con las heces. En general, estos patógenos solo representan un peligro cuando las tasas de infección son altas —como sucede en el caso de la *Salmonella typhi*, que causa la tifoidea.

Al analizar los patógenos microbianos en las aguas grises se observa con frecuencia que el agua del lavado de loza es la más contaminada de las aguas grises domésticas debido a la presencia de partículas de alimentos (Eriksson et al. 2002; Lazarova et al. 2003). Otras fuentes, tales como duchas, lavamanos y lavadoras, son las que contribuyen principalmente con organismos de origen fecal que pueden atribuirse al lavado de ropa o pañales defecados, al lavado de manos posterior al uso del inodoro, y a las duchas.

Es preocupante la evidencia de que existen mayores proporciones de bacterias coliformes resistentes a muchos antibióticos en las aguas residuales tratadas que en aquellas sin tratar (Silva et al. 2006). Por consiguiente, las plantas de tratamiento de las aguas residuales son importantes depósitos de bacterias entéricas que portan genes de resistencia potencialmente transferibles. A este respecto, las aguas residuales provenientes de los hospitales generan inquietud particular.

Peligro	Ejemplos de posibles impactos sobre la salud
Patógenos	
<ul style="list-style-type: none"> • Virus, p. ej. hepatitis A, rotavirus, enterovirus • Bacterias, p. ej. Salmonella, Shigella, Campylobacter, Vibrio cholera • Protozoos, p. ej. Entamoeba histolítica, Giardia lamblia, Cryptosporidium parvum • Parásitos, p. ej. áscaris (ascáride), anquilostoma, trichuris (lombriz) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hepatitis infecciosa, diarrea, vómito, parálisis, meningitis, fiebre • Diarrea, disentería bacilar, cólera • Disentería amebiana, diarrea, mala absorción • Ascariasis, anemia, diarrea, dolor abdominal
Químicos	
<ul style="list-style-type: none"> • Metales pesados, p. ej. arsénico, cadmio, plomo, mercurio, níquel • Contaminantes orgánicos y químicos emergentes, p. ej. bifenilos policlorados (BPCB), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), DDT y metabolitos, benceno, contraceptivos orales 	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda o crónica (p. ej. daño neurológico y renal) • Toxicidad aguda o crónica (p. ej. carcinógeno, impactos sobre la reproducción)

Peligros químicos

Es posible que sustancias químicas tales como metales pesados, residuos farmacéuticos o sus subproductos metabólicos, interruptores endocrinos y productos de aseo personal estén presentes también en diferentes flujos de aguas residuales. Se han hallado altos niveles de residuos farmacéuticos en los afluentes y efluentes de varias plantas de tratamiento de aguas residuales en el Reino Unido (Zhou et al. 2009).

Según el uso que se le dé al agua doméstica, las aguas grises pueden contener hasta 900 compuestos orgánicos químicos diferentes (Eriksson et al. 2002). Palmqvist y Hanæus (2005), por ejemplo, encontraron hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP; subproductos de la combustión incompleta, muchos de ellos tóxicos), ftalatos (aditivos plásticos de los que se sospecha que tienen efectos negativos para la salud), y triclosán (agente bactericida y fungicida), entre otros, en las aguas grises de un sistema de saneamiento con separación en la fuente, en Suecia. El estudio encontró también los mismos compuestos en las aguas negras (agua de descarga mezclada con orina y heces).

Sin embargo, los riesgos para la salud asociados con los contaminantes químicos provenientes de los sistemas de saneamiento son insignificantes si se comparan con aquellos relacionados con los patógenos (WHO 2006). Por lo tanto, este capítulo se centrará en los peligros microbianos. Los peligros ambientales derivados de la contaminación química se exponen en el Capítulo 6.

5.2 Vías de exposición y riesgos para la salud

La exposición a peligros microbianos puede ocurrir en diferentes puntos de un sistema para la gestión del saneamiento o de las aguas residuales. Puede ocurrir durante su funcionamiento normal (p. ej. debido a un uso u operación inadecuados o a la falta de mantenimiento); durante una falla parcial o total del sistema (p. ej. falla de energía, avería del equipo, infraestructura deficiente, sobrecarga del sistema); o bien estacionalmente, debido a factores climáticos (p. ej. inundaciones).

Según el tipo de sistema y la naturaleza del evento de exposición, diferentes grupos de personas pueden encontrarse en riesgo, por lo general debido al contacto directo o indirecto con el sistema y los flujos de desechos. Estos grupos incluyen usuarios, trabajadores responsables de la operación y mantenimiento del sistema,

poblaciones que viven en sus inmediaciones, agricultores que utilizan recursos recuperados (p. ej. lodos y agua) y personas que consumen los productos agrícolas cultivados con recursos recuperados. Para más información sobre las evaluaciones de riesgos para la salud relacionados con los componentes de los sistemas para la gestión del saneamiento y de las aguas residuales, ver Stenström et al. (2011).

Sistemas in situ de saneamiento y de aguas residuales

Los sistemas de saneamiento in situ pueden incluir tanto inodoros sin agua como inodoros de descarga y es posible combinarlos con sistemas para la separación de aguas grises. Los riesgos de exposición a patógenos en los sistemas de saneamiento in situ con agua no son significativamente diferentes de aquellos de los sistemas secos. Los puntos críticos de riesgo de exposición a patógenos son:

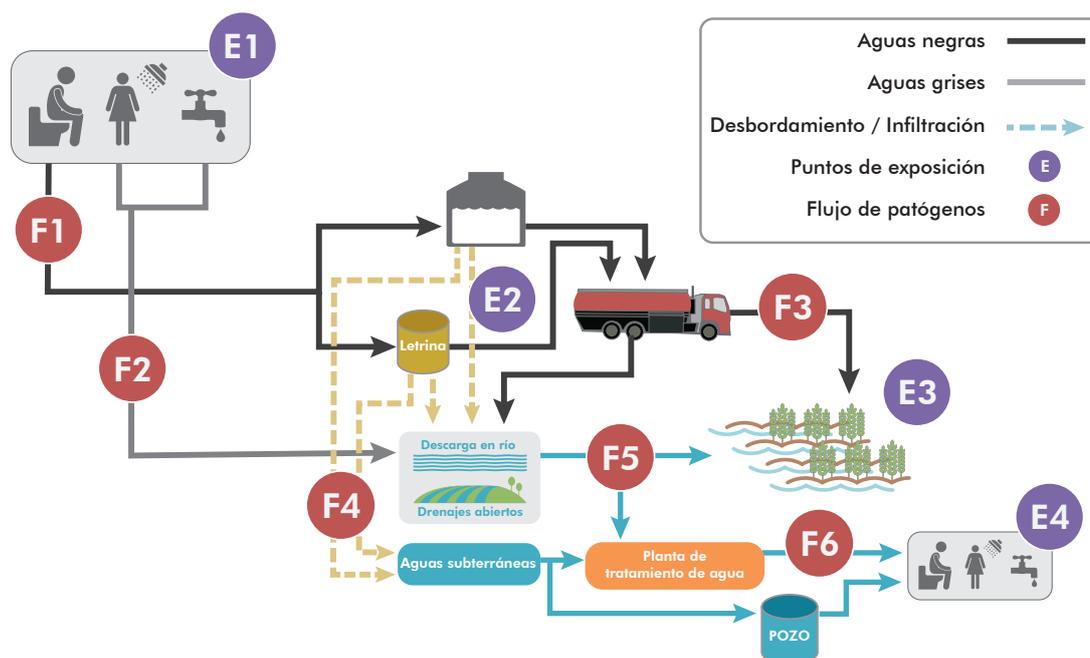
- la interfaz del usuario, tales como los inodoros;
- las tecnologías para el almacenamiento y el tratamiento en el sitio, tales como hoyos sencillos, hoyos ventilados o pozos sépticos;
- las tecnologías para recolectar y trasladar los lodos a otro lugar;
- las tecnologías para el tratamiento de lodos;
- reutilización/disposición final.

La Figura 5.1 ilustra el flujo de patógenos y los principales puntos de riesgo por exposición a patógenos microbianos en un sistema de saneamiento in situ con agua. Los peligros de infección pueden variar de manera significativa en los diferentes puntos. En el caso de los sanitarios con separación de orina, por ejemplo, es preciso aplicar protocolos de limpieza y manejo apropiados para reducir el peligro de transmisión de enfermedades, como las provenientes de las heces que permanecen en los lados del inodoro. Además, la exposición a patógenos puede ocurrir durante el vaciado de los pozos sépticos o de los hoyos, en especial cuando se hace manualmente y sin ropa de protección. Rulin (1997) demostró que los trabajadores que vacían las letrinas de pozo tenían el doble de posibilidades de infectarse con el virus de la Hepatitis A, que los trabajadores asignados a actividades no relacionadas con excretas.

El uso de pozos de lixiviación para el almacenamiento, en particular cuando se combina con inodoros de descarga manual, puede tener como resultado la contaminación

FIGURA 5.1

Flujos de patógenos y puntos de exposición típicos: cadena de saneamiento in situ con separación de aguas grises



E1: Usuarios y aseadores de inodoros; **E2:** Ingestión de aguas residuales (trabajadores); **E3:** Ingestión de lodos y consumo de cultivos (trabajadores y consumidores); **E4:** Consumo de aguas superficiales y subterráneas contaminadas

Figura: Razak Seidu

de las aguas subterráneas de la comunidad (Molin et al. 2010). Los inodoros de descarga conectados a pozos sépticos que no están sellados adecuadamente pueden generar también contaminación de las aguas subterráneas. Por otra parte, los hoyos sencillos a menudo ocasionan la contaminación de las aguas residuales, que ha tenido como consecuencia el brote de enfermedades por microorganismos entéricos (Fong et al. 2007; Falkland y Custodio 1991). El peligro de contaminación es más alto durante las lluvias torrenciales: Fong et al., por ejemplo, encontraron una relación entre las filtraciones de los pozos sépticos y la contaminación de las aguas subterráneas en la isla de South Bass, Ohio, durante lluvias torrenciales. Es frecuente también que las descargas de los pozos sépticos o de los hoyos en drenajes abiertos o en cuerpos de agua puedan ocasionar la transmisión de enfermedades.

La Figura 5.2 ilustra el flujo típico de patógenos y los puntos de exposición en un sistema in situ con reciclaje de aguas grises (ver el estudio de caso en Brasil sobre el reciclaje de aguas grises en edificios, en la sección 9.2.)

Los escenarios típicos para la exposición a patógenos en la cadena de un sistema de

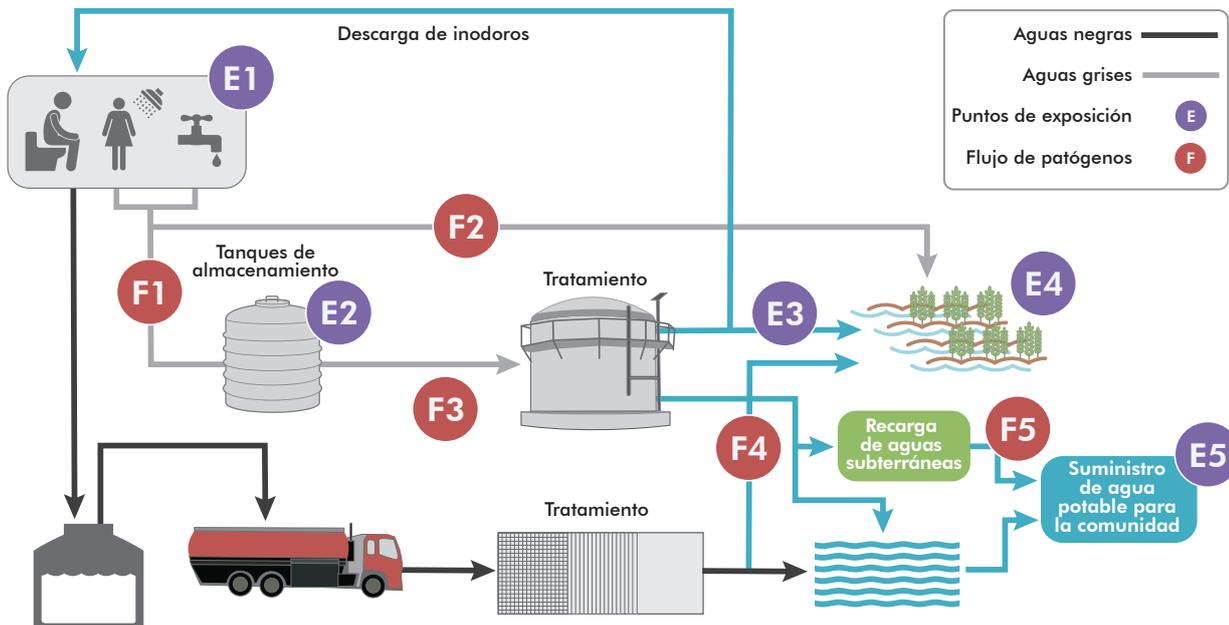
reutilización de aguas grises incluyen la ingestión accidental de aguas grises por parte de los trabajadores, o la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas con aguas grises; la inhalación de aerosoles durante el uso de las aguas grises para la descarga de los inodoros, la irrigación de cultivos o de zonas verdes y el consumo de cultivos irrigados con aguas grises sin tratar. En Suecia, por ejemplo, una evaluación de los riesgos microbianos para la salud realizada en un sistema típico con separación de aguas grises en la fuente encontró que, a pesar de la baja carga fecal, el sistema presentaba riesgos inaceptablemente altos de infección con rotavirus (Ottoson y Stenström 2003). Esto subraya la necesidad de un adecuado tratamiento en el reciclaje de aguas grises.

Sistemas centralizados

Los sistemas centralizados de gestión de las aguas residuales están diseñados para recolectar y transportar las aguas residuales desde los hogares hasta un punto centralizado para su tratamiento y disposición final, o para la recuperación y reutilización de recursos. Las cadenas tradicionales de gestión de las aguas residuales combinan aguas negras y grises, con conexión a grandes redes de alcantarillado. Con frecuencia

FIGURA 5.2

Flujos típicos de patógenos y puntos de exposición: sistema de saneamiento in situ con reciclaje de aguas grises



E1: Usuarios y aseadores de inodoros; **E2:** Ingestión de aguas grises crudas (trabajadores); **E3:** Ingestión de aguas grises tratadas (trabajadores); **E4:** Ingestión de aguas grises y consumo de cosechas (trabajadores y consumidores); **E5:** Consumo de agua recargada con aguas grises

Figura: Razak Seidu

toman también aguas residuales provenientes de las industrias y de los drenajes. Según la aplicación prevista o los receptores de los efluentes, las opciones de tecnologías de tratamiento pueden variar desde un sencillo proceso mecánico, hasta una combinación avanzada de procesos de tratamiento mecánicos, microbianos y químicos. La Figura 5.3 ilustra la configuración de un sistema centralizado de tratamiento de aguas residuales, que incluye los puntos de exposición para la transmisión de patógenos microbianos.

Es posible que durante el transporte de las aguas residuales la comunidad del entorno se vea expuesta a patógenos microbianos, en especial durante las inundaciones o el mantenimiento de las redes de tubería. En Gaza, se encontró que los niños menores de cinco años que habitaban en una zona con alcantarillado construido de manera deficiente tenían cuatro veces más posibilidades de infectarse con *áscaris* durante las inundaciones del invierno, si se compara con quienes habitan en zonas que carecen de una red de alcantarillado (Smith 1993).

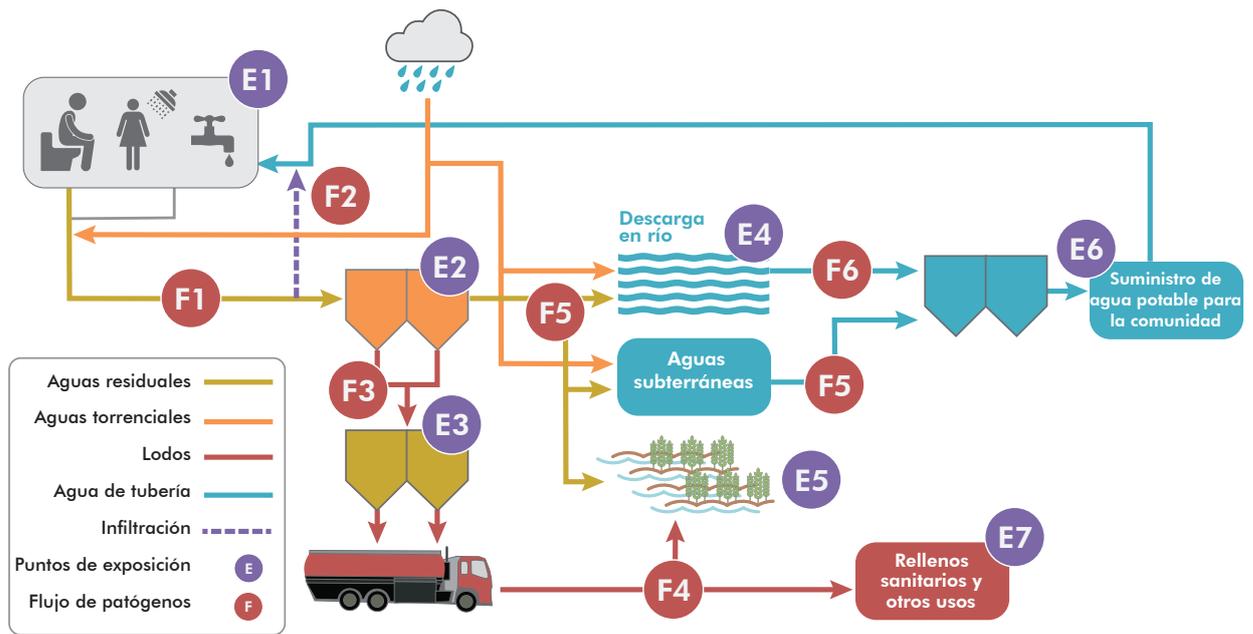
Sin embargo, en términos generales es menos probable que las comunidades que cuentan con conexión a un alcantarillado se vean expuestas a patógenos que aquellas que no cuentan con

él. Un estudio transversal realizado en la ciudad de Salvador, Brasil, reveló que los niños de 5 a 14 años que viven en zonas con alcantarillado tienen una probabilidad de infectarse con *áscaris* y *trichuris* de 1,2 a 1,7 veces menor que quienes habitan en zonas desprovistas de redes de alcantarillado. Una expansión de las redes de alcantarillado en Salvador para cubrir más hogares redujo también en un 21 % la prevalencia de enfermedades diarreicas entre los niños (Barreto et al. 2007).

Es posible que los trabajadores inhalen patógenos en las plantas de tratamiento de aguas residuales (ver p. ej. Fracchia et al. 2006; Westrell et al. 2004). Estudios epidemiológicos que evalúan el riesgo de infecciones virales entre los trabajadores de las plantas de tratamiento de las aguas residuales han mostrado resultados contradictorios. En una encuesta transversal, no se encontró un riesgo excesivo de infección por el virus de la Hepatitis A entre los trabajadores de la planta de una ciudad grande de Estados Unidos (Trout et al. 2000). Sin embargo, en Francia se encontró que los trabajadores de las plantas de tratamiento de aguas residuales tenían 2,2 veces más probabilidades de infectarse con Hepatitis A que otros trabajadores (Cadilhac et al. 1996).

FIGURA 5.3

Flujos típicos de patógenos y puntos de exposición: sistema centralizado para el tratamiento de aguas residuales



E1: Usuarios y aseadores de inodoros; **E2 y 3:** Exposición a aguas residuales/lodos (trabajadores); **E4:** Uso recreativo, p. ej. natación (usuarios); **E5:** Exposición a aguas residuales/lodos y consumo de cultivos irrigados /fertilizados (trabajadores, comunidad y consumidores); **E6:** Consumo directo o indirecto de agua potable **E7:** Exposición en el sitio del relleno sanitario (trabajadores y comunidad)

Figura: Razak Seidu

5.3 Protección de la salud en la recuperación y reutilización de recursos

Reutilización agrícola

La recuperación y reutilización en la agricultura de los recursos provenientes de las aguas residuales y de las excretas ofrece muchas oportunidades de mejorar la salud mediante una mejor seguridad hídrica y alimentaria, junto con una serie de beneficios adicionales. Sin embargo, solo es posible considerarlas como parte de una gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales si se hace de manera segura. Es preciso evitar los riesgos para la salud debidos a la exposición a los patógenos presentes en las excretas y en las aguas residuales, mediante su adecuada gestión y tratamiento.

Irrigación con aguas residuales

La irrigación agrícola es uno de los tipos de reutilización del agua de mayor difusión. Sin embargo, con frecuencia no está regulada y se utilizan aguas residuales sin tratar, en especial en países de ingresos bajos y medios, lo cual genera

graves riesgos para la salud de los agricultores y de los consumidores de las cosechas producidas (Dickin et al. 2016).

En el caso de la reutilización agrícola, los principales grupos en riesgo de exposición son los agricultores que aplican productos a base de aguas residuales o de excretas; los consumidores de los cultivos a los que se ha aplicado este tipo de productos (en particular, los vegetales que se consumen crudos); las poblaciones que viven en las inmediaciones de los cultivos agrícolas. El nivel de riesgo microbiano para la salud depende del nivel, tipo y eficacia del tratamiento que hayan tenido los productos reutilizados (si lo han tenido).

Estudios realizados en Ghana, Vietnam, México y Pakistán han revelado un alto riesgo de infección por helminto, enfermedades diarreicas e infecciones de la piel entre los agricultores que utilizan aguas residuales sin tratar o tratadas de manera deficiente para la irrigación, y que no utilizan ropa de protección. (p. ej. Seidu et al. 2008 ; Blumenthal et al. 2001 ; Trang 2007 ; Rutkowski et al. 2007). Los consumidores de vegetales irrigados con aguas residuales pueden enfrentar una mayor variedad de riesgos de infección por E. coli O157:H7, rotavirus, norovirus y helminto (Seidu

et al. 2008; Barker et al. 2013; Seidu et al. 2013). Un estudio realizado en zonas urbanas de Ghana contabilizó 0,68 episodios de diarrea por año relacionados con el consumo de lechugas irrigadas con aguas residuales (Seidu y Drechsel 2010). Para sopesar esto contra el riesgo microbiano para la salud, Trang (2007) encontró que, a pesar de los riesgos prevalecientes de infección por helminto, los niños que habitaban en una zona en donde se reutilizaban las aguas residuales gozaban de un estado nutricional significativamente mejor que aquellos que habitaban en zonas en donde se usaba agua del río.

Se ha prestado menos atención a los posibles riesgos para la salud de las poblaciones que viven en las inmediaciones de granjas irrigadas con aguas residuales. Para estas poblaciones, un importante medio de exposición son los aerosoles de los aspersores de irrigación con aguas residuales sin tratar. Un estudio halló que los niños que habitaban a una distancia entre los 600 y los 1.000 m de los campos irrigados por aspersión con aguas residuales tenían el doble de riesgo de contraer infecciones entéricas clínicas durante los meses de verano, mientras que el riesgo promedio para el año era mucho menor (WHO 2006).

Para garantizar que la irrigación con aguas residuales sea segura, existe un método que consiste en tratar las aguas residuales de manera suficiente como para reducir el contenido de patógenos y de contaminantes a niveles en los

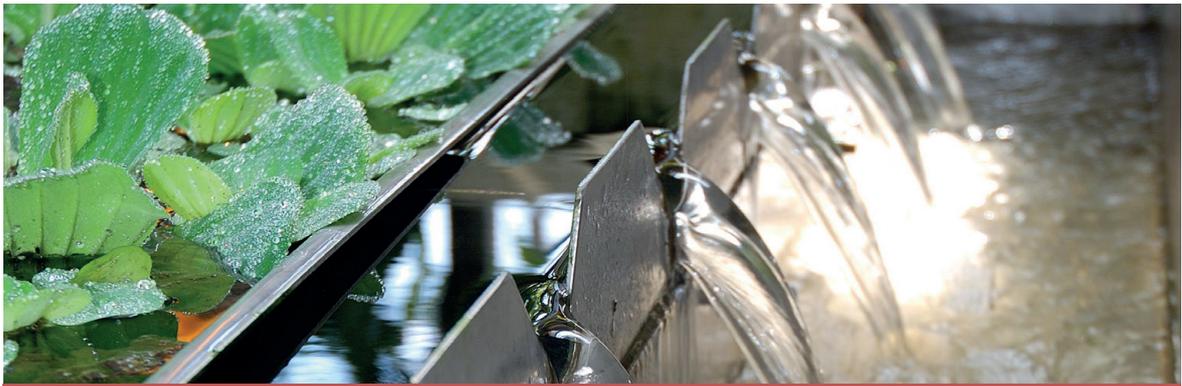
cuales las aguas residuales puedan manejarse de manera segura y los cultivos irrigados puedan consumirse utilizando solamente las precauciones de higiene normales. No obstante, de no ser factible este nivel de tratamiento, las aguas residuales de calidad inferior se pueden utilizar en combinación con campañas de concientización, precauciones más estrictas durante su aplicación y cultivo, y una mejor higiene en el manejo de las cosechas. Además, los estándares para los cultivos de alimentos deben ser más altos que para los cultivos no alimentarios. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos ha elaborado guías completas para la reutilización del agua (ver más adelante) basadas en experiencias internacionales y también, en parte, en las guías de la OMS para el uso seguro de las aguas residuales, las excretas y las aguas grises (WHO 2006).

Heces separadas en la fuente

En el caso de un sistema para saneamiento sin agua, el uso directo de excretas sin tratar en la agricultura representa al riesgo más importante para la salud, en especial para los agricultores involucrados directamente en el uso de excretas provenientes de hoyos secos y para los consumidores de cultivos fertilizados con excretas. Varios estudios han hallado altos riesgos de infección, tanto entre los agricultores que aplican heces secas sin tratar, como entre los consumidores de cosechas de alimentos cultivadas en suelos a los que se han aplicado



Gestión poco segura de lodo fecal por parte de "froggers" en el tugurio de Kibera, Nairobi, Kenia. Fotografía: Reuters / Antony Njuguna



Parte de un sistema de baja energía para el tratamiento de aguas residuales basado en una secuencia de etapas biológicas. Las biopelículas de microorganismos, algunos de los cuales viven en las raíces de las plantas, extraen los nutrientes del efluente. Fotografía: Organica

heces secas (Westrell 2004; Trang et al. 2007; Seidu 2010; Jiménez. 2007).

No obstante, un almacenamiento prolongado puede reducir de manera apreciable el riesgo de patógenos en las heces. Las heces almacenadas de 12 a 18 meses, según las condiciones climáticas, presentan por lo general un riesgo mínimo en relación con todos los patógenos, con la posible excepción de algunos parásitos (WHO 2006).

Biosólidos

A los lodos asimilados o estabilizados provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales se los denomina en ocasiones biosólidos. Con base en su contenido microbiano, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos ha clasificado los biosólidos en Clase A (que se pueden vender para uso público) y Clase B (solo para uso restringido; US EPA 2003). Como sucede con la reutilización de las aguas residuales, los principales grupos de riesgos y los escenarios de exposición relacionados con la aplicación de biosólidos a la tierra incluyen: a) agricultores; b) poblaciones que viven en las inmediaciones de los sitios de aplicación de biosólidos o de lodos; c) consumidores de cultivos de alimentos fertilizados con biosólidos; y d) vida salvaje acuática y de otro tipo.

No es claro el riesgo que conlleva la aplicación de los biosólidos para las comunidades circundantes. Lewis et al. (2002) reportaron una incidencia más alta de enfermedades y de mortalidad entre las poblaciones que viven cerca a campos donde se aplican lodos del alcantarillado en Canadá y en Estados Unidos. Los residentes afectados vivían dentro de 1 km de los sitios de aplicación, y se quejaban de erupciones en la piel, sensación de ardor en los ojos, garganta y pulmones. No obstante, en un estudio nacional adelantado en Estados Unidos por Brooks et al. (2005) se evaluaron los riesgos para la salud de la comunidad relacionados con los bioaerosoles de los sitios de aplicación en la tierra de biosólidos Clase B. En

el estudio se tomaron muestras de aerosol en la dirección del viento, de la carga, la descarga y la aplicación a la tierra de biosólidos Clase B, junto con operaciones en segundo plano. Se encontró que el riesgo anual de infección era inferior a los valores objetivo establecidos por la OMS.

En Ghana se hizo un hallazgo similar. Seidu (2010) encontró un riesgo bajo de infección por exposición a rotavirus en aerosol durante la aplicación de lodos fecales en los campos.

Orina separada en la fuente

En comparación con los lodos fecales, la reutilización de la orina representa un riesgo mucho menor para la salud, tanto en su manejo como en su reutilización agrícola. Una evaluación realizada en Suecia (Höglund et al. 2012) concluyó que el riesgo microbiano para la salud de la ingestión directa de orina almacenada de 1 a 6 meses era aceptablemente bajo para una variedad de escenarios de exposición. Los peligros microbianos relacionados con el uso de la orina como fertilizador de cultivos eran bastante bajos (<10-3 por exposición), con excepción de posibles infecciones con rotavirus cuando la orina no había sido almacenada, o lo había sido a temperaturas excesivamente bajas (4°C o menos). El estudio concluyó que los riesgos para la salud de la separación de la orina en la fuente y su reutilización eran aceptablemente bajos y defendió su uso como fertilizador de cultivos.

Aguas grises separadas en la fuente

Por lo general, las aguas grises son bajas en patógenos, aun cuando los riesgos varían según su fuente. Barker et al. (2013), por ejemplo, realizaron un estudio en Melbourne, Australia, para evaluar los riesgos de consumir lechugas cultivadas en el hogar que habían sido irrigadas directamente con aguas grises (a pesar de las advertencias del gobierno contra esta práctica). El estudio encontró que el riesgo de infección por norovirus era menor

cuando se consumían lechugas irrigadas con aguas grises provenientes del baño, que cuando habían sido irrigadas con aguas grises provenientes del lavado de ropa.

No obstante, como regla general, el tratamiento de las aguas grises es crítico, independientemente de su fuente, si se van a utilizar para irrigar vegetales que se consumen crudos.

Reutilización potable

Se requieren los más altos estándares de seguridad cuando el agua recuperada se usa para beber. Los estudios sobre riesgos microbianos para la salud relacionados con los esquemas para la reutilización directa e indirecta de las aguas residuales potables son limitados. Los pocos estudios que se han realizado no han mostrado una relación estadísticamente significativa con un exceso en la incidencia de enfermedades o brotes. Un estudio ecológico de los riesgos para la salud relacionados con el consumo de agua del esquema de reutilización potable de Windhoek (ver el estudio de caso en la sección 9.1) concluyó que la prevalencia de las enfermedades diarreicas estaba relacionada con factores socioeconómicos, pero no con el suministro de agua (NRC 1998). Otros estudios no han encontrado una relación significativa entre los riesgos microbianos para la salud y el consumo de agua proveniente de esquemas de reutilización potable directa o indirecta.

Sin embargo, que los índices de riesgo para la salud sean bajos no significa que los esquemas de reutilización potable sean inmunes por completo a fallas que pueden conducir a brotes de enfermedades. Eventos de fallas (p. ej. un

tratamiento inadecuado o el colapso total de un paso de tratamiento) que desencadenan brotes de enfermedades en los sistemas normales de suministro de agua, también pueden ocurrir en esquemas avanzados de reutilización potable. Algunos estudios han mostrado, por ejemplo, que muchos de los métodos de tratamiento de los esquemas de reutilización potable no eliminan por completo los patógenos microbianos (Gennaccaro et al. 2003; Rose et al. 1996). Esto significa que, aun cuando no se hayan reportado brotes, estos esquemas deben ser lo suficientemente robustos como para evitar cualquier posible falla que pueda afectar de manera significativa a los consumidores.

5.4 Gestión de riesgos para la salud

Con el tiempo, se han venido implementando varios enfoques de gestión de riesgos con el fin de optimizar los sistemas del saneamiento para reducir o eliminar los patógenos en las aguas residuales y para restringir la exposición humana (contacto, inhalación o ingestión) a los patógenos a lo largo de la cadena del sistema del saneamiento.

El enfoque más difundido en la gestión de riesgos para la salud en los sistemas de saneamiento es la gestión de riesgos de barreras múltiples. Más recientemente, la OMS ha desarrollado la planificación de la seguridad del saneamiento (PSS) para facilitar la implementación de estrategias de gestión de riesgos por parte de los actores en el sector del saneamiento. A continuación, se describen brevemente estos enfoques de gestión de riesgos haciendo referencia a casos de estudio específicos.

FIGURA 5.4 Enfoque de barreras múltiples para la reutilización agrícola de la orina

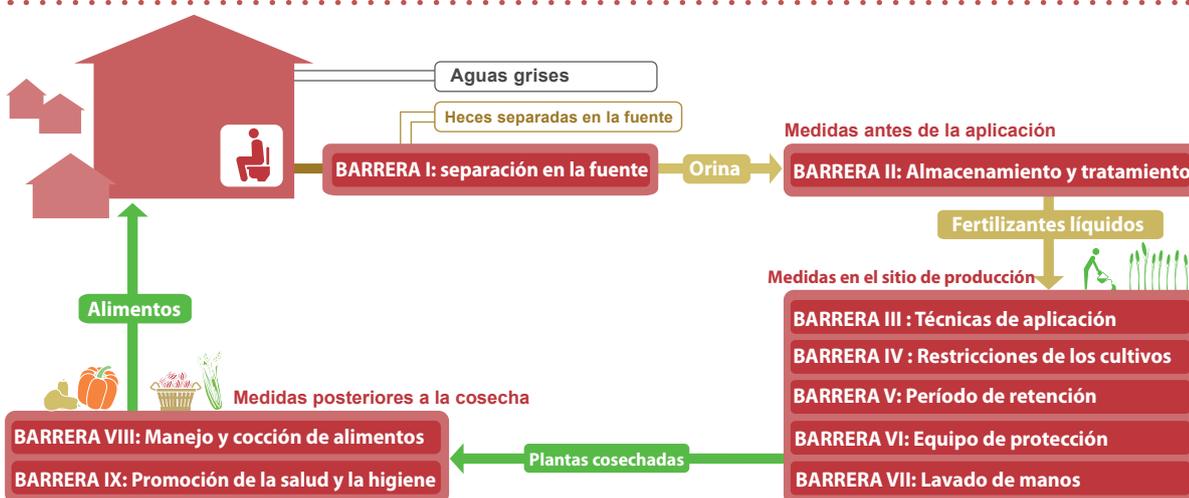


Figura: Basada en Richert et al. 2010

Enfoque de barreras múltiples

El enfoque de barreras múltiples incluye las intervenciones (barreras) al contacto humano con patógenos en los diferentes puntos de posible exposición en la cadena del saneamiento, en especial en las etapas de eliminación, descarga y/o reutilización. Según el tipo de sistema, los puntos de exposición microbiana y los grupos de riesgo, el enfoque de barreras múltiples puede incluir una serie de barreras de tratamiento o una combinación de barreras con tratamiento y sin él (mejores prácticas y cambios comportamentales y actitudinales) a lo largo de la cadena del saneamiento. La Figura 5.4 ilustra un enfoque de barreras múltiples para la reutilización agrícola de la orina.

En un enfoque de barreras múltiples, los pasos del tratamiento son monitoreados y controlados

cuidadosamente para garantizar estándares consistentes de calidad del agua y el cumplimiento de las directrices locales o nacionales. Este enfoque ha sido implementado con éxito en los esquemas para la reutilización del agua potable en Sudáfrica, Namibia (ver el estudio de caso en la sección 9.1), Australia y Estados Unidos.

Al diseño del tratamiento según el destino previsto del agua o de otras fracciones de las aguas residuales (p. ej. descarga en las aguas receptoras o tipos específicos de reutilización) se lo denomina habitualmente como *enfoque adecuado al propósito*. El grado de tratamiento se ajusta con base en los riesgos potenciales para la salud (o para el medio ambiente) del uso proyectado de las aguas residuales. Este enfoque se aplica en varios estados de Estados Unidos y en Australia y contribuye a seleccionar estrategias rentables (US EPA 2012a). El tratamiento de los biosólidos para

TABLA 5.2 **¿Qué tipo de reutilización de las aguas residuales puede ser apropiada después de qué nivel de tratamiento?**

	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Filtración y desinfección	Tratamiento avanzado
Procesos	Sedimentación	Oxidación y desinfección biológicas	Coagulación química, remoción de nutrientes, filtración y desinfección biológica o química	Carbón activado, ósmosis inversa, procesos de oxidación avanzada, tratamiento de acuíferos del suelo, etc.
Usos finales	Ninguno recomendado	Irrigación superficial de huertos y viñedos Irrigación de cultivos diferentes de alimentos Embalses ornamentales restringidos Recarga de acuíferos no potables de aguas subterráneas Humedales, hábitat de vida salvaje, aumento de corrientes Enfriamiento industrial	Irrigación de zonas verdes y campos de golf Descarga de inodoros Lavado de vehículos Irrigación de cultivos alimentarios Embalses recreativos sin restricciones Sistemas industriales	Reutilizaciones potables indirectas que incluyen: Recarga de acuíferos potables de aguas subterráneas Aumento de reservorios de aguas superficiales y reutilización potable
Niveles aceptables de exposición humana	+	++	+++	++++
Costo	+	++	+++	++++

Source: Based on US EPA 2012a

TABLA 5.3

Eficacia de las intervenciones con tratamiento y fuera del tratamiento en diferentes puntos críticos de la cadena “de la granja al tenedor”

	Medida de mitigación de riesgo	Reducción logarítmica de patógenos ^a	Comentarios	Grupos de riesgo a quien va dirigida
Tratamiento				
	Tratamiento de las aguas residuales	1.6	Reducción logarítmica de patógenos según el tipo y grado de la tecnología de tratamiento seleccionada	Agricultores expuestos a las aguas residuales Consumidores de cosechas
Opciones en la granja				
	Fuente alternativa de tierra y agua	6-7	En Ghana, las autoridades apoyaron a los agricultores urbanos perforando pozos. En Benín, a los agricultores se les ofrecieron tierras alternativas con acceso a fuentes de agua más seguras	Agricultores expuestos a aguas residuales Consumidores
	Restricción de las cosechas (p. ej. no se consumen alimentos sin cocer)	6-7	Según (a) la eficacia del cumplimiento local de las restricciones a las cosechas, b) margen de utilidad comparado con cultivos alternativos	Consumidores
Tratamiento en la granja				
	Sistema de tres estanques	1-2	Un estanque es llenado por el agricultor, un está destinado a la sedimentación, y el agua sedimentada del tercero se usa para irrigar	Consumidores y agricultores
	Sedimentación simple	0.5-1	Sedimentación por ~18 horas	Consumidores y agricultores
	Filtración simple	1-3	Desempeño según el sistema de filtración usado	
	Mortandad de los patógenos (lodos fecales)	En línea con OMS (2006)	Los lodos fecales crudos usados en el cultivo de cereales en Ghana se deberían desecar en la granja durante: ≥ 60 días o ≥ 90 días, dependiendo del método de aplicación (extendido vs. pozo) para minimizar el riesgo ocupacional para la salud.	Agricultores y población que vive en las inmediaciones de las granjas que usan lodos

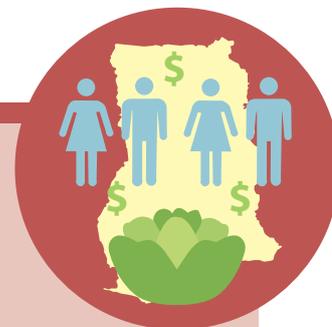
TABLA 5.3

Eficacia de las intervenciones con tratamiento y sin tratamiento en diferentes puntos críticos de la cadena “de la granja al tenedor” (2)

	Medida de mitigación de riesgo	Reducción logarítmica de patógenos ^a	Comentarios	Grupos de riesgo a quien va dirigida
Método de aplicación de las aguas residuales				
	Irrigación de surcos	1–2	Posible reducción de la densidad de los cultivos y de la producción	Consumidores
	Irrigación por goteo a bajo costo	2–4	Reducción de 2 unidades logarítmicas para cultivos de bajo crecimiento, reducción de 4 unidades logarítmicas para cultivos de alto crecimiento	Consumidores
	Reducción de salpicaduras	1–2	Agricultores entrenados para reducir las salpicaduras cuando se usan regaderas (la salpicadura agrega partículas de tierra contaminadas a la superficie de los cultivos, que se puede minimizar)	Consumidores
	Mortandad de patógenos (aguas residuales)	0.5–2 per day	Apoyo a la mortandad interrumpiendo la irrigación antes de la cosecha (el valor depende del clima, tipo de cultivo, etc.)	Consumidores
Opciones posteriores a la cosecha en mercados locales				
	Canastas de almacenamiento nocturno	0.5–1	Vender la producción después de almacenarla en la noche en canastos (en lugar de almacenarla en costales o venderla fresca sin haberla almacenado una noche)	Consumidores
	Preparación de la producción antes de la venta	1–2	a) Lavar con agua limpia los cultivos para ensaladas, vegetales y frutas	Consumidores
		2–3	b) Lavar con agua del grifo los cultivos para ensaladas, vegetales y frutas	Consumidores
		1–3	c) Retirar las hojas exteriores de repollos, lechugas	Consumidores
Opciones para la preparación de productos en la cocina				
	Desinfección de productos	2–3	Lavar los cultivos para ensaladas, vegetales y frutas con una solución de desinfectante apropiada y enjuagar con agua limpia	Consumidores
	Pelar los productos	2	Frutas, cultivos de raíces	Consumidores
	Cocción de productos	6–7	Las opciones dependen de la dieta local y la preferencia por la comida cocida	Consumidores

Fuentes: Seidu 2010; Seidu et al. 2013; Mara 2010; US EPA 2012a

^a La reducción del logaritmo es una manera de medir la eliminación de los patógenos. Una reducción de 1 logaritmo es una reducción de diez veces (o del 90 %) el número de patógenos, una reducción de 2 logaritmos es una reducción de 100 veces (o del 99,9 %) y así sucesivamente.



Eficacia y rentabilidad de las intervenciones para la irrigación con aguas residuales en zonas urbanas de Ghana

Las enfermedades diarreicas en zonas urbanas de Ghana relacionadas con el consumo de lechuga irrigada con aguas residuales representan 12.000 AVAD (años de vida ajustados por discapacidad), cerca del 10 % de la carga de enfermedades diarreicas del país. Un estudio evaluó varias intervenciones de tratamiento y fuera del tratamiento con respecto a su rentabilidad y eficiencia en cuanto a la reducción de enfermedades diarreicas entre los consumidores del cultivo. La intervención de tratamiento incluyó la rehabilitación de las plantas existentes de tratamiento de aguas residuales para mejorar la calidad microbiana del agua de irrigación usada por los agricultores. Las intervenciones fuera del tratamiento se centraron en las granjas y en los puntos postcosecha (cocinas y restaurantes en donde se prepara ensalada de lechuga regada con aguas residuales) y estaban dirigidas a promover buenas prácticas de gestión de riesgos en estos puntos, mediante una campaña.

El estudio encontró que, según las prácticas de gestión de riesgos utilizadas en diferentes etapas, se podían evitar entre el 41 y el 92 % de la carga de enfermedades diarreicas. Las tasas promedio de rentabilidad fueron:

- Intervención fuera del tratamiento en la granja: US\$13/AVAD evitado.
- Intervención postcosecha (75% de las cocinas adoptaron preparaciones y manejos higiénicos de los alimentos): US\$ 27/AVAD evitado.
- Combinación de tratamiento de bajo costo de aguas residuales e intervenciones fuera del tratamiento en la granja y post cosecha (75% tasa de adopción): US\$61/AVAD evitado.

La evaluación reveló que la tasa de adopción de las intervenciones sin tratamiento en los puntos críticos fue el determinante más importante tanto de la eficacia de las intervenciones como de su rentabilidad.

Fuente: Basada en Seidu y Drechsel 2010; Drechsel y Seidu 2011

alcanzar el nivel de calidad microbiana de Clase A o B (ver más arriba) es otro ejemplo del enfoque adecuado al propósito. En la Tabla 5.2 se sintetizan las directrices de US EPA sobre los requisitos de tratamiento para diferentes tipos de reutilización de las aguas residuales.

Un enfoque de barreras múltiples basado en estrategias adecuadas al propósito forma la base de las directrices para el tratamiento de las aguas residuales y su disposición final/reutilización en muchos países desarrollados, en lo relacionado con la carga microbiana. Sin embargo, en muchos países de ingresos bajos y medios la

implementación de barreras de tratamiento para la protección de la salud pública sigue siendo un reto sin solución.

Las directrices más recientes de la OMS (OMS 2006) promueven una combinación de barreras de tratamiento y fuera del tratamiento a lo largo de toda la cadena de “la granja al tenedor”, con el fin de proteger la salud pública en los esquemas de reutilización agrícola, en especial en los países de ingresos bajos y medios. En este enfoque se usan objetivos de salud basados en resultados, en lugar de los estándares de calidad del agua.



*Cultivos fertilizados con excretas tratadas: es posible que se requieran precauciones adicionales en la preparación de los alimentos.
Fotografía: Kim Andersson*

Las directrices de la OMS utilizan años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) para definir los objetivos de salud basados en resultados. En la actualidad, definen la carga adicional máxima tolerable de enfermedades ocasionada por la reutilización, como de $\leq 10-6$ AVAD perdidos por persona al año. En zonas en donde se esperan altos niveles de contaminación, esto se traduce aproximadamente en una reducción de patógenos de 6 a 7 unidades logarítmicas antes de que se puedan consumir los alimentos a los que se han aplicado aguas residuales.

Definir los objetivos de salud con base en resultados, en lugar de especificar pasos de tratamiento obligatorios, ofrece a las autoridades mayores opciones y flexibilidad en la forma en la que reducen los riesgos, en especial en aquellos lugares en los que no es posible un tratamiento convencional del agua.

Se han implementado varias estrategias de gestión de riesgos, o bien se ha experimentado con ellas, para evaluar su eficacia en el cumplimiento del objetivo establecido por la OMS. La Tabla 5.3 sintetiza la eficacia de diferentes intervenciones de tratamiento y fuera de él a lo largo de la cadena “de la granja al tenedor”.

Una combinación óptima de estrategias de y fuera del tratamiento puede ser eficaz para la reducción de patógenos y también rentable,

al evitar la carga de enfermedades por dólar invertido (ver el Cuadro 5.1). No obstante, existen obstáculos para la implementación en esquemas de reutilización no planeados en países de ingresos bajos y medios. Es posible que los agricultores comprometidos con este tipo de reutilización, así como los consumidores de cultivos irrigados con aguas residuales, no tengan la comprensión adecuada sobre los peligros y riesgos implicados. A menudo, una implementación exitosa exige: una mejor comprensión de los riesgos y beneficios de las intervenciones; cambios en las prácticas tradicionales arraigadas; inversiones; y una efectiva reglamentación local.

Planificación de la seguridad del saneamiento

El enfoque de la PSS ofrece un marco para desarrollar e implementar estrategias para optimizar un sistema de saneamiento dirigido a la protección de la salud pública (WHO 2015). Específicamente, ofrece directrices para identificar y gestionar riesgos para la salud a lo largo de la cadena de saneamiento; brinda información para las inversiones con base en riesgos reales para la salud; y suministra garantías a las autoridades y al público sobre la seguridad de servicios y productos relacionados con el saneamiento.

El enfoque PSS se deriva de las directrices de la OMS para el uso seguro de aguas residuales,

excretas y aguas grises (WHO 2006). No obstante, puede adaptarse de manera que comprenda también sistemas de saneamiento que no están configurados para efectos de reutilización. El enfoque incluye tres pasos diferentes pero interrelacionados: evaluación del sistema de saneamiento, monitorización del funcionamiento del sistema y gestión del sistema.

Evaluación: Este paso involucra una evaluación completa de las diferentes unidades que comprende el sistema de saneamiento. La evaluación identifica los diferentes puntos de exposición microbiana en el sistema; los eventos potencialmente peligrosos en los puntos de exposición, entre ellos las fallas tecnológicas y los comportamientos y prácticas relacionadas con riesgos; los grupos expuestos a riesgos en los diferentes puntos de exposición; la gravedad de los riesgos para la salud de los diferentes grupos de

riesgo; y la priorización y clasificación de los puntos de exposición.

Monitorización: Es necesario contar con mecanismos de monitorización para detectar con rapidez problemas en el sistema y mitigar eventos peligrosos. Un protocolo de monitorización puede incluir muestreo y análisis microbiano de las aguas residuales tratadas, en el caso de un esquema de reutilización, con el fin de garantizar que se cumplan directrices específicas.

En un sistema sin agua, los protocolos de monitorización pueden abarcar el uso, la contención, el vaciado y la disposición, o el uso agrícola de excretas. Finalmente, los resultados de la monitorización de las operaciones ayudarán a los gerentes del sistema a decidir si este necesita nuevas reducciones de riesgo o medidas de control.

CUADRO 5.2

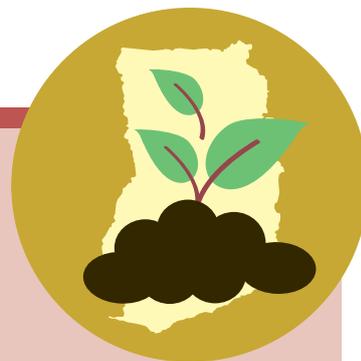
Directrices locales para la aplicación de lodos fecales en el norte de Ghana

En el norte de Ghana, los agricultores que aplican lodo a tierras de cultivo utilizan dos métodos tradicionales para el tratamiento del lodo — extenderlo en puntos aleatorios y contenerlo en hoyos— que permiten procesar el lodo crudo y convertirlo en “tortas” para mitigar los riesgos para la salud y facilitar su manejo y aplicación. La deshidratación del lodo se realiza en la estación seca (de noviembre a abril) cuando las temperaturas en la zona norte del país pueden llegar a los 39° C.

Aun cuando los agricultores consideran que estos métodos de tratamiento son seguros y ofrecen una alternativa a las tecnologías convencionales de tratamiento de lodos, son considerados ilegales por las autoridades de salud pública. Sin embargo, no se han puesto a disposición de los agricultores medidas alternativas para la reducción de los riesgos para la salud, y ellos continúan aplicando el lodo utilizando los métodos tradicionales. Los agricultores usaron tiempos variables para el secado del lodo que van de 7 a 60 días y de 90 a 105 días para los métodos de dispersión en puntos aleatorios y los métodos de pozo, respectivamente.

Una evaluación de los dos métodos mostró que el objetivo basado en la salud, establecido por la OMS, para la exposición directa a rotavirus y áscaris podía cumplirse si se desecaba el lodo durante ≥ 60 días y ≥ 90 días para los métodos de dispersión en puntos aleatorios y los métodos de pozo respectivamente. Este sencillo tratamiento ofrece a los agricultores opciones para elegir entre ambos métodos según sus necesidades, no se requiere recolectar ni analizar muestras para el análisis microbiano y, por lo tanto, resulta sencillo de implementar y gestionar por parte de los agricultores.

Fuente: Seidu 2010



Gestión: Son necesarios algunos procedimientos para mantener la integridad de los componentes del sistema de saneamiento —y minimizar los riesgos microbianos— durante su funcionamiento normal. Se debe contar con un plan de acción y medidas de control para mitigar los riesgos potenciales para la salud durante las fallas de funcionamiento del sistema.

Mejora de la gestión de los riesgos para la salud en la práctica

La gestión de riesgos en los sistemas sostenibles de saneamiento y de aguas residuales no solo exige tecnologías apropiadas, sino también financiamiento, así como un comportamiento adecuado de parte de los usuarios, trabajadores y comunidades. Es preciso, además, contar con directrices y reglamentaciones para la implementación efectiva de estrategias de gestión de riesgos.

En zonas en donde hay escasa comprensión acerca de los puntos críticos de exposición microbiana en el sistema de saneamiento y existen riesgos potenciales para la salud, es fundamental invertir en cambios de comportamiento y actitudes. En este caso, contar con campañas de concientización así como programas de entrenamiento, bien diseñados e implementados, pueden desempeñar un papel importante en la mejora de la comprensión por parte del público.

Los costos relacionados con la gestión de riesgos pueden incluir los costos directos en tecnología o materiales, por ejemplo (desde una planta de tratamiento, una letrina de pozo, hasta ropa de protección para los trabajadores), y los costos indirectos, por ejemplo, los relacionados con la pérdida de utilidades debida al marchitamiento de cultivos (p. ej. lechuga y repollo) ocasionada por la no irrigación antes de la cosecha. Las estrategias para la gestión de riesgos deberían tener en cuenta estos costos y ofrecer asistencia o incentivos económicos, tales como instalaciones de tratamiento subsidiadas o gratuitas, o bien préstamos blandos cuando existe el riesgo de que los costos impidan la implementación.

Muchos países carecen de directrices o de reglamentaciones para el uso agrícola de las aguas residuales y otras fracciones de desechos. Las directrices actuales de la OMS ofrecen cierto nivel de flexibilidad a través del marco de barreras múltiples con objetivos basados en la salud, ya descritos. Sin embargo, la implementación de las directrices para la irrigación con aguas residuales seguirá siendo un desafío abrumador a corto y mediano plazo en países de ingresos bajos y

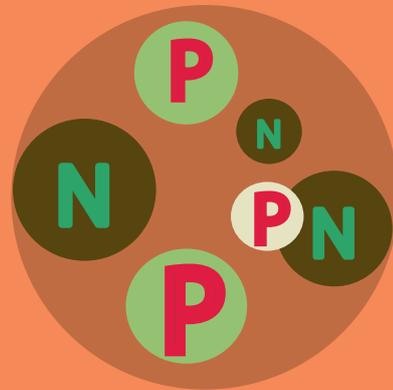
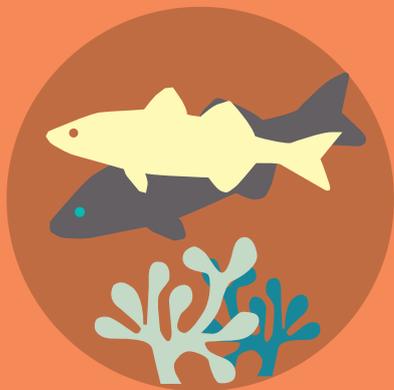
medios. Con frecuencia, las autoridades locales no tienen la capacidad necesaria para implementar y monitorizar componentes específicos de las directrices de la OMS.

Por lo tanto, existe la necesidad de contar con directrices locales y nacionales específicas para estos países (Seidu 2010). Las directrices nacionales deberían ser de fácil comprensión e implementación con base en las prácticas locales existentes, como las propuestas para el tratamiento y reutilización tradicional de lodos en el norte de Ghana descritas en el Cuadro 5.2. La elaboración de directrices y reglamentaciones debería incluir una amplia consulta con todos los actores, posibles beneficiarios y grupos de riesgo: los usuarios de las instalaciones de saneamiento, los usuarios de las excretas y/o aguas grises tratadas, las instituciones financieras y los centros de investigación, por ejemplo. Los procesos de PSS pueden contribuir a identificar a los actores que se deberían incluir.

MENSAJES CLAVE

- La recuperación y reutilización de los recursos de aguas residuales y de excretas puede mejorar en gran medida la salud y el bienestar humanos gracias a una mejor nutrición y seguridad alimentaria y a la reducción de cargas de enfermedades relacionadas con el agua.
- La reutilización de las aguas residuales o de las excretas sin tratar o tratados de manera deficiente conlleva altos riesgos.
- Reconocer los riesgos potenciales asociados con la recuperación y reutilización de los recursos requiere una perspectiva integral basada en la comprensión de las vías de exposición locales.
- Es posible lograr la mitigación de los riesgos para la salud humana en la gestión del saneamiento y de las aguas residuales, en particular en la recuperación y reutilización de recursos mediante una combinación de medidas de tratamiento técnicas y no técnicas (p. ej. cambios de comportamiento).

6. SOSTENIBILIDAD Y PROTECCIÓN AMBIENTAL



La gestión inadecuada de las aguas residuales tiene importantes implicaciones para la sostenibilidad ambiental. Cuando se descargan grandes volúmenes de aguas residuales sin tratar, que contienen nutrientes, sustancias tóxicas y materia orgánica, en ríos, lagos y océanos, estas pueden comprometer gravemente la integridad de los ecosistemas

(Grant et al. 2012). Además del daño que causan a la vida acuática, los ecosistemas degradados tienen una menor capacidad de proveer una serie de servicios importantes de los que dependen los seres humanos, tales como la protección de las costas, la purificación del agua y el suministro de alimentos (Barber et al. 2011).

CUADRO 6.1

Programa UNEP GEMS para el agua: pionero en la monitorización de la calidad del agua

El Programa UNEP GEMS se creó en 1978 con el fin de ofrecer capacidad mundial de almacenamiento de datos sobre la calidad del agua con base en programas de monitorización. Hasta abril de 2014, el soporte técnico estaba a cargo de Environment Canadá y en la actualidad es organizado conjuntamente en Nairobi, Alemania e Irlanda.

La base de datos GEMStat (www.gemstat.org) comparte datos sobre la calidad de las aguas superficiales y subterráneas recolectados por la Red Mundial del Agua/GEMS, que incluye más de 4.100 estaciones. Mantiene cerca de 4,9 millones de registros y más de 100 parámetros que constituyen la Evaluación Mundial de la Calidad del Agua. Incluye conjuntos de datos mundiales que muestran las tendencias en la calidad del agua en sistemas de drenaje naturales y contaminados. En la actualidad, la sede de GEMStat es el Instituto Federal Alemán de Hidrología.

Además, GEMS dispone ahora de un nuevo centro de construcción de capacidad con sede en Irlanda, apoyado por un consorcio de universidades e institutos irlandeses. El centro ofrece talleres de entrenamiento para la monitorización y la gestión de la calidad del agua en países en desarrollo.

Fuente: www.unep.org/gemswater/



Aun cuando hay un creciente interés por garantizar que el tratamiento de las aguas residuales mitigue los riesgos ambientales, este es un desarrollo relativamente reciente y aún se encuentra limitado principalmente a los países con ingresos más altos.

Los esfuerzos por proteger el medio ambiente dentro del contexto de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales se centraron en un principio en la monitorización. El Cuadro 6.1 describe el Programa UNEP GEMS para el agua, que buscaba crear una base de datos mundial para monitorizar la calidad del agua. Sin embargo, el interés se ha trasladado cada vez con mayor frecuencia a medidas de fin de tubo para minimizar el daño proveniente de las aguas residuales, medidas basadas por lo general en la tecnología, y a medidas preventivas, que incluyen medidas relativas al comportamiento, la reglamentación y la tecnología, así como enfoques basados en sistemas, tales como la gestión integrada de los recursos del agua (ver Cuadro 6.2). Dado que la viabilidad de diversas formas de recuperación y reutilización depende, por lo general, de que los flujos de desechos tengan una calidad y composición predecibles, esto puede agregar incentivos (y financiamiento) adicionales tanto a medidas de prevención como a medidas de fin de tubo que contribuyan a reducir el daño ambiental.

6.1 Riesgos ambientales

Nutrientes y materia orgánica

La contaminación por nutrientes se origina en dos fuentes principales: la escorrentía agrícola y la descarga de excretas humanas y animales y de otros desechos orgánicos biodegradables en cuerpos de agua. Un exceso de nutrientes tiene un impacto negativo sobre la estructura y funcionamiento del agua dulce y de los ecosistemas marinos al estimular transitoriamente el crecimiento de ciertas especies de plantas, en especial las algas. Cuando el exceso de biomasa muere, la descomposición bacteriana agota el contenido de oxígeno del agua creando zonas hipóxicas o anóxicas (es decir, con muy poco oxígeno o ninguno). Esto puede conducir a la pérdida de hábitats críticos y de biodiversidad, incluyendo la extinción masiva de peces (llamada también "mortandad de peces") o de otro tipo de fauna (Díaz y Rosenberg 2011). Por otra parte, las algas pueden producir toxinas, conocidas en ocasiones como mareas rojas o floraciones de algas nocivas (FAN), o bien pueden impedir que la luz del sol penetre

la superficie del agua, lo cual agrava aún más el déficit de oxígeno. La Figura 6.1 ilustra que la eutroficación está difundida ampliamente en muchas partes del mundo, lo cual representa un importante reto para la calidad del agua en el mundo entero.

Los nutrientes afectan diferentes ecosistemas de maneras específicas; por lo tanto, es de la mayor importancia aplicar soluciones apropiadas para la gestión de nutrientes. Por ejemplo, el fósforo ha sido tradicionalmente el factor clave para determinar la productividad primaria de los ecosistemas de agua dulce. Por consiguiente, es muy probable que los altos niveles de fósforo lleven a la eutroficación. En los sistemas costeros y marinos, el nitrógeno ha sido el elemento que más contribuye a la eutroficación (Schindler y Vallentyne 2008).

Existen también variaciones significativas en la importancia relativa de las fuentes de nutrientes en diferentes partes del mundo. Por ejemplo, las fuentes agrícolas (fertilizantes comerciales y estiércol animal) son habitualmente las principales fuentes de contaminación por nutrientes en las vías acuáticas de Europa y América del Norte, mientras que las aguas residuales urbanas son a menudo la fuente principal de nutrientes en las vías acuáticas costeras de América del Sur, Asia y África. Es posible también que la materia orgánica biodegradable, como las heces, presente en las aguas residuales sin tratar, disminuya los recursos de oxígeno en los cuerpos de agua y contribuya a la degradación de la calidad del agua y al daño ocasionado a la vida acuática.

La promoción de la sostenibilidad ambiental a través de la gestión de las aguas residuales se ha centrado principalmente en los sistemas que operan con agua. Se han invertido menores esfuerzos en investigar impactos más indirectos, tales como los contaminantes que se filtran a los suelos, a partir, por ejemplo, de letrinas de pozo mal ubicadas, y que se transmiten y concentran a través de la cadena de alimentos. Aun cuando más de 1,77 mil millones de personas utilizan letrinas de pozo, las investigaciones realizadas hasta la fecha se han enfocado únicamente en unos pocos indicadores de contaminantes (Graham y Polizzotto et al. 2013). Así mismo, la descarga de desechos al subsuelo puede generar un exceso de nutrientes en las aguas subterráneas, que puede alcanzar niveles tóxicos que afectan la salud de las personas y del ganado cuando se las utiliza como fuente de agua potable. Estas vías de contaminación ambiental exigirán en forma creciente nuevas investigaciones y soluciones de gestión.



Planeación integrada de WASH y manejo de cuencas, Bolivia

La protección ecológica de zonas costeras, lagos y ríos exige coordinar la gestión de las aguas residuales con otros sectores como la agricultura, la silvicultura y la industria. La planeación y gestión de recursos hídricos puede apoyar este tipo de coordinación (Loucks and van Beek 2017). No obstante, en la mayoría de planeación de cuencas no existe una consideración integral del mejoramiento de los servicios o infraestructura WASH (por su sigla en inglés: Water, Sanitation and Hygiene; Agua, Saneamiento e higiene) De forma análoga, en el desarrollo de WASH, la geografía de planeación habitual es la extensión espacial de las comunidades; comienza en el punto de captura del suministro de agua y termina en la descarga de las aguas residuales. La planeación de WASH rara vez incluye toda la cuenca y las dimensiones del ecosistema.

El programa Bolivia WATCH, dirigido por SEI (Instituto Ambiental de Estocolmo), busca cerrar esta brecha facilitando un análisis y una planeación más integradas de WASH y de la gestión de recursos hídricos al nivel de cuenca, en tres cuencas piloto ubicadas en diferentes partes de Bolivia. El programa está desarrollando herramientas y enfoques dirigidos a determinar cómo inversiones específicas de WASH pueden apoyar la protección de recursos hídricos mientras que, a la vez, permiten un suministro más equitativo y resiliente del agua y del saneamiento llegando al nivel de los hogares.

Bolivia WATCH está aplicando herramientas de SEI tanto existentes como nuevas para evaluar las condiciones actuales y futuras, bajo nuevas estrategias WASH y de manejo de cuencas. La herramienta Sistema de Evaluación y Planeación del Agua (WEAP, por sus siglas en inglés: Water Assessment and Planning System) se aplica para simular diferentes estrategias de gestión bajo posibles escenarios futuros (por ejemplo, el cambio climático, la migración, las pandemias). WEAP se vincula a una herramienta de mapeo del valor de recursos (REVAMP, ver la Sección 4.7) y a una nueva herramienta denominada WASH Flows (Flujos WASH), la cual modela los impactos sobre la calidad y la cantidad de agua de una gestión inadecuada del saneamiento y de las aguas residuales en zonas urbanas y rurales. El análisis integrado ha demostrado el potencial de apoyar la toma de decisiones para un desarrollo más resiliente al clima y equitativo, así como para la sostenibilidad a largo plazo y el funcionamiento de los ecosistemas hídricos.

Mapa conceptual de planeación integrada de WASH y cuencas

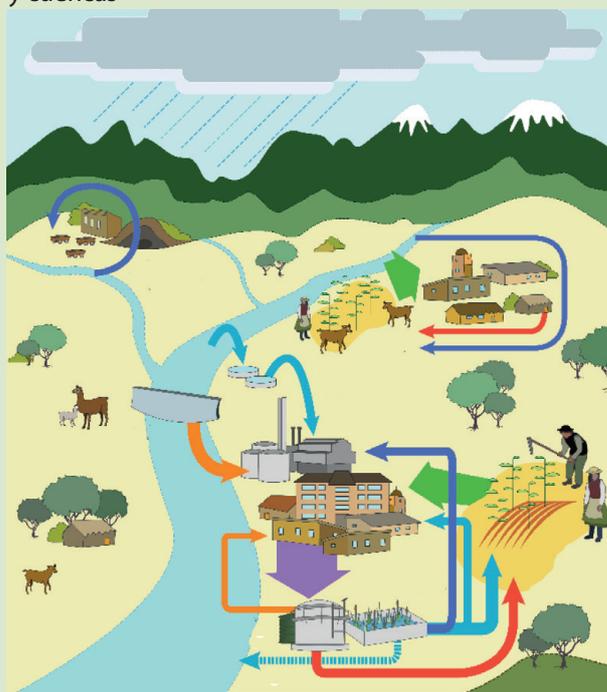


Figura: Stockholm Environment Institute

Leer más: www.sei.org/projects-and-tools/projects/bolivia-watch/

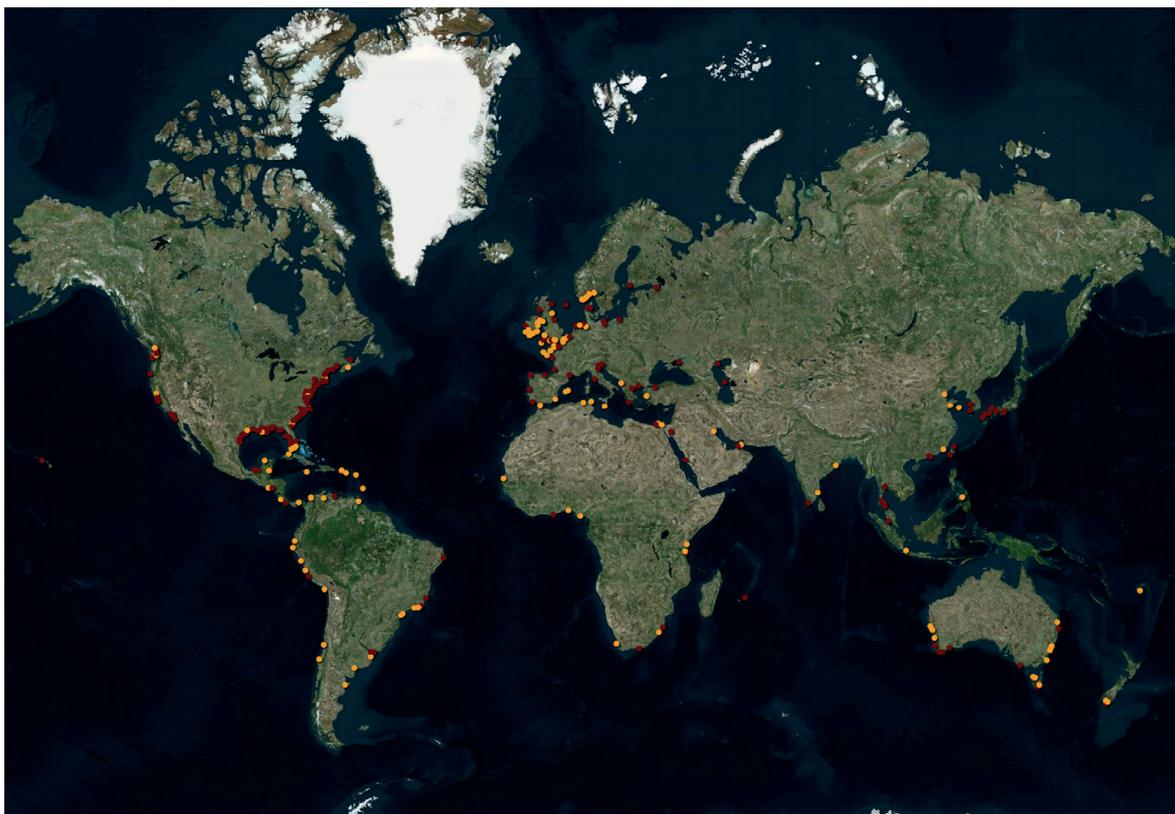


Figura: WRI 2013

Basada en datos publicados entre 1990-2010

Sustancias nocivas

El impacto de las sustancias peligrosas halladas en las aguas residuales sobre los ecosistemas va desde los efectos tóxicos agudos (p. ej. amoníaco que conduce a mortandad de los peces) a impactos a más largo plazo, en el caso de las sustancias que persisten y se acumulan hasta llegar a concentraciones peligrosas (p. ej. compuestos orgánicos tales como hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y plastificadores, o metales pesados tales como mercurio, plomo y cadmio).

Cada vez reciben más atención los contaminantes emergentes, tales como los productos farmacéuticos, los productos para el cuidado personal y los plaguicidas, debido a su impacto potencial negativo sobre las personas y los ecosistemas. Algunos estudios han demostrado que los contaminantes emergentes pueden tener impacto sobre el desarrollo, la reproducción y el comportamiento de los peces y de otras formas de vida acuática (Holeton et al. 2011). Estas sustancias peligrosas tienen impacto principalmente sobre los ecosistemas acuáticos, aun cuando existen también otras vías de transmisión posibles a través del suelo y por

la producción de alimentos a los ecosistemas terrestres cuando se reutilizan los productos de los desechos del saneamiento y de las aguas residuales en tierras agrícolas. El Cuadro 6.3 muestra cómo los compuestos farmacéuticos en las aguas residuales pueden terminar en el medio ambiente. No obstante, es necesario realizar investigaciones ulteriores para mejorar nuestra comprensión de la transmisión y destino de estos diferentes químicos en el medio ambiente (Luo et al. 2014).

Muchas de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes no están en condiciones de eliminar estos contaminantes emergentes ya que no está previsto en su diseño, como lo ilustra un estudio de monitorización de plantas de tratamiento de aguas residuales que es parte del Programa de Investigación de Químicos realizado en el Reino Unido. Este estudio reveló que en más de la mitad de las plantas de tratamiento los efluentes tratados excedían los estándares de calidad para productos químicos, que incluían HAP, cinc y una serie de productos farmacéuticos (Gardner et al. 2012).

Productos farmacéuticos en las aguas residuales

Las excreciones acumulativas de antibióticos, analgésicos, hormonas y antiinflamatorios en los sistemas municipales de aguas residuales pueden representar importantes riesgos para el ambiente. Aun cuando comprender el alcance total de su posible impacto sobre la salud humana y el medio ambiente exige ulteriores investigaciones, ha habido una importante reacción a estas inquietudes entre el público, lo cual presenta un reto para las autoridades municipales responsables del tratamiento de los alcantarillados domésticos. A semejanza de los niveles traza de radioactividad, es necesario tener en cuenta la respuesta del público a la identificación de compuestos farmacéuticos en el agua potable, incluso cuando se identifican a niveles nano y picogramo por litro. Las formas como llegan estos compuestos al medio ambiente se ilustran en la figura siguiente.



Vías de llegada de compuestos farmacéuticos al medio ambiente

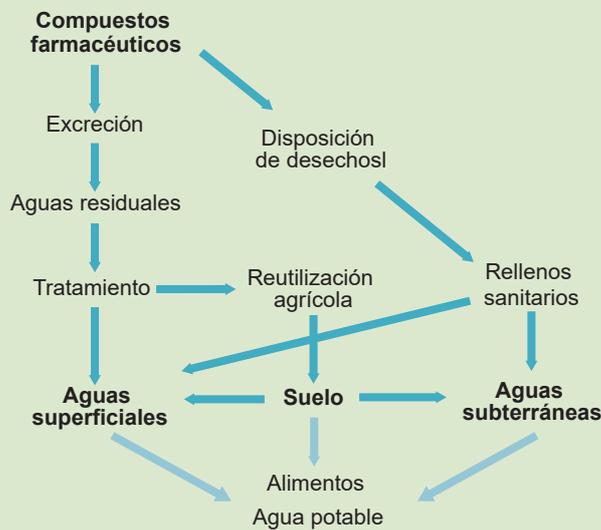


Figura: Adaptada de Ternes 1998

6.2 Respuestas de protección

Respuestas tecnológicas

Los enfoques tecnológicos adoptados para reducir los riesgos ambientales provenientes de las aguas residuales y de las excretas son de dos clases: tratamientos preventivos y de fin de tubo. Para la reducción de distintas sustancias problemáticas resulta más eficaz utilizar diferentes procesos o combinaciones de ellos. Cada vez que aparecen nuevos contaminantes se requieren nuevas tecnologías e inversiones y a medida que cambian los patrones de producción y de consumo, el tratamiento de las aguas residuales y las respuestas a la protección del ambiente se deben poder adaptar a estas nuevas situaciones (Thomaidi et al. 2015). Todas

las tecnologías descritas en los estudios de caso presentados en el Capítulo 9 están diseñadas, al menos en parte, teniendo presente la protección ambiental.

La mejor combinación de los pasos de tratamiento que se deben incluir en un sistema de gestión de aguas residuales está determinada por las características (actuales y proyectadas) de las aguas residuales, las sustancias (y patógenos) que es necesario eliminar y las características y sensibilidad de los ecosistemas circundantes. Es preciso también encontrar un balance entre la eficacia del tratamiento y sus costos operativos, los requisitos energéticos de los procesos de tratamiento, la creación de subproductos peligrosos y los residuos concentrados que luego se deben manejar de manera segura (Luo et



La industria de la pulpa y el papel: de molinos sucios a biorrefinerías

La producción industrial de pulpa y de papel se ha asociado desde hace mucho tiempo con graves impactos sobre los ecosistemas acuáticos aguas abajo debido a los compuestos tóxicos presentes en los efluentes, principalmente los blanqueadores. Sin embargo, desde la década de 1970, en muchos lugares del mundo la industria de la pulpa y el papel ha reducido de manera significativa los volúmenes de aguas residuales, el total de sólidos suspendidos y los valores de DBO. En los Estados Unidos, por ejemplo, entre 1975 y 2010, la cantidad de la descarga de material orgánico disuelto que puede contribuir a la reducción de oxígeno (es decir, la demanda bioquímica de oxígeno) en el flujo receptor se redujo en un 88 % (ver la figura siguiente). Las nuevas tecnologías introducen en la actualidad procesos de blanqueamiento y digestión más limpios que ahorran materias primas y reducen los flujos de desechos y los efluentes tóxicos. Además, se están estableciendo biorrefinerías que producen biocombustibles respetuosos con el clima, capaces de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de esta industria (Isaksson 2015).

Reducciones en la descarga de efluentes en molinos de pulpa y papel en Estados Unidos (1975–2010)

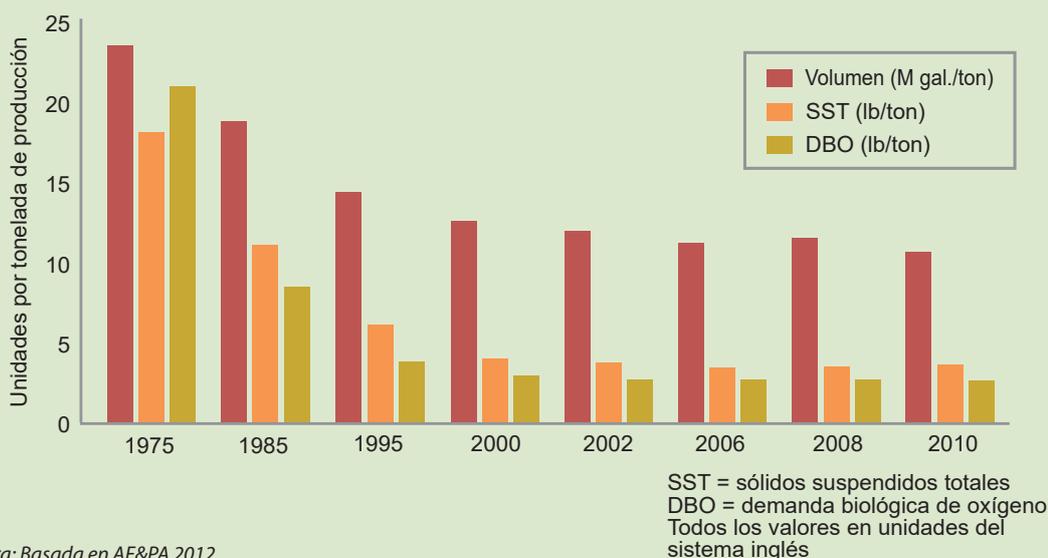


Figura: Basada en AF&PA 2012

al. 2014). Un enfoque basado en la evaluación del ciclo de vida resulta útil para determinar si los beneficios ambientales de un tratamiento en particular o de un tipo de recuperación de recursos exceden en realidad los costos ambientales (ver p. ej. Gallego et al. 2008).

Además de los tratamientos de fin de tubo, es posible implementar un control de contaminantes aguas arriba en los hogares o industrias (que incluye, por ejemplo, el reemplazo de sustancias peligrosas, la reutilización y el reciclaje en el sitio y la

modificación de los procesos). El Cuadro 6.4 describe el impacto potencial que pueden tener estrategias de producción más limpias sobre las emisiones industriales.

La monitorización ambiental es una herramienta importante para hacer el seguimiento del progreso en la gestión de las aguas residuales y en la eficacia de las medidas de tratamiento. Por ejemplo, algunos compuestos farmacéuticos que permanecen en las aguas superficiales se pueden considerar como indicadores de contaminación de las aguas residuales. Recientes avances

en las técnicas analíticas han hecho posible detectar incluso niveles traza de contaminantes (Richardson y Kimura 2016).

Mecanismos de reglamentación

Con frecuencia, las herramientas para una implementación eficaz de las estrategias de gestión de riesgos incluyen una serie de marcos reglamentarios. Un ejemplo de estos es el sistema estadounidense, basado en la Ley de Agua Limpia de 1972. Este sistema incluye criterios de calidad del agua para el tratamiento de aguas residuales, la emisión de permisos de descarga para las industrias y reglamentaciones sobre los efluentes.

Definir qué sustancias deben ser reglamentadas es un proceso continuo, dado el surgimiento constante de nuevos compuestos y materiales y la incertidumbre sobre su posible impacto a corto y a largo plazo. La Unión Europea ha elegido responder a este desafío con la reglamentación denominada Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Químicos (REACH), la cual exige a las compañías identificar y gestionar los riesgos relacionados con los químicos que producen (si son usados en Europa) y demostrar cómo se pueden utilizar de manera segura. Las autoridades de los Estados miembro de la UE son responsables de hacer cumplir REACH y tienen la facultad para restringir el uso de sustancias peligrosas (ver echa.europa.eu/regulations/reach).

Comprender el tipo de actividades que generan aguas residuales es crucial para identificar las estrategias adecuadas para proteger el medio ambiente. Con frecuencia, algunas actividades industriales y comerciales tales como la minería, la producción de pulpa y papel, la producción farmacéutica, las curtiembres y el procesamiento de alimentos producen descargas complejas. Muchos países imponen reglamentaciones a este tipo de actividades y exigen a las compañías el tratamiento de los efluentes antes de que sean descargados en los flujos combinados de aguas residuales. Esto resulta especialmente rentable cuando el efluente contiene sustancias que de otra manera no entrarían al flujo de aguas residuales, ya que aplicar el tratamiento necesario al volumen total de aguas residuales combinadas no tendría sentido. Por otra parte, muchos de los métodos para el tratamiento de aguas residuales (y métodos para la reutilización de recursos) utilizan procesos biológicos que se pueden ver afectados negativamente por los compuestos tóxicos.

En muchos países, las reglamentaciones o directrices para la gestión ambiental dentro de los sistemas para el saneamiento son

inadecuadas o inexistentes. En particular, muchos países carecen de directrices o reglamentaciones específicas para la reutilización agrícola de las aguas residuales. En estos casos, las directrices de la OMS (WHO 2006) proponen un enfoque flexible para la evaluación y gestión de riesgos, vinculado a objetivos basados en la salud (ver la Sección 5.4 y Amponsah et al. 2015).

Respuestas comportamentales

Las intervenciones sobre el comportamiento, como las campañas de concientización dirigidas a los hogares para promover la eliminación segura de diversos productos, pueden contribuir también significativamente a la protección del medio ambiente (Malmqvist y Palmqvist 2005). Si bien los hogares individuales contribuyen a una gama menor de compuestos potencialmente tóxicos, algunos de ellos se pueden evitar con facilidad mediante intervenciones comportamentales y ofreciendo alternativas para la eliminación de desechos peligrosos, tales como sitios donde se pueden desechar residuos de pintura. Por ejemplo, para evitar un contenido elevado de metales pesados en las aguas residuales se han implementado campañas de concientización para impedir que el polvo doméstico se elimine en los sanitarios (Kim y Ferguson 1993). Suecia consiguió reducir a la mitad el nivel de contaminación por metales pesados en las aguas residuales entre 2000 y 2013 gracias a la adopción de una serie de medidas aguas arriba, de las cuales muy pocas incluían tratamiento (Finsson 2013).

Por lo general, la protección ambiental no es la primera prioridad en el diseño de los sistemas de saneamiento in situ ni en las medidas para eliminar los lodos de los sistemas de tratamiento, pero es importante crear conciencia de los desafíos asociados con ellos para propiciar comportamientos más sostenibles.

6.3 Recuperación y reutilización como impulsores de la protección ambiental

La recuperación y la reutilización de los recursos pueden desempeñar un papel importante en dar respuesta a las inquietudes ambientales relacionadas con las aguas residuales. La contaminación se debe mantener en niveles que sean lo suficientemente seguros para el tipo de reutilización o recuperación proyectado. Incluso pequeñas cantidades de sustancias tóxicas en la escala que se produce habitualmente en los hogares pueden hacer que el agua y los lodos



REVAQ: certificación de plantas de tratamiento de aguas residuales en Suecia

REVAQ es un sistema único dirigido a apoyar las medidas adoptadas por empresas de tratamiento de aguas residuales para reducir los flujos de sustancias peligrosas a las plantas de tratamiento, con el fin de lograr una reutilización sostenible. REVAQ es operada por la Asociación Sueca del Agua y las Aguas Residuales, la Federación de Agricultores Suecos (LRF), la Federación Sueca de Alimentos y la Federación Sueca de Minoristas de Alimentos, en estrecha cooperación con la Agencia Sueca de Protección Ambiental.

REVAQ fue inaugurada en 2008 y, para 2013, cerca de la mitad de la población de Suecia estaba conectada a una planta de tratamiento de aguas residuales certificada por REVAQ y la proporción crecía cada vez más. En 2013, los lodos certificados por REVAQ contenían casi 3.000 toneladas métricas de fósforo, de las cuales 1.300 toneladas se utilizaron en la agricultura. Se ha calculado que si la totalidad de la población de Suecia estuviera conectada a una planta certificada y mejorara la aceptación de la reutilización agrícola, los lodos podrían reemplazar el 50 % de los fertilizantes minerales de fósforo usados en Suecia actualmente.

Las plantas de tratamiento pueden obtener la certificación REVAQ después de una auditoría realizada por un tercero con base en cuatro criterios: un programa de trabajo estructurado para mejorar la calidad, actividades aguas arriba para reducir la contaminación de los flujos de aguas residuales, transparencia sobre la calidad y los procesos de tratamiento, y calidad de los lodos producidos.

Fuente: Persson et al. 2015

no sean aptos para su reutilización, pues pueden generar riesgos inadmisibles para la salud y el medio ambiente y también reducir el valor de los recursos recuperados y la eficiencia de los procesos biológicos, tales como la producción de biogás o de proteína de insectos (ver los estudios de caso en las secciones 9.5 y 9.6). Al mismo tiempo, es posible que las aguas residuales tratadas aún contengan sales, metales pesados, productos farmacéuticos y otras sustancias que se acumulan en los suelos si se los usa para irrigación. Por lo tanto, es preciso gestionar, planear y monitorizar diferentes escenarios de reutilización (US EPA 2012a).

Las plantas de tratamiento del alcantarillado que esperan vender productos generados por la reutilización, en especial el agua tratada y los fertilizantes agrícolas a base de lodos, tienen el fuerte incentivo de impedir que las sustancias dañinas lleguen a las plantas en primer lugar, y es posible que incluyan una serie de medidas aguas

arriba como parte de sus operaciones. El sistema sueco REVAQ, único en su clase, promueve estas actividades certificando plantas de tratamiento de alcantarillado que produzcan lodos apropiados para la reutilización agrícola (ver el Cuadro 6.5).

Desde la perspectiva de la gestión de nutrientes y de la protección ambiental, la reutilización de lodos en la agricultura (o en la silvicultura) es, por lo general, una solución beneficiosa para todos, pues los nutrientes se utilizan para impulsar la productividad en lugar de descargarse en el medio ambiente, donde causan eutroficación. Sin embargo, como sucede con el uso de cualquier fertilizante, una gestión deficiente y una aplicación excesiva pueden llevar a una escorrentía peligrosa para el ambiente.

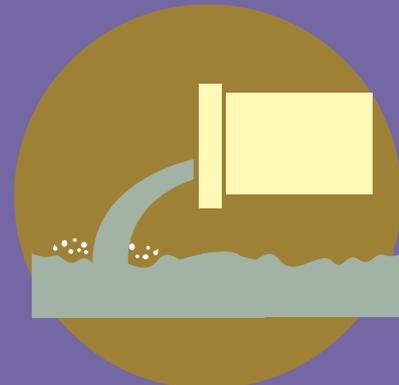
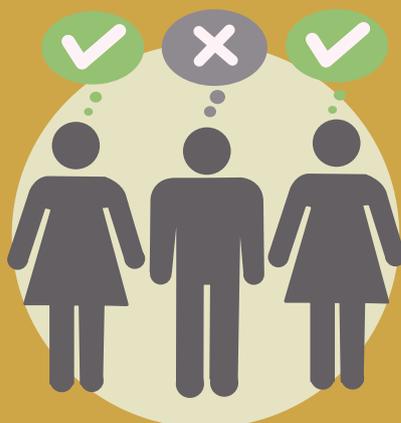
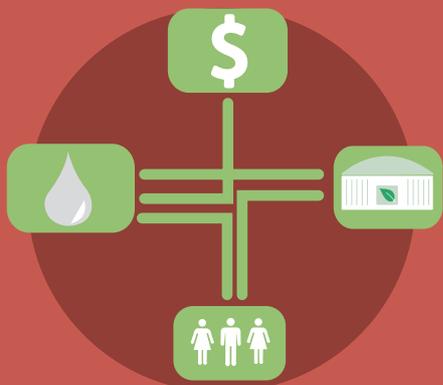
Finalmente, es importante tener en cuenta los aspectos ambientales cuando se consideran las posibles compensaciones y las diferentes opciones de reutilización en un contexto determinado. Es

posible que en algunas zonas resulte mejor utilizar las aguas residuales para recargar los acuíferos y suministrar una barrera costera contra la intrusión del agua salada (El Ayni et al. 2011), o bien irrigar cultivos no alimentarios en lugar de tratarlas hasta alcanzar los estándares requeridos para su reutilización como agua potable o para irrigar cultivos alimentarios. Análogamente, el aporte de energía necesario para alcanzar estos estándares puede llevar a niveles inaceptablemente altos de emisiones de gases de efecto invernadero. Como alternativa, las aguas residuales se pueden reutilizar para irrigar cultivos no alimentarios (p. ej. bosques energéticos).

MENSAJES CLAVE

- Los ecosistemas que reciben el impacto de la descarga de aguas residuales y excretas humanas sin tratar tienen una menor capacidad para ofrecer un número importante de servicios de los que dependen los seres humanos.
- Las opciones para impedir la descarga de sustancias nocivas para el medio ambiente incluyen tanto tratamientos de fin de tubo como una serie de medidas tecnológicas, comportamentales y reglamentarias rentables que impiden incluso que tales sustancias lleguen a los flujos de desechos.
- La gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales puede desempeñar un papel crucial al limitar la descarga de contaminantes nocivos, patógenos y nutrientes, en especial el nitrógeno y el fósforo, en los ecosistemas acuáticos.
- La recuperación y la reutilización de los recursos pueden ofrecer incentivos —así como fuentes de financiamiento— para impedir que contaminantes dañinos para el medio ambiente se encuentren en los desechos tratados.

7. ASPECTOS INSTITUCIONALES Y SOCIALES DE LA SOSTENIBILIDAD



7.1 Sistemas de gobernanza para la recuperación y la reutilización de los recursos

Incluso el sistema técnico mejor diseñado para la gestión del saneamiento y de las aguas residuales no puede ser realmente sostenible a menos que todas las responsabilidades de prestación del servicio y de gestión del sistema estén asignadas con claridad, y que los actores sean conscientes de sus responsabilidades y estén dispuestos a cumplir con ellas y tengan la capacidad necesaria.

Este es un problema aún mayor en los sistemas de gestión del saneamiento y las aguas residuales dirigidos a la recuperación de los recursos, pues involucran una variedad aún más grande de actores que los sistemas convencionales, y muchos de estos actores no cuentan con una experiencia previa en el sector. La complejidad adicional de vincular nuevos sectores y partes interesadas mientras se aumentan las exigencias en cuanto a la calidad del servicio requiere más que la gobernanza y las disposiciones institucionales convencionales.

En este capítulo se exponen los retos especiales, institucionales y sociales, que enfrenta un sistema diseñado para la gestión segura y eficiente de los recursos, que incluye su recuperación y reutilización. Se destacan los roles y responsabilidades de gestión y se ofrecen ejemplos de soluciones comprobadas —tanto formales como informales— para las instituciones que posibilitan la reutilización de los recursos.

El sistema de gobernanza para la gestión convencional de las aguas residuales ya es complejo, pues involucra varios sectores con diferentes áreas de interés; la descarga de agua, por ejemplo, está reglamentada por un departamento, y la salud y la seguridad por otro. Agregar la recuperación de recursos puede introducir componentes y actores adicionales al sistema. La reutilización agrícola, por ejemplo, afecta directamente a los agricultores, así como a los consumidores y a los comerciantes de productos que utilizan recursos recuperados. Por lo tanto, es de particular importancia comprender las interacciones entre los principales componentes del sistema de gobernanza.

Los análisis de los usuarios y del bien público utilizan una terminología común cuando estudian estas interacciones. Una distinción importante, desde la perspectiva de la gobernanza, es aquella entre el “ámbito” público y el privado, que refleja si los intereses afectados más directamente en diferentes etapas del proceso son bienes públicos (salud pública, ambientes sanos) o privados (los intereses de los diferentes tipos de usuarios y consumidores); y, vinculado con esto, determinar dónde reside la responsabilidad principal para el adecuado funcionamiento de los ámbitos respectivos. Debe señalarse también que, en un contexto rural, la totalidad de la cadena, que incluye tanto el ámbito público como el privado, puede ser completamente in situ (ver el Cuadro 7.1).

Una distinción semejante es necesariamente imperfecta. El ámbito privado, por ejemplo, debe

seguir sujeto a la reglamentación y al apoyo del sector público, mientras que en el ámbito público los servicios los prestan con frecuencia contratistas privados. Si bien la interfaz del usuario se encuentra por lo general en el ámbito privado, los inodoros públicos son un ejemplo de una interfaz del usuario en el ámbito público. No obstante, la división entre el ámbito público y el privado es un punto de partida útil para exponer los aspectos institucionales y sociales de los sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales.

El ámbito del usuario privado

El *ámbito del usuario privado* en los sistemas de saneamiento incluye aquellas partes de la cadena del servicio con las que tienen contacto directo los usuarios, y que cubren, por lo general, la interfaz del usuario y la recolección y transporte fuera del entorno inmediato del hogar. Las principales funciones dentro del ámbito del usuario privado son la contención de los

desechos y otras funciones dirigidas a proteger la salud y ofrecer comodidad. Para los sistemas in situ, funciones tales como el tratamiento y la posterior reutilización o disposición de los recursos en el medio ambiente puede encontrarse dentro del ámbito del usuario privado (sujeto a reglamentación pública), mientras que, para las instalaciones de saneamiento institucionales y públicas, aunque los problemas de funcionalidad pueden ser análogos a los de las instalaciones domésticas, su propiedad y responsabilidad serán diferentes. En general, el usuario individual (p. ej. el hogar o una compañía privada) es responsable del funcionamiento de los componentes del sistema (a menudo según estándares mínimos regulados), lo cual significa que, en la mayor parte de los casos, las inversiones iniciales y los costos de operación de estos componentes son responsabilidad del usuario. No obstante, hay situaciones en las que las empresas de servicios públicos gestionan los sistemas individuales para los hogares y los usuarios pagan tarifas mensuales por recibir el servicio.

CUADRO 7.1

Ámbitos privado y público en los sistemas rurales y periurbanos

Los límites y funciones de los ámbitos privado y público varían entre los contextos rurales (y periurbanos) y urbanos. Mientras que las zonas urbanas cuentan por lo general con sistemas centralizados de tubería para las aguas residuales, muchos de los residentes rurales y periurbanos dependen de sistemas in situ o de pequeños sistemas descentralizados. Esto significa que las excretas se almacenan en su propiedad, al menos transitoriamente. Algunos sistemas rurales pueden ser completamente individuales; por ejemplo, en las viviendas se cava un nuevo hoyo cuando el anterior está lleno, o se utilizan inodoros de compostaje y almacenamiento de orina, con reutilización directa en sus propias tierras. Sin embargo, los usuarios privados dependen con mayor frecuencia de servicios externos, por ejemplo, para el vaciado de letrinas de pozo y tanques sépticos con el fin de mantener su funcionalidad. Estos servicios se deberían considerar como parte del ámbito público, debido a que una funcionalidad deficiente puede afectar la salud pública y el medio ambiente.

Uno de los problemas frecuentes es la carencia de servicios de vaciado formales. Esto significa que esta funcionalidad depende del conocimiento, capacidad y comportamiento responsable de los habitantes de la vivienda y/o de un vaciador informal. Con excesiva frecuencia se permite que las letrinas se desborden, o bien se descargan al medio ambiente los lodos sin tratar. En general, en el ámbito público se debe prestar más atención a la funcionalidad de los sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales en las zonas rurales y periurbanas. Esto exige que los gobiernos asuman su responsabilidad y establezcan un marco de gobernanza adecuado.





Un hombre pescando en aguas contaminadas con aguas residuales en el cruce de los ríos Wei y Zao. Foto: Reuters / Stringer

El ámbito público

La gestión de los flujos de desechos por fuera del hogar —principalmente el traslado/transporte a una instalación de tratamiento y disposición— se considera pertinente al ámbito público (ver Valfrey-Visser y Schaub-Jones 2008). Con frecuencia, la funcionalidad del ámbito público es responsabilidad del gobierno local, aun cuando este puede contratar compañías de servicios privados o asociarse con ellas. Una funcionalidad deficiente en este ámbito puede afectar los bienes públicos y a la población en general, por ejemplo, a causa de la degradación del medio ambiente y de los servicios de los ecosistemas, o bien por crear altos riesgos para la salud pública —en especial en contextos urbanos.

La recuperación y la reutilización de los recursos pueden encontrarse también dentro del ámbito público, por ejemplo, en el caso del reciclaje y la reutilización del agua, y en la generación de energía basada en excretas, cuando se usan para alimentar las redes públicas. Esto sucede también en el caso de recursos que se utilizan para reestablecer los servicios de los ecosistemas dentro de áreas públicas.

El ámbito del reutilizador privado

Finalmente, dependiendo de la naturaleza de la recuperación de los recursos, es posible que los productos tratados provenientes del ámbito público se trasladen al ámbito del reutilizador privado en la cadena de prestación de servicios. Esto sucede, por ejemplo, cuando los nutrientes,

la materia orgánica y el agua recuperados se aplican a tierras agrícolas privadas. Algunos productos vinculados a la reutilización de los recursos, tales como alimentos, combustible o agua tratada, regresan también al ámbito privado del usuario cuando son comprados (y consumidos) por individuos. A menudo, la adquisición de los productos recuperados se da en el ámbito público; por ejemplo, la distribución de agua recuperada que compran los hogares.

Al igual que la funcionalidad en el ámbito del usuario privado, también es necesario reglamentar las actividades que se realizan en el ámbito del reutilizador privado; estas también deben contar con el apoyo de las entidades públicas, con el fin de proteger la salud pública, el medio ambiente y los derechos de los consumidores. Es necesario reglamentar, por ejemplo, los procedimientos para aplicar aguas residuales tratadas de diferente calidad a tierras agrícolas o a espacios verdes urbanos, para proteger tanto a los agricultores como a las comunidades circundantes. Un poco más lejos en la cadena, es necesario hacer seguimiento y dar a conocer los estándares de higiene relativos a la venta y consumo de los productos agrícolas resultantes.

7.2 Gobierno del ámbito privado del usuario

Lograr la funcionalidad en el ámbito privado del usuario es uno de los problemas de gestión críticos y de más difícil solución en todo el sistema de gestión del saneamiento y de las aguas residuales.

Aunque por lo general los actores privados tienen el sentido de propiedad y de responsabilidad de mantener tanto la interfaz del usuario como parte del sistema de recolección dentro de su predio, con frecuencia no comprenden su papel dentro del sistema más amplio de la gestión de las aguas residuales. Además, a menudo son los mismos usuarios quienes eligen y compran la infraestructura técnica dentro del ámbito privado. Sin embargo, la elección y el uso de la tecnología dentro del ámbito privado tienen un impacto directo sobre la gestión en el ámbito público,

pues solo ofrecen beneficios las instalaciones que se usan, limpian y reciben mantenimiento con regularidad.

Por lo tanto, es necesario comunicar estrategias que permitan un entendimiento mutuo de las necesidades del usuario y de la funcionalidad del sistema dentro de ambos ámbitos. Quienes reglamentan, los proveedores del servicio y otras personas encargadas de definir los requisitos generales para el diseño del sistema en el ámbito privado del usuario, deben tener en cuenta los

CUADRO 7.2

Transmisión del mensaje correcto: reutilización de la orina en Níger



Un proyecto dirigido a aumentar el acceso de los pequeños agricultores a los fertilizantes en la Nigeria rural ilustra el poder de usar el mensaje correcto para motivar un cambio de comportamiento. Antes de iniciar el proyecto, muchos creían que sería difícil convencer a la población de que utilizara como fertilizante la orina tratada, debido a la existencia de tabús religiosos y culturales. Sin embargo, gracias a un trabajo cercano con líderes religiosos, grupos de mujeres y asistentes agrícolas, el proyecto descubrió que cambiar el comportamiento — implementar la recolección y la reutilización de la orina en los hogares— resultaba más fácil de lo esperado. El proyecto usó una metodología para la promoción del saneamiento y de la higiene TPHS (Transformación participativa de la higiene y el saneamiento) —SARAR (autoestima, fortaleza asociativa, recursividad, planeación de la acción, responsabilidad) (ver WaterAid 2013), adaptada para comunicar el valor fertilizante de las excretas humanas tratadas, junto con pruebas de cultivo con fertilizantes de orina e intercambio entre las aldeas.

La principal barrera que debieron superar fueron las creencias islámicas locales que prohíben manipular la orina, así como la preferencia de los hombres por orinar en cuclillas. La solución consistió en recolectar la orina en jarras cerradas y aplicarla en los campos utilizando guantes, evitando así todo contacto con la orina. Se animó a las familias a poner las jarras en hoyos, permitiendo así la posición de orinar en cuclillas.

Las mujeres mostraron una actitud especialmente positiva frente a la nueva técnica, pues reducía en gran medida los olores en la vivienda (anteriormente, la familia orinaba en la ducha, que descargaba a la calle). Desde una perspectiva agrícola, no resultó difícil convencer a los agricultores de los beneficios de usar la orina como fertilizante. Ya se sabía que los campos más cercanos a la aldea (donde defecaban a menudo los habitantes locales) eran más productivos. El aumento en la producción, que se demostró en las pruebas en cultivos que utilizaron orina durante el proyecto contribuyó también a convencer a los habitantes. En una zona relativamente pobre, el mensaje de que los agricultores podían producir su propio fertilizante a un precio mínimo resultó ser un mensaje muy poderoso.

El proyecto fue implementado por CREPA (ahora Agua y Saneamiento África; WSA) en estrecha colaboración con Stockholm Environment Institute y la organización local Proyecto para la Promoción de Iniciativas Locales para el Desarrollo en Aguié (PPILDA) (*Project for the Promotion of Local Initiatives for Development*).

Fuente: Dagerskog 2010

aspectos sociales (tales como las prácticas y preferencias de higiene, facilidad de aseo, asuntos relacionados con la higiene menstrual) con el fin de garantizar la funcionalidad de la totalidad de la cadena de prestación del servicio y, de manera especial, allí donde uno de los objetivos es la recuperación de los recursos. En particular, la separación en la fuente depende del diseño, funcionamiento y utilización correctos de los componentes en el ámbito privado del usuario. Por consiguiente, es necesario que los usuarios sean conscientes de su uso apropiado, estén dispuestos a seguir instrucciones para hacerlo y tengan la capacidad correspondiente evitando, por ejemplo, el exceso de agua en los sistemas secos y la descarga de productos químicos o desechos peligrosos en el inodoro.

En el ámbito privado del usuario, es necesario atender tres aspectos clave para conseguir una reutilización funcional de los recursos: crear incentivos para el uso adecuado de una instalación sanitaria con reutilización; soluciones técnicas que faciliten su uso, operación y mantenimiento apropiados; y una comunicación eficaz con los usuarios para crear conciencia y sentido de pertenencia y, cuando sea necesario, efectuar cambios de comportamiento.

Promover comportamientos que faciliten la reutilización de los recursos en el ámbito privado del usuario

Para facilitar la recuperación de los recursos en la gestión del saneamiento y de las aguas residuales, el sistema de gobernanza debe crear un ambiente que genere capacidad. Un paso inicial consiste en identificar las principales motivaciones de los

usuarios para invertir en un tipo específico de interfaz, y luego utilizarla. Para las instalaciones de saneamiento domésticas, algunos estudios muestran que los usuarios generalmente desean una interacción con su sistema que sea conveniente, cómoda, limpia y digna (Cairncross 2004; Jenkins y Curtis 2005; Jenkins y Scott 2007). Otros factores adicionales pueden incluir requisitos legales, la mejora de la condición del hogar, los subsidios disponibles y la protección de la salud y del medio ambiente.

Puede resultar difícil motivar a los usuarios para que instalen y usen correctamente un sistema orientado a la reutilización de los recursos, en especial si su diseño es diferente del sistema al que están acostumbrados, o si implica costos adicionales, pagos regulares o mantenimiento adicional. Es necesario implementar estrategias y estructuras de gestión para comunicar a los usuarios individuales los beneficios de la reutilización, así como garantizar que estén dispuestos a pagar y a usar los sistemas apropiadamente (ver en el Cuadro 7.2 un proyecto exitoso en este sentido).

Es posible que la creación de una “disposición a pagar” por parte de usuarios privados incluya motivaciones económicas o ideológicas. En algunos casos, los beneficios económicos se pueden experimentar directamente en el ámbito privado, por ejemplo, la producción doméstica de biogás, así como la de fertilizantes para los huertos o la agricultura, o bien la reutilización del agua. No obstante, en especial en las zonas urbanas, es posible que los usuarios no perciban los beneficios de manera directa. En tales casos, puede ser aconsejable redistribuir las utilidades netas del sistema, por ejemplo, mediante una reducción en las tarifas del servicio



Planta descentralizada para tratamiento de aguas residuales de un hospital, Thanh Hóa, Vietnam. Fotografía: Flickr /frapoberlin

o devoluciones de impuestos. En algunos casos, puede usarse también la reglamentación para generar incentivos económicos. En Suecia, para citar un caso, la reglamentación sobre descargas al medio ambiente prohíbe construir casas con tecnologías tradicionales para el tratamiento in situ de las aguas residuales en zonas sensibles ambientalmente. Es posible, sin embargo, obtener licencias de construcción para determinados sistemas de recuperación de recursos, de manera que los propietarios de tierras puedan mejorar sus viviendas o construir nuevas casas en donde de otra manera no habrían podido hacerlo (ver el estudio de caso en la sección 9.4).

Las motivaciones ideológicas están dirigidas a que los usuarios sientan satisfacción personal cuando instalan, usan y mantienen adecuadamente su sistema. Esto puede vincularse, por ejemplo, al deseo de proteger el medio ambiente local, proteger la salud de los niños o reducir los impactos climáticos. Cada vez con mayor frecuencia, la gente es consciente de que sus elecciones importan, y es posible que esté dispuesta a cambiar sus hábitos de consumo cuando sienten que esto hará una diferencia positiva.

Desde luego, la recuperación de recursos puede ser un poderoso incentivo para los usuarios que poseen una elevada conciencia ambiental. Sin embargo, también es posible que motive a otros usuarios. Un estudio realizado en Suecia (Wallin 2014) mostró que el deseo de aumentar las

ganancias personales era el mayor incentivo para la reutilización de los recursos, seguido por aspectos sobre la equidad (por ejemplo, en la distribución de los costos y los beneficios). Aun cuando las motivaciones ambientales se encontraban después de estas, también eran importantes para los usuarios. Por lo tanto, si todos los otros factores son iguales, la motivación ambiental puede contribuir a modificar el comportamiento de los usuarios.

Los mecanismos para la comunicación en ambos sentidos con los usuarios son cruciales para el éxito de los incentivos ideológicos. En particular, es importante comunicar resultados: es decir, mostrar a los usuarios que sus desechos realmente se están reutilizando.

Diseño orientado al usuario

Únicamente ofrecen beneficios aquellas instalaciones que se utilizan adecuadamente, se asean con regularidad y reciben un mantenimiento general. Debemos recordar que el incentivo clave en el ámbito privado es una experiencia personal positiva, en especial con el inodoro. Nadie quiere utilizar un inodoro sucio, que huele mal, sin importar cuánto fertilizante produzca, ni qué tan estricta sea la reglamentación. El inodoro, como otras partes de las instalaciones de saneamiento tales como la ducha y el lavamanos, se debe poder usar y limpiar con facilidad. Si un aseo rutinario resulta difícil, se corre el riesgo de que no se limpie y pronto deje de ser funcional.

फायदेमंद स्वच्छता एवं शौचालय परियोजना - फ० थम्भारण
 संचालन: वाटर एक्शन एवं मेघ पाईन अभियान का संयुक्त प्रयास
 सहयोग: GEI - स्वीडन, WASH इंस्टीट्यूट - भारत

फायदेमंद शौचालय चक्र

फसल उगाना → स्नाना → मल त्याग करना → खाद डालो → फसल उगाना

फायदेमंद शौचालय निर्माण खर्च एवं सहयोग राशिका विवरण

	परण-I (नीव)	परण-II (स्ट्रक्चर)	परण-III (सुपर स्ट्रक्चर)	कुल राशि
1. लाभार्थी परिवार-	3179.00	1236.00	5759.00	10174.00
2. वाटर एक्शन एवं- PHED	---	6370.00	917.00	7287.00

Un aviso informativo para apoyar un proyecto de saneamiento sostenible en Bihar, India. Foto: Kim Andersson

Los inodoros secos y aquellos que hacen la separación en la fuente son especialmente sensibles a problemas de limpieza, puesto que el exceso de agua usada para el aseo puede crear problemas como fuertes olores en los recolectores fecales secos, o una orina diluida con menor valor fertilizante. Durante el diseño y prueba de nuevos inodoros se recomienda de manera especial consultar con los usuarios, en especial con las mujeres, quienes tradicionalmente han sido las responsables del aseo doméstico. En casos en los que se requieran métodos especiales de limpieza, estos se deben comunicar con claridad a los usuarios. En el caso de inodoros públicos e institucionales, es evidente que se requiere la participación de aseadores y conserjes.

La interfaz del usuario debería ser adecuada para ambos sexos y adaptarse a ciertas normas y preferencias culturales; por ejemplo, ponerse en cuclillas o sentarse, o limpiarse o lavarse, en el caso de la higiene anal. La instalación se debería diseñar también de manera que resulte fácil usarla apropiadamente. Si el sistema requiere separación en la fuente, en lo posible se debe hacer en el inodoro mismo, sin necesidad de una acción manual por parte de los usuarios. Al diseñar las instalaciones, deben tenerse en cuenta la iluminación, las puertas y cerraduras, para reducir el riesgo de violencia contra los usuarios.

Un problema adicional para las mujeres es qué tan adecuadas son la interfaz y las instalaciones para el manejo de la higiene menstrual (ver el Cuadro 7.3). Por ejemplo, se necesitarán formas de almacenar o desechar de forma segura las toallas/almohadillas reutilizables o los productos sanitarios desechables, de manera que esto no interfiera con el correcto funcionamiento del sistema. Cuando no se ofrecen estas facilidades es posible que las mujeres no usen las instalaciones donde están los inodoros en absoluto, o que cuando desechen estos materiales higiénicos en el inodoro se presenten obstrucciones que causen que los hoyos/tanques se llenen con rapidez y dificulten la recuperación de recursos (House et al. 2012). Por otra parte, si las almohadillas se desechan por fuera del inodoro, pero no se envuelven adecuadamente, pueden diseminar patógenos. Este es un problema que afecta en particular a los inodoros públicos. No obstante, es posible que se requieran también campañas de información para sensibilizar a los hogares acerca de la disposición apropiada de los productos higiénicos.

La disponibilidad del agua para limpiar el material reutilizable, así como la manera como se elimina esta agua, son factores que se deberían tener en cuenta en el diseño del sistema.

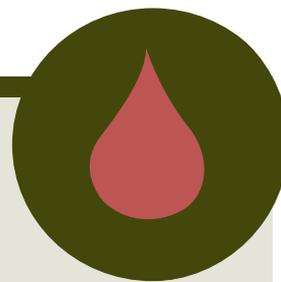
Cambio de comportamiento y de actitudes

En los casos en donde no se cuente con instalaciones privadas, o que estas no se utilicen correctamente, es probable que sea necesario crear conciencia y, a la vez, provocar un cambio de comportamiento. Existen una serie de herramientas exitosas para promover el uso del saneamiento. En particular, el Saneamiento Total Liderado por la Comunidad (SANTOLIC) se ha utilizado para suspender las prácticas de defecación al aire libre (Kar y Chambers 2008); el enfoque de Transformación Participativa de la Higiene y el Saneamiento (PHAST por sus siglas en inglés) (ver el Cuadro 7.2) está dirigido a ofrecer a las comunidades técnicas para mejorar su comportamiento en relación con la higiene (Simpson-Herbert et al., 1997). Los mensajes clave de estas herramientas están vinculados generalmente a la salud y al mejoramiento del medio ambiente local.

Estos métodos utilizan técnicas participativas y de mercadeo social para educar y crear presión social para el cambio. Otras técnicas de mercadeo, tales como los subsidios y las campañas de creación de conciencia, han demostrado ser incentivos eficaces para que la gente invierta en inodoros domésticos privados y los utilice. Al mismo tiempo, es crucial que la intervención social cuente con un componente de capacidad técnica para garantizar el diseño y la operación adecuada de las instalaciones.

Por supuesto, desde la perspectiva de la reutilización es importante que la gente adopte prácticas domésticas de higiene. Sin embargo, puede resultar más difícil motivar la adopción de sistemas orientados a la reutilización de los recursos. Como lo mencionamos antes, el desarrollo de un programa de mercadeo social para la reutilización deberá comunicar los incentivos adecuados a los usuarios privados. En los contextos rurales, los beneficios de la reutilización para la fertilización se pueden comunicar tanto verbalmente como mediante demostraciones (ver el Cuadro 7.2, el estudio de caso de la sección 9.3, y Andersson 2014b). Las unidades de demostración, en las cuales los futuros usuarios pueden experimentar con diferentes tecnologías y probarlas, es clave para obtener la aceptación de dichas tecnologías (ver el estudio de caso de la sección 9.5, y Andersson 2014c).

Sin embargo, es necesario desarrollar mejores herramientas, mensajes y técnicas de comunicación para impulsar el cambio de comportamiento en relación con la reutilización de las aguas residuales. Aunque algunas de las herramientas disponibles se pueden adaptar para este propósito, otras, tales



Atención a las necesidades de higiene menstrual

Una evaluación de sostenibilidad de los proyectos en Burkina Faso en los que se instaló saneamiento ecológico (en forma de inodoros secos con separación de orina, con reutilización) mostró que las mujeres se mostraban reticentes a usar las letrinas recientemente instaladas cuando estaban menstruando. Mencionaron sentimientos de vergüenza, temor a dejar huellas de sangre menstrual en los bordes, y un temor (infundado) a contaminar los fertilizantes producidos a partir de los lodos fecales. Las mujeres se veían atrapadas en el dilema de limpiar o no los rastros de sangre, pues, a pesar de querer hacerlo, habrán recibido instrucciones de que no debían verter agua adicional en la cámara fecal. A otras les preocupaba que los paños usados para la protección menstrual fueran visibles al vaciar la cámara fecal.

Esto resalta el hecho de que la gestión de la higiene menstrual no puede ignorarse; crear conciencia entre hombres y mujeres por igual podría contribuir a garantizar que las mujeres se sientan cómodas al usar los inodoros durante la menstruación. Además, para eliminar el temor a contaminar el producto reutilizado, es importante también comunicar que los fertilizantes derivados de los desechos de saneamiento no se ven afectados negativamente por la sangre menstrual. También serían de gran ayuda las investigaciones sobre los aspectos socioculturales que subyacen a esta mentalidad y las maneras de tenerlos en cuenta, así como adaptar el diseño del inodoro para atender mejor las necesidades de las mujeres. Es esencial disponer de espacio suficiente para las rutinas de higiene personal dentro del cuarto de baño, así como tener acceso a agua para limpiar las huellas de sangre de las manos o de la ropa. Se necesita una caneca de basura para paños o toallas, de manera que no se desechen en el sanitario, lo cual puede obstruirlo, complicar su vaciado y permanecer en los productos para reutilización fabricados a partir de las heces recolectadas.

Fuente: Dagerskog et al. 2020

como el SANTOLIC en su forma actual, puede ser directamente contraproducente, pues se basa en generar repugnancia hacia las excretas humanas, lo cual entra en conflicto con la idea de que son recursos valiosos (Kar y Chambers 2008). Existen algunas herramientas para analizar el comportamiento sanitario y diseñar mensajes para el cambio, tales como el marco SaniFOAM (Devine 2009). Se necesitan, sin embargo, nuevas herramientas y estrategias de intervención que apliquen el conocimiento psicológico actual sobre el cambio de comportamiento (Mosler 2011), especialmente en relación con la reutilización.

También puede ser necesario crear conciencia en relación con los productos de la reutilización de recursos. Por ejemplo, los consumidores pueden tener inquietudes con respecto a la calidad y seguridad de los vegetales fertilizados con excretas humanas en zonas en las que esta no ha sido una práctica tradicional. En algunos casos, los marcos jurídicos refuerzan esta baja aceptación, como sucede con la legislación de la Unión Europea donde no se permite que los cultivos fertilizados

con excretas humanas sean certificados como productos orgánicos.

Al diseñar los sistemas de reutilización de recursos, será importante identificar los niveles de aceptación de los productos propuestos, y determinar en qué forma la legislación existente puede obstaculizar o promover la recuperación de los recursos. En los casos en que el nivel de aceptación es bajo, será necesario implementar estrategias de comunicación y de mercadeo para incrementar el nivel de aceptabilidad.

7.3 Gobierno del ámbito público y del ámbito privado de los reutilizadores

Dentro del ámbito público, la gobernanza y la funcionalidad de los sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales garantizan beneficios que se extienden más allá de los beneficios individuales. Una cadena de prestación



Participación de los usuarios en el diseño de un inodoro como parte de un proyecto de saneamiento sostenible en Colombia.
Fotografía: Alter-Eco

del servicio del saneamiento y de aguas residuales que funcione correctamente protege las fuentes de agua, el ambiente vivo y la salud pública. Las fuentes de agua, el ambiente vivo y la salud pública se pueden considerar “recursos de propiedad común” o “bienes públicos” —es decir, recursos de los que se beneficia el público, pero cuya protección puede entrar en conflicto con intereses privados. Para una persona, por ejemplo, puede resultar conveniente descargar agua sin tratar (p. ej. al descargar el inodoro) al drenaje público, pero tal comportamiento tiene como consecuencia un peligro para la salud pública aguas abajo y el deterioro del cuerpo de agua receptor.¹⁹

Las interpretaciones de los principios de Elinor Ostrom para la gestión de los recursos de propiedad común presentados en el Cuadro 7.4 ofrecen un marco adecuado para considerar la gobernanza en el ámbito público y en el ámbito privado de los reutilizadores, y se utilizarán en las siguientes subsecciones.

Definir con claridad los límites del sistema, sus usuarios y el bien público afectado

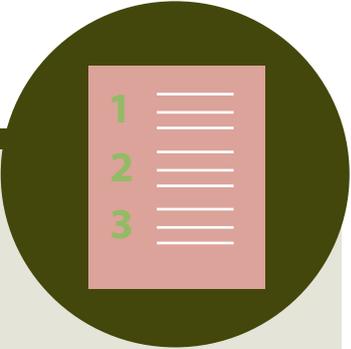
Para definir los límites de la gobernanza —es decir, cuáles son las responsabilidades de una institución de gobernanza— con respecto a la totalidad del sistema de recuperación de recursos, es importante definir inicialmente el bien público que

debe gestionarse, y los usuarios. Con frecuencia, algunos problemas específicos en relación con el bien público motivan la implementación o la mejora de los sistemas de saneamiento y de aguas residuales, tales como evitar la diseminación de patógenos, la contaminación o la eutroficación, o bien promover la seguridad alimentaria, hídrica o energética. Al definir los límites del bien público que se deben atender o proteger, es crucial incluir también a la población local afectada, así como el medio ambiente o las aguas receptoras locales. El efluente de aguas residuales de una planta de tratamiento urbana, por ejemplo, afectará a un receptor local, pero también tendrá posibles efectos negativos sobre los usuarios que viven en otros asentamientos aguas abajo.

Para el saneamiento con recuperación de los recursos, el bien público debe incluir también la aplicación final del recurso recuperado. Por ejemplo, en el caso de reutilización agrícola, la tierra en la que se reutilizan los recursos debe estar incluida dentro de los límites del sistema; para la reutilización de energía, es posible que la calidad del aire se deba incluir como un bien público potencialmente afectado.

Es importante definir también quiénes son los usuarios legítimos del sistema. Para una empresa de servicios públicos u otra entidad responsable de la prestación del servicio, los límites de los usuarios están definidos por los clientes que tienen acceso

¹⁹ Un ejemplo de “la tragedia de los comunes”. Ver Hardin (1968)



Traducción de los principios de Ostrom al contexto de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales

La ganadora del premio Nobel Elinor Ostrom sugirió una serie de principios guía para una gestión exitosa de los recursos de propiedad común. Estos principios se pueden aplicar de manera general a la gestión del saneamiento y de las aguas residuales como una forma de establecer directrices para la creación de instituciones públicas exitosas. Para evitar la confusión terminológica en este texto, nos referiremos a los recursos de propiedad común como “el bien público”, mientras que “recursos” hará referencia a los recursos recuperables de los flujos de aguas residuales y de excretas.

Definir con claridad los límites del sistema, sus usuarios y el bien público afectado

Los principios de Ostrom establecen que deben existir límites claramente definidos para:

- usuarios: existen límites claros y comprendidos localmente entre los usuarios legítimos y quienes no son usuarios;
- el bien público: existen límites claros que separan un bien público específico/ cuestión pública específica de un sistema socio-ecológico más amplio.

Construir responsabilidad para la gobernanza en múltiples niveles

Hace referencia al principio de Ostrom sobre las iniciativas “anidadas”, en las cuales la prestación del servicio, el seguimiento, el cumplimiento, la resolución de conflictos y las actividades de gobernanza están organizados en múltiples niveles de iniciativas “anidadas.”

Permitir a los usuarios participar en la gobernanza

Este combina dos de los principios de Ostrom:

- Acuerdos resultantes de decisiones colectivas: la mayor parte de las personas afectadas por las reglas operacionales puede participar en su modificación;

- Reconocimiento mínimo del derecho a organizarse: el derecho de los miembros de la comunidad a concebir sus propias instituciones no es cuestionado por autoridades gubernamentales externas.

Correlacionar la prestación del servicio con las necesidades y condiciones locales

Ostrom afirma que las estructuras de gobernanza deberían ser congruentes con las condiciones sociales y ambientales locales.

Establecer un sistema de monitorización

Ostrom resalta la necesidad de tener supervisores que auditen activamente las condiciones de los recursos y los comportamientos apropiados:

- Monitorización de los usuarios: usuarios o personas responsables de monitorizar la prestación del servicio a los usuarios, así como el uso que estos hacen de los servicios y del sistema.
- Monitorización de un bien público: usuarios o personas responsables de monitorizar la condición del bien público pertinente.

Aplicar tarifas, sanciones y métodos para la resolución de conflictos equitativos

Hace referencia a otros dos de los principios de Ostrom, así como a la necesidad de una distribución equitativa de costos y beneficios:

- Sanciones graduadas: las sanciones cuando se infringen las reglas comienzan a menor escala, pero son cada vez mayores cuando se repite la infracción;
- Mecanismos de resolución de conflictos: existen mecanismos locales que actúan rápidamente y a bajo costo para resolver conflictos entre los usuarios, o con el apoyo de funcionarios.



Usar la geografía, no los sistemas, para establecer la jurisdicción de las empresas de servicios

Si bien los mandatos institucionales del sector del agua y del saneamiento se han dividido tradicionalmente de acuerdo con tecnologías o funciones (es especialmente común que una empresa de servicios públicos solo cubra a usuarios conectados a un alcantarillado), este enfoque representa el riesgo real de crear vacíos o conflictos de responsabilidad, que pueden, entre otras cosas, complicar la cooperación transectorial necesaria para la recuperación y la reutilización de los recursos. Un enfoque cada vez más común consiste en conferir a una única institución la responsabilidad de toda la gestión del saneamiento y de las aguas residuales (y, potencialmente también, la gestión de otros desechos orgánicos) dentro de una zona geográfica.

En Durban, Sudáfrica, el Departamento Municipal de Agua y Saneamiento de eThekweni presta sus servicios a una serie de clientes de diferente tipo dentro de los límites del municipio. Este Departamento ofrece servicios de saneamiento con agua dentro de una zona definida. (Por fuera de esta zona, los servicios se implementan con base en la política nacional sudafricana de suministrar servicios básicos gratuitos). Además de lo anterior, el Departamento ofrece diferentes niveles de suministro del servicio con agua dentro de la zona de saneamiento con agua, con el fin de tener en cuenta la diferente capacidad de los usuarios para pagar por los servicios. Durban tiene también 500 asentamientos informales a los que este Departamento de eThekweni suministra transitoriamente servicios de inodoros públicos, duchas y lavado, hasta cuando estos asentamientos puedan mejorar a través del programa nacional de vivienda.

Otro ejemplo es la Corporación de Servicios de Agua (WUC), en Botsuana, cuyo mandato de proveer agua y servicios de saneamiento se ha modificado recientemente como parte de las reformas del sector encargado del agua. El mandato anterior de WUC se basaba en mantener y ampliar el suministro de agua (en tubería), así como las redes del alcantarillado. En la práctica, WUC ha asumido en la actualidad los servicios de suministro de agua y de saneamiento que correspondían a los distritos y a los consejos municipales en todos los pueblos y aldeas incorporados, que incluyen a los usuarios de sistemas in situ. Por lo tanto, su mandato se basa ahora en una jurisdicción geográfica. En la ciudad de Dakar, la Oficina Nacional de Saneamiento (ONAS) es la encargada tanto del saneamiento conectado al alcantarillado como de la gestión de los sistemas in situ, aun cuando la empresa de servicios ha elegido utilizar la participación del sector privado para la recolección, transporte y tratamiento de lodos fecales proveniente de los sistemas in situ.

a los servicios. Tradicionalmente, muchas empresas de servicios públicos atienden únicamente a los clientes que tienen conexión a un alcantarillado — por lo tanto, el tipo de tecnología de saneamiento utilizada establece los límites de los usuarios. Por lo general, esto funciona en asentamientos con altas tasas de cobertura de alcantarillado que incluyen nuevas zonas desarrolladas. Sin embargo, su funcionamiento es deficiente en contextos en los que el sistema de alcantarillado convencional cubre solo una parte de la ciudad. En muchos casos, los ciudadanos que no tienen acceso a un alcantarillado se ven obligados a depender de sistemas in situ, atendidos por prestadores de servicio, a menudo carentes de reglamentación, más costosos que los servicios de alcantarillado y que operan fuera del radar de las autoridades. Con demasiada frecuencia,

estos sistemas locales disponen de los lodos de manera inadecuada, causando daño a los recursos de agua y al ambiente urbano en general. Por esta razón, tanto para los bienes públicos como para la prestación del servicio, resulta más razonable definir geográficamente los límites de los usuarios, en lugar de hacerlo según la conexión a un alcantarillado u otros criterios técnicos (ver el Cuadro 7.5).

Cuando se han definido con claridad los límites del bien público y de los usuarios, resulta más sencillo establecer los límites de la totalidad del sistema. Un sistema para la gestión del saneamiento o de las aguas residuales son los asentamientos en cuestión (que incluyen a sus habitantes y su entorno físico) y los receptores (es decir, los cuerpos de agua o tierras) que reciben los efluentes tratados —tanto

sólidos como líquidos— provenientes de los sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales de ese asentamiento.

Agregar la recuperación de los recursos a la cadena de servicios complica los límites del sistema, pues añade más usuarios y bienes públicos afectados y lleva al reto adicional de comprometer y motivar sectores que, por lo general, no están involucrados con la prestación del servicio de saneamiento, tales como el agrícola o el energético. Sin embargo, la mayor parte de las formas de recuperar y reutilizar recursos afecta de manera positiva el bien público, al reducir, por ejemplo, la necesidad de utilizar fertilizantes químicos o combustibles fósiles, o de disponer desechos.

Construir responsabilidad para la gobernanza en múltiples niveles

Cuando los servicios de gestión del saneamiento y de las aguas residuales incluyen la reutilización, el sistema necesariamente involucra a más actores y, por lo tanto, múltiples niveles de gobernanza. Por ejemplo, el ámbito privado del reutilizador puede introducir actores de los sectores agrícola y energético y sus instituciones correspondientes.

Una estructura de gobernanza de múltiples niveles se organiza con frecuencia geográficamente, de manera que los actores locales gestionan los recursos locales y son, al mismo tiempo, parte de una organización más amplia, por ejemplo distrital o nacional. La cooperación y la coordinación entre los diferentes niveles de la gobernanza es, desde luego, un factor crítico para su éxito. Los roles y responsabilidades de las organizaciones en todos los niveles de la gobernanza (que incluyen sectores públicos, privados y sin ánimo de lucro) deben ser entendidos claramente y respetados por todos los involucrados (OMS 2006).

La gobernanza informal de las aguas residuales y el saneamiento a veces surge de la frustración de la población, generada por la incapacidad de los gobiernos para proteger los servicios de los ecosistemas locales. Numerosos ejemplos de la prestación de los servicios de saneamiento y de aguas residuales reflejan esta situación en todo el mundo, tales como los servicios de gestión in situ del saneamiento y de las aguas residuales desarrollados orgánicamente, que se describen en el Cuadro 7.6. Con frecuencias, estas organizaciones existen en paralelo con servicios reconocidos oficialmente como las empresas de servicios que ofrecen la conexión a servicios de alcantarillado. En una ciudad, es posible que organizaciones sin ánimo de lucro (locales o externas) ofrezcan también otro tipo de servicios. Sin embargo, estas estructuras informales de gobernanza por lo general no están en condiciones de proteger el bien

público, ya que normalmente no están conectadas a sistemas de tratamiento de flujos de desechos.

Es necesario planear y gestionar las estructuras de gobernanza de varios niveles desde las etapas iniciales de su desarrollo. La experiencia muestra que el desarrollo espontáneo y libre de una gobernanza de varios niveles tiene claras limitaciones en términos de la prestación del servicio (Nordqvist 2013). Un análisis de la prestación del servicio de saneamiento en Kampala, Uganda, halló que los servicios evidenciaban la capacidad de adaptación deseable, pero que los servicios suministrados no producían resultados sostenibles, ni en el ámbito privado ni en el ámbito público. Una mejor vinculación de los propietarios a una estructura más amplia de gobernanza podría mejorar la situación, en especial si se contara con estructuras eficaces para monitorizar y sancionar (ver más abajo).

El manejo de una gobernanza de varios niveles debe ser aún más fuerte para los servicios que involucran la reutilización de los recursos, dado que incluyen necesariamente actores de otros sectores y a que los estándares de prestación son cada vez más exigentes con respecto a servicios más sostenibles. La expansión del sistema de gobernanza para que comprenda también la recuperación de los recursos exigirá mayores inversiones en todos los ámbitos de responsabilidad y costos financieros, así como las implicaciones organizacionales y el cambio de comportamiento relacionado con ellas.

Las mejoras en la prestación del servicio, con una plena conexión entre los diferentes elementos de la cadena de la prestación del servicio, no se dará naturalmente. Por el contrario, exigen diferentes tipos de incentivos y de instrumentos para orientar el desarrollo, tales como el compromiso político, las políticas de recuperación de recursos, las reglamentaciones y la legislación, el trabajo intersectorial del gobierno local, la información, los incentivos financieros para los hogares, los fondos externos para los proveedores del servicio dirigidos a la recuperación de los recursos y una extensa comunicación entre todas las partes interesadas. Sin embargo, como se afirmó antes, los servicios desarrollados orgánicamente, que hacen parte de la gobernanza de varios niveles, se deberían utilizar como punto de partida cuando se fortalezca la gobernanza del saneamiento para mejorar la protección del bien público y la reutilización de los recursos.

Permitir que los usuarios participen en la gobernanza

Uno de los aspectos fundamentales de los principios expuestos en el Cuadro 7.3 es el

de la participación pública, por ejemplo, que involucra a los usuarios en la creación de las reglas operativas del sistema (y exige que sus aportes sean respetados por las autoridades). En un sistema para la gestión del saneamiento y de las aguas residuales es necesaria también una fuerte participación de los usuarios, en especial dentro de su ámbito privado. Sin embargo, resulta de gran valor involucrar también a los usuarios en la planeación y conformación de las funciones de la cadena de servicio dentro del ámbito público. Esto es de particular importancia en países que carecen de instituciones sólidas para la prestación del servicio y la gestión de los sistemas.

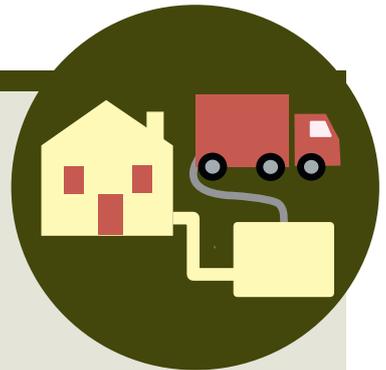
En el sector del agua y el saneamiento, es frecuente que la participación de los actores se considere y se promueva como un medio para comprender los problemas existentes, crear una visión común sobre las mejoras necesarias con todos los actores, comprender las exigencias de mejores servicios por parte de los ciudadanos, y establecer prioridades

y compensaciones realistas en el contexto local. Involucrar a los usuarios y a los prestadores actuales del servicio en el proceso de formalización de la prestación del servicio puede garantizar una mayor satisfacción de los clientes, el uso correcto del sistema y el pago de tarifas: y, en última instancia, garantizar un sistema más funcional.

Cada vez con mayor frecuencia, las herramientas para la planeación del sector ponen la participación de las partes interesadas en el centro de sus procesos. Un ejemplo de esto es el Saneamiento ambiental urbano liderado por la comunidad, CLUES (sigla en inglés de: Community Led Urban Environmental Sanitation), desarrollado en EAWAG-Sandec (Cuadro 7.7); otro es el enfoque estratégico a la planeación del saneamiento urbano descrito por Tayler et al. (1999), el cual involucra también a las partes interesadas y tiene un enfoque iterativo. Un ejemplo más es la metodología PHAST-SANTOLIC, ya bien conocida. PHAST-SANTOLIC depende en gran parte de la participación para

CUADRO 7.6

Servicios de gestión de lodos fecales desarrollados orgánicamente en Bengaluru, India



En muchas ciudades en las que el cubrimiento de la red convencional de alcantarillado es limitado y las autoridades municipales no ofrecen servicios a clientes con saneamiento in situ, algunos empresarios privados ofrecen servicios de vaciado sin ninguna reglamentación. Un ejemplo de esto es la megaciudad de Bengaluru, en India, donde hay muchos operadores privados. Estos operadores vacían los tanques sépticos y los hoyos, y transportan los lodos fecales, en el mejor de los casos, a una planta de tratamiento; sin embargo, es más frecuente que descarguen los lodos indiscriminadamente en el entorno urbano. En Bengaluru, algunos de los operadores llevan los lodos fecales a agricultores periurbanos, quienes luego los reutilizan en sus cultivos.

Estos servicios se han desarrollado orgánicamente sin apoyo institucional o financiero de las autoridades. Operan en una “zona gris” institucional y de manera incontrolada. Mientras los servicios permanezcan fuera del radar de las autoridades, es probable que solo atiendan el “bien privado” de la cadena de prestación del servicio de saneamiento. El control y el reconocimiento institucional son dos cosas necesarias para obtener el bien público de la cadena operativa.

Sin embargo, los operadores privados realizan una función importante. En lugar de intentar clausurarlos, es importante que las autoridades y los prestadores del servicio tengan en cuenta los servicios existentes y los utilicen como punto de partida cuando formalicen los servicios dentro del ámbito público de la cadena de prestación de servicios. En el caso de Bengaluru, esto implicaría capitalizar sobre la reutilización agrícola existente, asegurándose, a la vez, de que esta reutilización se realice de manera segura.

Fuente: Kvarnström et al. 2012

mejorar la situación del saneamiento en las zonas rurales (ver el Cuadro 7.2, WaterAid 2013, y Simpson-Herbert et al. 1997).

Cuando la prestación del servicio incluye también la recuperación y la reutilización de los recursos, es necesario involucrar a los (re)utilizadores provenientes de los sectores a los que se dirige la posible reutilización. Por ejemplo, tiene una increíble importancia involucrar a los agricultores en las primeras fases de cualquier proyecto dirigido a la reutilización agrícola, con el fin de crear confianza entre los sectores y garantizar que se conozcan y satisfagan sus exigencias, y que la cadena de servicio se pueda adaptar de manera que corresponda al ciclo de cultivo. Un buen ejemplo de cooperación entre una empresa de servicios públicos, los agricultores y la comunidad investigativa es el caso de Hölö, Suecia (ver el estudio de caso en la sección 9.4).

Una de las claves para establecer una participación significativa y estructuras funcionales de gobernanza es crear confianza entre los diversos actores. En especial, en el caso de la reutilización agrícola en la que se cultivan productos para consumo humano, la confianza entre actores clave, que incluye a la industria de los alimentos, es de la mayor importancia.

Crear confianza significa también valorar los diferentes tipos de conocimiento que los diversos actores pueden aportar a las discusiones. Como se señaló antes, los proveedores informales del servicio pueden estar en mejores condiciones para comprender las necesidades de los residentes locales y para responder a ellas y, sin embargo, su conocimiento no siempre se valora de la misma manera que el de un consultor técnico, por ejemplo.

Un análisis de las relaciones entre los actores y los niveles de confianza puede ser un paso crucial para lograr una participación funcional (ver la Figura 7.1). Con base en este análisis, es posible desarrollar planes de comunicación bien definidos y actividades para la creación de confianza que superen aquellas situaciones en la que hay carencia de confianza entre los actores.

Correlacionar la prestación del servicio con el contexto

Existe la necesidad ampliamente reconocida de adaptar la gobernanza y los sistemas de prestación del servicio a las necesidades y condiciones locales. Las políticas únicas que se adaptan a todas las situaciones, así como los grandes planes nacionales o regionales de implantación de tecnologías, reglamentaciones y

enfoques para la gestión de las aguas residuales, han demostrado ser ineficaces en su mayoría y es probable que no sean la mejor manera de conseguir mejores servicios y la recuperación de recursos (ver Ostrom 2009).

Por el contrario, una perspectiva basada en el servicio al cliente permite la adaptación definitiva a las necesidades y condiciones locales. Sin embargo, con excesiva frecuencia, la entidad gubernamental local responsable de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales se centra en la expansión de la infraestructura más que en la prestación del servicio; establece las tarifas de acuerdo con agendas políticas en lugar de hacerlo según niveles realistas de sostenibilidad financiera; y da una menor prioridad a la operación y al mantenimiento, todo lo cual conduce con frecuencia a una prestación del servicio inferior al estándar requerido, así como a una baja rendición de cuentas (McGregor 2005).

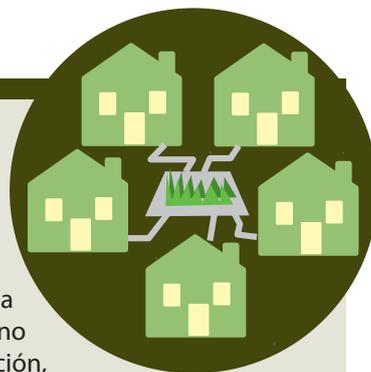
En muchos casos, desarrollar un modelo de prestación del servicio que se ajuste a las necesidades locales exige la reforma interna de una empresa de servicios públicos o de la entidad local de gobierno encargada de este servicio. Es preciso trasladar el enfoque de la ingeniería y la infraestructura a los clientes y a la prestación del servicio.

Para lograr este cambio de enfoque puede ser necesario implementar diferentes modelos de gestión y distribuir los roles y responsabilidades de la prestación del servicio entre diferentes actores. Por ejemplo, la entidad local de gobierno puede hacer énfasis especial en el servicio al cliente, en la rendición de cuentas y en la prestación adecuada del servicio en los contratos que suscriba con distintos tipos de entidades.

La responsabilidad de la gestión puede estar localizada en:

- una empresa de servicios públicos,
- operador u operadores privados,
- organización u organizaciones comunitarias, o
- diferentes combinaciones de los anteriores.

Para el paso de la recuperación de recursos es posible que haya o no un conjunto diferente de proveedores del servicio con los que comprometerse, que pueden ser públicos, privados o comunitarios. Existe una serie de factores que inciden sobre cuál es el modelo de gestión más apropiado para un sistema que incluya la recuperación de recursos. Estos factores comprenden la combinación de operadores en un contexto determinado (ver la Figura 7.2), que incluyen:



Planeación y gobernanza participativas mediante el uso del enfoque CLUES

Nala es una aldea de Nepal con cerca de 2.000 habitantes. Antes de una intervención de saneamiento usando el Saneamiento Ambiental Urbano Liderado por la Comunidad (CLUES) para su planeación e implementación, Nala tenía una situación deficiente de saneamiento, con letrinas excesivamente llenas y un alto nivel freático. Esta situación había contribuido a una fuerte exigencia local de implementar un mejor saneamiento en una zona con una dirigencia local activa y el apoyo de grupos comunitarios.

El enfoque CLUES se centra primero en las decisiones de los hogares sobre las necesidades del servicio, y luego pasa a considerar el vecindario, el asentamiento más grande, y sus alrededores. Durante la fase de planeación se elaboró un plan de saneamiento que tuviera en cuenta todos los flujos de desechos (excretas humanas en forma de aguas negras u otras fracciones, aguas grises, desechos sólidos y aguas torrenciales), así como la promoción de la higiene. El proceso participativo que involucraba múltiples actores incluyó encuestas a los hogares, identificación y priorización de las necesidades de los usuarios, e intercambio de información de la comunidad. En Nala, la aldea llegó a la decisión de implementar un sistema de alcantarillado simplificado con un reactor anaerobio con deflectores y un humedal artificial de flujo horizontal para el tratamiento de las aguas negras. Los usuarios estuvieron también involucrados activamente en la etapa de la implementación, tanto en el desarrollo de un plan de acción como en la construcción del sistema.

Los factores que llevaron al éxito del proceso CLUES en Nala incluyeron una fuerte exigencia de mejora del saneamiento, el apoyo de los líderes locales, y una extensa participación y apropiación de los usuarios a todo lo largo del proyecto. El comité comunitario creado para facilitar la implementación del proyecto se ha fusionado ahora con el Comité de Usuarios del Servicio de Agua y Saneamiento de Nala, una entidad legal registrada ante las autoridades locales. Este comité está a cargo de la operación y mantenimiento del sistema. Por lo tanto, la experiencia de Nala es un buen ejemplo, no solo de los procesos participativos, sino también de cómo se puede involucrar a los usuarios para monitorizar y dar forma a las disposiciones de gobernanza.

Fuente: Sherpa et al. 2013

- el nivel o niveles esperados y adecuados de servicios, definidos por los clientes;
- la capacidad para prestar el servicio y eficiencia de sus proveedores potenciales;
- las expectativas y posibilidades de recuperación de costos;
- la demanda local de los recursos recuperados;
- la aceptación sociocultural de las soluciones técnicas y de los recursos recuperados;
- la reglamentación y la legislación existentes, incluyendo aquellas que tienen impacto sobre la recuperación de los recursos; y
- el apoyo gubernamental.

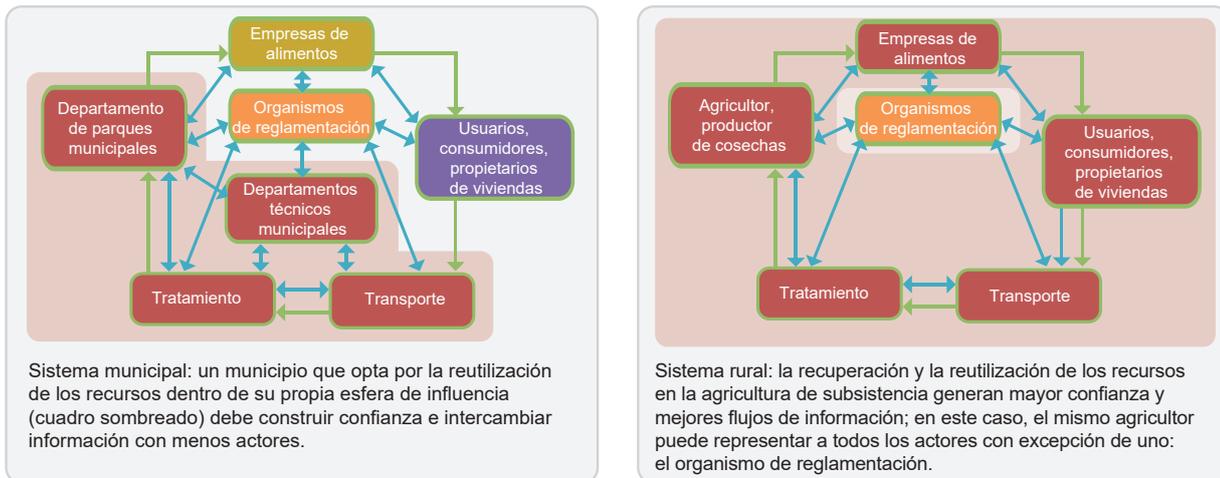
Los primeros cuatro puntos están estrechamente relacionados con el contexto local y, por lo tanto, son cruciales para decidir sobre un modelo adaptado localmente. Determinar cuál

es el modelo de gestión apropiado implicará comprender las fortalezas y debilidades de los operadores potenciales y formular preguntas críticas para identificar las áreas en las que se carece actualmente de conocimientos y capacidad.

Las preguntas clave son: ¿Los prestadores del servicio tienen el conocimiento y la capacidad humana para operar los sistemas técnicos propuestos? En la cadena de prestación del servicio ¿hay elementos que pueden generar utilidades y, por lo tanto, pueden tercerizarse al sector privado? ¿Qué información o recursos necesitan los reutilizadores propuestos (p. ej. agricultores) para usar de manera efectiva los productos de desechos? ¿Otros sectores cuentan con capacidad de gestión que pueda vincularse a este sistema? Responder a estas preguntas y desarrollar

FIGURA 7.1

Redes de comunicación y de confianza de los actores con respecto a los sistemas de recuperación y reutilización de recursos



Flechas verdes = flujos de material; flechas azules = flujos de confianza y de información

Figura: basada en H. Jönsson, Swedish University of Agricultural Sciences

soluciones para llenar los vacíos de conocimiento contribuirá al desarrollo de modelos eficientes de prestación del servicio.

Los *niveles de servicios esperados* por los clientes tendrán una fuerte influencia en la selección de los operadores potenciales, como también la capacidad de los operadores para prestar el servicio. Las zonas que cuentan actualmente con sistemas de alcantarillado esperarán mantener un estándar similar de servicio, incluso si estos se adaptaran para la recuperación de los recursos, por lo que es posible que una organización comunitaria no sea el operador indicado. Sin embargo, la situación puede ser diferente en una zona en donde los clientes están habituados a que los operadores domiciliarios vacíen los sistemas in situ.

Es importante reconocer que la capacidad de los operadores potenciales variará, y que una prestación eficiente del servicio puede necesitar la participación de una combinación de operadores con capacidades complementarias. Una manera eficaz de aumentar el acceso a la capacidad es la creación de asociaciones a través de las cuales sus miembros ganen influencia y poder de negociación, puedan compartir recursos, intercambiar experiencias y facilitar el aprendizaje entre pares. Se encuentran ejemplos de esto en las asociaciones de empresas de servicios de Brasil (ver el Cuadro 7.8.) y en las asociaciones de empresarios de vaciado fecal en Senegal y Burkina Faso (ver Bassan et al. 2012).

Financiar las operaciones del sistema es otro aspecto crítico para la prestación funcional del servicio. Los sistemas de saneamiento que operan con *recuperación de costos* pueden prever sociedades público-privadas para la operación

de la infraestructura que se pueden implementar según diferentes modelos. Algunos ejemplos de esto son los contratos para el diseño, construcción y operación de las instalaciones de tratamiento; las franquicias o licencias para los servicios de vaciado, o los contratos a largo plazo para el tratamiento y la reutilización de los desechos. Incluso en situaciones en las que la recuperación de costos no es realista, es posible trabajar con sociedades público-privadas si se cubren parte de los costos operacionales con el erario público. Para una discusión más amplia sobre el financiamiento de sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales, ver el Capítulo 8.

Para implementar una recuperación sostenible de los recursos, es posible que el factor más importante sea la existencia de *demandas locales de los recursos recuperados*. La creación y gestión de esta demanda quizás exija involucrar operadores adicionales, o al menos una capacidad adicional entre los operadores existentes. En el caso de la reutilización agrícola, un factor clave que se debe tener en cuenta es la cooperación establecida previamente entre el prestador del servicio de saneamiento y la comunidad agrícola, las tierras de cultivo disponibles localmente y los agricultores. Las entidades gubernamentales locales podrían considerar también a la comunidad agrícola para que se encargue del tratamiento para reutilización de los recursos desde un esquema de emprendimiento empresarial.

Los últimos tres factores clave para determinar la gestión apropiada de la separación en la fuente están relacionados con el llamado *ambiente habilitante*, que se refiere a las condiciones y factores más amplios necesarios para lograr la funcionalidad de todos los componentes de la

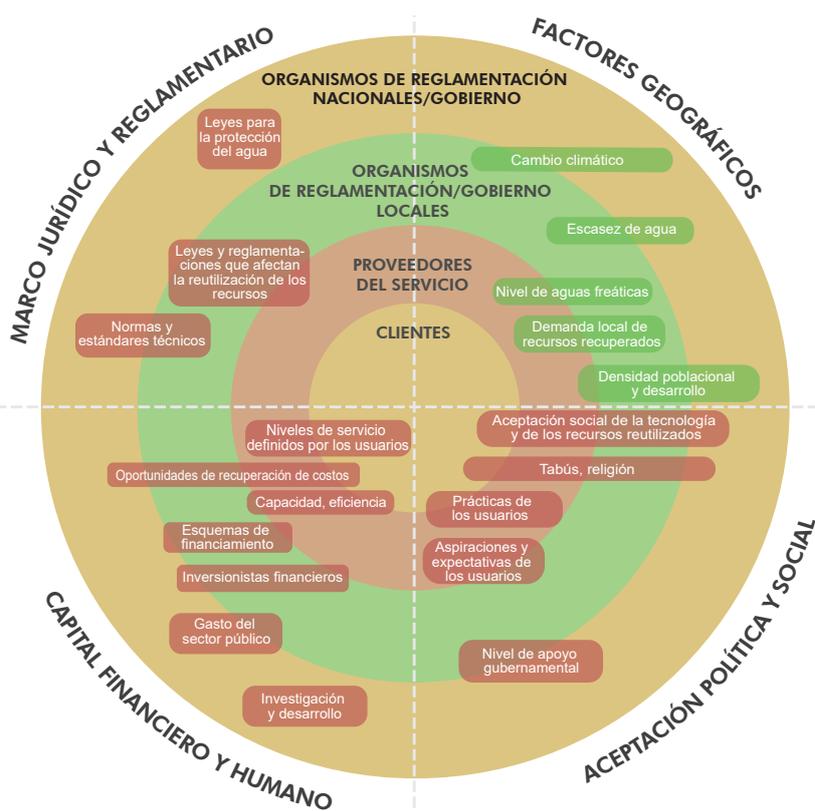


Figura: Adaptada de Lüthi et al. 2011

cadena del servicio. Correlacionar los modelos de prestación del servicio con las condiciones locales exigirá considerar estas condiciones más amplias. Es preciso, por ejemplo, que las soluciones técnicas propuestas sean aceptables socialmente. Esto significa reconocer las necesidades de los clientes en el ámbito privado del usuario (ver la sección 7.2).

El *marco jurídico y reglamentario* debería apoyar y posibilitar o, al menos no impedir, la recuperación de los recursos, lo cual rara vez sucede en la actualidad. Cambiar estos marcos puede tomar largo tiempo. Por consiguiente, desde una perspectiva de la recuperación de los recursos, puede ser importante considerar de manera pragmática el marco jurídico y reglamentario existente e identificar las zonas grises que están abiertas a interpretación. Mediante un liderazgo audaz se puede impulsar un cambio positivo dentro del marco jurídico existente y crear precedentes para argumentar a favor del cambio legislativo (ver Lüthi et al. 2011).

Un problema común a los marcos jurídicos y reglamentarios que puede obrar en contra de la innovación es que son excesivamente específicos en lo que respecta a las tecnologías y a los métodos permitidos, en lugar de centrarse en la función que necesita lograrse. En Suecia se encuentra un buen ejemplo de reglamentación adaptada ocalmente

para saneamiento in situ, que ha pasado de ser prescriptiva para tecnología a estar basada en la función, y se describe en el Cuadro 7.9. Sin duda, las reglamentaciones más generales nacionales y de la Unión Europea establecen las condiciones para este caso, pero el contexto local —por ejemplo, la vulnerabilidad de las aguas receptoras— determina el nivel de tratamiento necesario. El hecho de que la reglamentación haya cambiado, de permitir únicamente unas pocas tecnologías a exigir funciones que se deben cumplir, ha incentivado la innovación en el sector del saneamiento in situ en Suecia.

Un último factor de importancia es garantizar el *apoyo político*. Existe una serie de argumentos que se pueden usar para obtener el apoyo político necesario para aumentar la reutilización de los recursos. Estos incluyen: el cumplimiento de los objetivos internacionales, la mitigación del cambio climático y la posibilidad de recuperar los costos adicionales mediante la venta de los productos de la reutilización. Además de las ganancias económicas, quienes proponen sistemas orientados a la reutilización pueden usar argumentos ideológicos (ver la sección 7.2) para convencer a los políticos locales, a quienes toman las decisiones y a los usuarios, para que apoyen tales sistemas.



Asociaciones de prestación de servicios: los modelos SISAR y COPANOR

Se han desarrollado dos modelos para satisfacer los desafíos que representan ofrecer un suministro sostenible de agua a comunidades pequeñas y aisladas en regiones deprimidas de Brasil: el modelo SISAR en el estado de Ceará, y el modelo COPANOR en el estado semiárido de Minas Gerais. En ambos estados, la empresa de servicios públicos de agua y de saneamiento ha tenido dificultades para atender adecuadamente a las comunidades aisladas. Se han construido sistemas de saneamiento y de agua para estas comunidades de acuerdo con procesos de planeación participativos e impulsados por la demanda, pero con frecuencia presentan averías aproximadamente un año después de su construcción, cuando el capital social invertido en los procesos de planeación y construcción se ha gastado gradualmente y las asociaciones de usuarios del agua que habían sido creadas no han conseguido mantener el sistema en funcionamiento.

El modelo SISAR se ha utilizado durante dos décadas. Su enfoque consiste en crear una federación de asociaciones de usuarios del agua (SISAR) en una de las subregiones, bajo cuyo auspicio los operadores locales se encargan de la operación y mantenimiento regulares del sistema, pero otras funciones que se benefician de la aglomeración de escala (mantenimiento pesado, adquisición de reactivos, calibración de los contadores de agua, capacitación de los operadores, facturación, construcción de la capacidad del capital social, etc.) están centralizadas en la federación. Las comunidades que usan el modelo SISAR tienen una provisión universal de conexiones de agua con contadores en los hogares; los sistemas de saneamiento incluyen alcantarillados diseñados para condominios y sistemas de tratamiento en lagunas sanitarias o tanques sépticos comunales.

El modelo COPANOR se estableció hace diez años aproximadamente mediante la creación de una subsidiaria de la empresa pública de agua del Estado, COPASA, que preveía una estructura salarial diferenciada para el personal de COPANOR, así como tarifas adaptadas a la realidad de los hogares pobres y aislados. COPANOR ofrece a todos los hogares conexiones con contadores y un alcantarillado simplificado con tratamiento de las aguas residuales mediante reactores anaerobios de flujo ascendente (una especie de digestor anaerobio) o mediante un sistema de lagunas sanitarias. Tanto SISAR como COPANOR se gestionan como empresas de servicios profesionalizadas, con una gestión y toma de decisiones basadas en indicadores, planes de negocio anuales, etc.

Fuente: Comunicación personal de Martin Gambrill, especialista líder en agua y saneamiento del Banco Mundial.

Es preciso elaborar un plan de comunicaciones claro que contenga mensajes adaptados al contexto local en los que se promueva la reutilización y se identifiquen las audiencias objetivo de *lobby*, tales como políticos clave, departamentos de gobierno, usuarios y otros grupos de interesados.

Monitorización

La monitorización de la calidad de los servicios prestados, el uso apropiado del sistema y las condiciones de los recursos recuperados tienen una importancia fundamental para garantizar que el sistema proteja tanto los bienes privados

como los públicos. Existen diversas maneras de implementar la monitorización, tanto activas como pasivas, pero para asegurar una mejor protección del bien público se recomienda involucrar a los usuarios, ya sea de manera directa o a través de entidades representativas. Una opción es un sistema en el que los usuarios puedan reportar problemas con la prestación del servicio.

Se recomienda asimismo que los prestadores del servicio o un agente de monitorización externo realicen una inspección regular de los componentes del sistema. De nuevo, si se contempla la reutilización agrícola, es importante involucrar a la comunidad de agricultores en la

monitorización. Un ejemplo de monitorización y reglamentación desarrollados por los usuarios es el sistema de certificación para el uso agrícola de las aguas negras y otras fracciones de aguas residuales higienizadas provenientes de pequeños sistemas de gestión de aguas residuales operados por el Instituto de Investigación Técnica de Suecia SP (Cuadro 7.10). La Federación de Agricultores Suecos estuvo fuertemente involucrada en la implementación de este sistema, junto con representantes del municipio e investigadores.

La escala de saneamiento funcional (Figura 7.3) es una herramienta que se puede usar para monitorizar la prestación del servicio. Una variante de la escala funcional es la que usa actualmente la ONG Welthungerhilfe (www.welthungerhilfe.de/) para monitorizar el estado de saneamiento e higiene de las comunidades asociadas. Los usuarios mismos, los grupos comunitarios que representan a los usuarios o los prestadores del servicio pueden monitorizar el uso apropiado del sistema. A menudo, las personas u organizaciones responsables de su operación y mantenimiento están en buena posición para monitorizar u

CUADRO 7.9

Reglamentación del saneamiento in situ en Suecia: basada en las funciones y decidida localmente

En Suecia, las reglamentaciones sobre saneamiento in situ han sido modificadas durante la última década, pasando de ser prescriptivas para tecnología a estar basadas en funciones. En el pasado, las autoridades ambientales locales, siguiendo las directrices nacionales de 1987, solo expedían permisos para tecnologías basadas en los suelos (infiltración de suelos o filtros de arena) en combinación con tanques sépticos de tres cámaras. Esto obstaculizó el desarrollo técnico e hizo que resultara difícil aplicar nuevas tecnologías en situaciones en las cuales las tecnologías aprobadas no eran viables.

En 2006, la Agencia Sueca para la Protección del Medio Ambiente publicó nuevas directrices nacionales para el saneamiento in situ que no se enfocaban en la tecnología del saneamiento per se sino en su función. Específicamente, las nuevas directrices hacen énfasis en la necesidad de reducir las emisiones de fósforo a los cuerpos de agua receptores y resaltan la importancia del reciclaje de nutrientes. Además, describen en general las funciones básicas obligatorias, así como los niveles "normales" y "altos" para las funciones de protección de la salud y del medio ambiente, que las autoridades locales pueden aplicar según su contexto particular.

Uno de los efectos de estas directrices ha sido el auge masivo de productos nuevos y tecnologías innovadoras en el mercado. Un ejemplo de esto es el incremento en los sistemas de aguas negras con alto nivel de ahorro de agua, que hacen posible reutilizar los nutrientes en las tierras de cultivo después de higienizarlos. Otras tecnologías innovadoras cada vez más populares en Suecia son: (i) plantas compactas de tratamiento para uso in situ, (ii) filtros que contienen materiales altamente reactivos que absorben P, y (iii) inodoros con separación de orina como complemento a los métodos convencionales de infiltración del suelo o filtros de arena.

Las nuevas tecnologías producen asimismo nuevos tipos de fracciones de aguas residuales de los hogares, lo cual ha incentivado a los departamentos técnicos de los municipios a organizar sistemas para la reutilización de las fracciones recolectadas, y los actores nacionales se encuentran ahora comprometidos en investigaciones y desarrollos para la creación de una cadena de servicio funcional. Este es un desarrollo que los partidarios de la reutilización habían intentado conseguir desde mediados de la década de 1990.



Estándares de certificación en Suecia para fracciones de aguas residuales

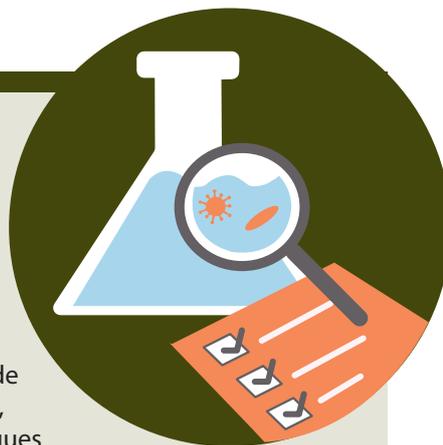
Institutos de Investigación de Suecia, RISE (por sus siglas en inglés), gestiona un sistema de certificación para fracciones de aguas residuales separadas en la fuente y que son de interés desde el punto de vista de la fertilización en la agricultura - por ejemplo, aguas negras, orina y heces de inodoros secos. El lodo de los tanques sépticos, que tiene un contenido de nutrientes comparativamente más bajo, no está incluido en esta certificación.

Una certificación aprobada permite a los productores de fertilizantes exhibir la marca "P" de certificación de RISE. La certificación garantiza la trazabilidad de la fracción de aguas residuales desde su origen hasta el campo en el que se usa, el control de calidad, el muestreo de rutina y la automonitorización. Todo el tratamiento y transporte se debe realizar de manera que no se afecte la calidad de los productos fertilizantes.

Es necesario tratar todas las fracciones de aguas residuales certificadas para reducir los patógenos microbianos a límites específicos. Según los lineamientos de la certificación, cada lote o carga de residuos tiene que cumplir los requisitos con respecto a niveles de metales pesados, Salmonella spp., E. coli. y tasa Cd/P. Los lineamientos también proveen métodos de tratamiento recomendados para lograr la higienización.

El productor realiza las pruebas de calidad (que incluyen patógenos) de los productos fertilizantes e incluye en la etiqueta la información detallada del contenido, junto con la dosis recomendada por hectárea con base en la concentración de metales pesados y contenido de los nutrientes nitrógeno y fósforo. El productor es responsable también de informar a los hogares que el fertilizante se produce a partir de sus fracciones de aguas residuales, y de instruirlos acerca de qué deberían o no descargar en el inodoro; por ejemplo, en un sistema de recolección de aguas negras es importante que el agua proveniente de la limpieza de los pisos no se descargue en el inodoro.

Fuente: RISE 2019.



ofrecer información a los supervisores con respecto a la calidad de los servicios y al uso correcto del sistema.

Aplicación de tarifas, sanciones y métodos para la resolución de conflictos equitativos

Las tarifas del servicio deberían ser congruentes entre los costos en que incurren los usuarios y los beneficios que reciben (ver Felice y Vatiero 2012). En otras palabras, los costos de la distribución y los servicios deberían ser equitativos para todos los ciudadanos dentro de la jurisdicción del

servicio en cuestión. En primer lugar, la fijación de tarifas debería ser equitativa entre diferentes tipos de cliente. Con frecuencia, los clientes con sistemas in situ pagan más que quienes tienen conexión al alcantarillado en situaciones en que los proveedores informales del servicio lo ofrecen a clientes con saneamiento in situ y los clientes con conexión al alcantarillado reciben el servicio de una empresa de servicios públicos.

El segundo paso para correlacionar costos y servicios es aplicar una tarifa progresiva, según la cual un nivel más alto del servicio dentro del

bien privado y un mayor consumo se relacionan con costos progresivamente más altos para infracciones repetidas. El Cuadro 7.11 presenta un buen ejemplo de correspondencia entre los costos y el servicio recibido en Durban, Sudáfrica. Es posible que un mayor cumplimiento a lo largo de la cadena de prestación del servicio requiera un enfoque de “garrote y zanahoria”, según el cual el prestador del servicio aplica tanto las sanciones como los incentivos. En el caso de Durban, a los contratistas encargados de vaciar el lodo fecal se les paga por tonelada de lodo entregada desde los sistemas individuales a la planta de tratamiento, en lugar de una tarifa fija por zona o número de hogares atendidos. Esto ofrece a los contratistas incentivos para llevar el lodo a la planta de tratamiento en lugar de descargarlo ilegalmente. Durban ofrece otro buen ejemplo de incentivos y sanciones en su esquema de disminución de la deuda. Los incentivos y las sanciones se pueden aplicar en diferentes niveles para incidir sobre el uso de un sistema. Un gobierno nacional que quiera motivar a un gobierno local a realizar acciones con respecto a la recuperación de recursos puede, por ejemplo, ofrecer incentivos financieros a quienes presenten buenos planes e ideas. Simultáneamente, el gobierno local puede

usar incentivos financieros para aquellos hogares donde se instalen sistemas que permitan la reutilización de los recursos.

Aun cuando las tarifas son importantes — en especial para financiar la operación y mantenimiento del sistema y para recuperar costos— el sistema tarifario debe estar equilibrado cuidadosamente para evitar elementos que desincentiven comportamientos y sistemas orientados a la reutilización. El Cuadro 7.12 presenta un caso en el que las autoridades locales permitieron que los prestadores del servicio cobraran tarifas más altas para los sistemas con separación de orina.

En otros municipios se han tomado decisiones políticas para hacer que la gestión de los sistemas con recuperación de recursos sea neutral en cuanto a costos si se compara con los sistemas convencionales. Una manera de hacerlo es cubrir cualquier costo adicional para las empresas de servicios y otros prestadores de servicios mediante un incremento uniforme de las tarifas para los usuarios que están dentro de la jurisdicción de las aguas residuales, cualquiera que sea el sistema que utilicen.

FIGURA 7.3

Escala de saneamiento basada en funciones, con los indicadores propuestos para monitorización

	Función	Indicadores	Necesidades de gestión
Funciones ambientales	7 Gestión integrada de recursos	Los indicadores variarán según los flujos de la totalidad del sistema de saneamiento ambiental (orina, heces, aguas grises, lodos fecales, aguas residuales), como aparece más abajo, pero incluyen también el suministro de agua, la gestión de las aguas torrenciales, la gestión de los desechos sólidos y el contexto	
	6 Reducción del riesgo de eutrofización	Los indicadores variarán según el flujo proveniente del sistema de saneamiento (orina, heces, aguas grises, lodo fecal, aguas residuales)	
	5 Reutilización de nutrientes	(i) X% de N, P, K excretados se recicla para cultivos (ii) Y% de agua usada se recicla para su uso productivo	
Funciones de salud	4 Reducción de patógenos en el tratamiento	Los indicadores variarán según el flujo del sistema de saneamiento (orina, heces, aguas grises, lodos fecales, aguas residuales) y dependiendo de si el flujo se utilizará después productivamente o no	
	3 Gestión de las aguas grises	(i) No hay agua estancada en el recinto, (ii) no hay agua estancada en la calle, (iii) no hay mosquitos ni otros vectores	
	2 Acceso seguro y disponibilidad	(i) acceso de 24 h a una instalación todo el año, (ii) la instalación ofrece privacidad, seguridad personal y protección, (iii) la instalación se adapta a las necesidades de sus usuarios	
	1 Contención de excretas	(i) Instalación limpia en uso evidente, (ii) no hay moscas ni otros vectores, (iii) no queda materia fecal en la letrina o alrededor de esta, (iv) la instalación para el lavado de manos está en uso evidente y provista de jabón, (v) tapa, (vi) instalación sin olor	

* Observe que el movimiento ascendente en la escala significa que las funciones inferiores también se han cumplido.

Figura: Basada en Kvarnström et al. 2011

eThekwini Agua y Saneamiento: Durban, Sudáfrica

Correlación entre los costos y la prestación del servicio

eThekwini Agua y Saneamiento es un buen ejemplo de un proveedor municipal de servicios de agua y saneamiento que muestra una fuerte correlación entre los costos y la prestación del servicio al fijar las tarifas del agua. Sudáfrica tiene la política de ofrecer servicios básicos gratuitos a todos sus ciudadanos. En términos de agua y saneamiento, todos los sudafricanos tienen derecho al acceso a una letrina de pozo mejorada y ventilada, con servicio de vaciado gratuito cada cinco años y un acceso mínimo gratuito al agua —una política que está respaldada con fondos nacionales.

En Durban, eThekwini Agua y Saneamiento ofrece los servicios básicos gratuitos a familias que habiten en viviendas de menos de 250.000 rand (cerca de US\$16.700). Estos servicios gratuitos incluyen un inodoro con separación de orina y 9 m³ de agua al mes. El paso siguiente en la escala del servicio del agua es un sistema de presión media con un tanque en el techo (la presión completa de la casa se obtiene al colocar un tanque en el techo); la tarifa por este servicio es reducida, pero aumenta con el consumo de agua. El tercer nivel del servicio es un sistema de presión completa que pagan tanto hogares como otros clientes. Los clientes de hogares pagan una tarifa progresiva según la cual el precio por metro cúbico aumenta con el incremento del consumo mensual. Los clientes que cuentan con presión media y presión completa comienzan pagando el mismo precio por metro cúbico a una tasa de consumo mensual de 30 m³.

Reducción de la deuda

eThekwini Agua y Saneamiento trabaja también con esquemas de reducción de la deuda y esquemas de amnistía para conseguir que los clientes que no pagan lo hagan de nuevo. El esquema de pago de la deuda exige que el cliente pague a tiempo el total de su cuenta actual durante 20 meses. Por cada pago realizado a tiempo, se condona una veinteaava parte de la deuda. Después de 20 meses, la

deuda ha sido cancelada y el cliente se ha habituado a pagar una tarifa mensual, con lo cual es más probable que pueda convertirse de nuevo en un cliente puntual. Si el cliente deja de pagar, se instala un limitador de flujo en la conexión para reducir el suministro de agua al nivel mínimo gratuito y se restablece la totalidad de la deuda. Si la conexión es alterada, esta se le retira y el cliente se ve obligado a recolectar agua en la oficina municipal más cercana o comprarla a un vecino.

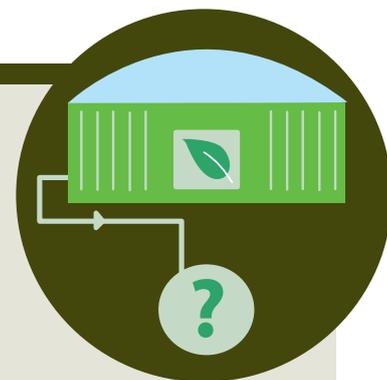
Resolución de conflictos

Como una manera eficiente de mejorar continuamente la prestación del servicio e incrementar la satisfacción de los consumidores, eThekwini Agua y Saneamiento ofrece canales para que los clientes expresen sus inquietudes y su satisfacción e influyan en la prestación del servicio y considera que esta comunicación es un medio para comprender mejor a sus clientes.

eThekwini Agua y Saneamiento usa las plataformas de los usuarios continuamente para resolver conflictos y explicar las nuevas políticas corporativas. Un caso en el que estas plataformas han funcionado bien es al abordar la frustración expresada por los clientes acerca de que el nivel del servicio básico gratuito resulta insuficiente para atender a los huéspedes adicionales durante los funerales. eThekwini Agua y Saneamiento ha conseguido resolver este problema de manera amistosa a través de la plataforma de usuarios: los hogares con un funeral inminente pueden ponerse en contacto con la empresa de servicios, la cual les permitirá un suministro ilimitado durante tres días a una tarifa fija reducida. Las plataformas se han usado también para atender otros cambios de política, llegar a acuerdos sobre ellos y adaptarlos, de manera que tanto los clientes como la empresa queden satisfechos —por ejemplo, respecto a quién puede registrarse como cliente— y para solucionar problemas entre eThekwini y sus empleados.

Basado en una comunicación personal con Teddy Gounden y Neil Macleod, eThekwini Water and Sanitation, Durban, Sudáfrica.

Construcción de un sistema para la recuperación de los recursos y no usarlo: Kullön, Suecia



La zona residencial de Kullön está ubicada en una isla en el municipio costero de Vaxholm, 50 km aproximadamente al norte de Estocolmo, Suecia. La zona tiene 250 casas, construidas en 2001, y ha atraído principalmente familias jóvenes de buen nivel educativo y con hijos. Kullön tiene grandes ambiciones ambientales; la iniciativa ambiental que ha llamado más la atención es el sistema de saneamiento. La planta de tratamiento de las aguas residuales es gestionada por la compañía de agua de propiedad del municipio de Roslagsvatten, y es complementada con inodoros de doble descarga y con separación de orina, con recolección separada de la orina en tanques instalados en cada vecindario. La descarga reducida de nutrientes al Mar Báltico y una mayor reutilización de los nutrientes de la orina contribuyen a hacer que el sistema sea más sostenible que muchos otros sistemas convencionales.

Sin embargo, ha habido poca o ninguna reutilización de la orina recolectada. Por el contrario, se ha permitido que se desborde a la planta de tratamiento de aguas residuales. Las principales razones de esto son que los aspectos institucionales y de gestión no fueron priorizados en la fase inicial de la planeación, lo cual condujo a roles poco claros y a conflictos de responsabilidades y económicos. La inversión inicial para la instalación del sistema agregó muy poco al costo de las casas (menos del 1 por ciento de su valor total). No obstante, las compañías que vendían las casas no calcularon el costo de la gestión del sistema de reutilización e ignoraron el problema; el municipio había declarado que la responsabilidad de la reutilización era de los futuros propietarios de las casas.

Los habitantes de Kullön no estaban dispuestos a asumir la responsabilidad

de encontrar a un agricultor dispuesto a reutilizar la orina tratada, ni a aceptar los costos financieros adicionales de la operación y el mantenimiento de un sistema que fue impuesto inicialmente por el municipio, en especial dado que el sistema era más sostenible y que los roles y responsabilidades propuestos entraban en conflicto con la legislación nacional. Los habitantes se pusieron en contacto con políticos locales y el municipio decidió que la responsabilidad por la reutilización de los recursos correspondía en realidad a Roslagsvatten.

El proceso de organizar el sistema tomó varios años (!) y, entretanto, la orina separada proveniente de los hogares aún no había sido reutilizada. Fue solo en 2008 cuando por primera vez la orina se recolectó, transportó, almacenó y fue reutilizada por un agricultor en un municipio vecino. Sin embargo, en 2013, este agricultor, que tenía un contrato con Roslagsvatten, cambió sus prácticas agrícolas y dejó de recibir la orina. Roslagsvatten no pudo encontrar una nueva solución para la recolección y reutilización de la orina y de nuevo esta comenzó a desbordarse hacia la planta local de tratamiento de aguas residuales.

El caso de Kullön ilustra con claridad que para obtener un sistema de saneamiento sostenible es necesario contar con un marco institucional apropiado y responsabilidades claras, no solo con la tecnología y la infraestructura necesarias. Es un ejemplo también de los sistemas nuevos, más sostenibles pero también un poco más costosos que se instalan en el ámbito privado, en oposición al ámbito público, en el cual descansa más apropiadamente la responsabilidad por la protección del bien público.

Fuente: Johansson y Kvarnström 2011; y comunicación personal con Mats Johansson, Ecooop, Suecia.

En la gestión de los bienes públicos habrá invariablemente compensaciones entre los diferentes actores, que pueden causar conflictos eventuales. Los escenarios y mecanismos para resolver estos conflictos deberían ser locales y públicos y, por lo tanto, accesibles a todas las personas (ver Felice y Vatierno 2012). En casos en los que las partes interesadas están involucradas en una planeación participativa, el proceso mismo de planeación sirve como escenario para la resolución de conflictos.

El caso descrito en el Cuadro 7.12 carecía inicialmente de un escenario para la resolución de conflictos. Un proyecto financiado externamente que involucraba a expertos nacionales ofreció un escenario para resolver este conflicto, lo cual, en combinación con un aumento de la capacidad local, contribuyó enormemente a implementar la reutilización de la orina en las tierras de cultivo. Como lo mostró el caso de e-Thekwini (Cuadro 7.11), las plataformas de usuarios pueden ser un medio eficaz para resolver los conflictos que surjan en torno a los servicios de agua y de saneamiento.

MENSAJES CLAVE

- Si bien hay una gama creciente de tecnologías disponibles para la recuperación y la reutilización de los recursos, las limitaciones institucionales y asuntos relacionados con la aceptación social pueden actuar como barreras para su uso.
- Los sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales dirigidos a la recuperación de los recursos exigen la participación de diversos actores, muchos de los cuales no están involucrados tradicionalmente en el sector del agua y el saneamiento.
- Como regla general, involucrar a nuevos sectores y partes interesadas mientras que se incrementa la calidad del servicio no será algo que se dé naturalmente, sino que exigirá acuerdos institucionales y mecanismos de gobernanza innovadores.

8. ECONOMÍA Y FINANCIAMIENTO



8.1 Aspectos económicos de la brecha en la gestión del saneamiento y de las aguas residuales

La gestión inadecuada del saneamiento y de las aguas residuales representa una pesada carga para las economías nacionales (ver el Capítulo 2). Aun cuando son escasos los intentos por cuantificar los costos de la gestión inadecuada del saneamiento y de las aguas residuales en el ámbito mundial y regional, se ha estimado

que un suministro inadecuado de agua y de saneamiento cuesta conjuntamente cerca del 1,5 % del PIB mundial, mientras que regiones como el sur del Asia y el África subsahariana experimentan pérdidas económicas mucho mayores, estimadas en el 2,9 % y el 4,3 % de su PIB, respectivamente (Hutton et al. 2007; ver la Figura 8.1). La brecha de saneamiento en todo el mundo se correlaciona con un bajo PIB y con la pobreza de los consumidores (Rosemarin et al. 2008), lo cual resalta el hecho de que esta brecha está estrechamente relacionada con problemas más amplios de desarrollo y desigualdad.

FIGURA 8.1

Pérdidas económicas relacionadas con un suministro inadecuado de agua y de saneamiento por región, como porcentaje del PIB

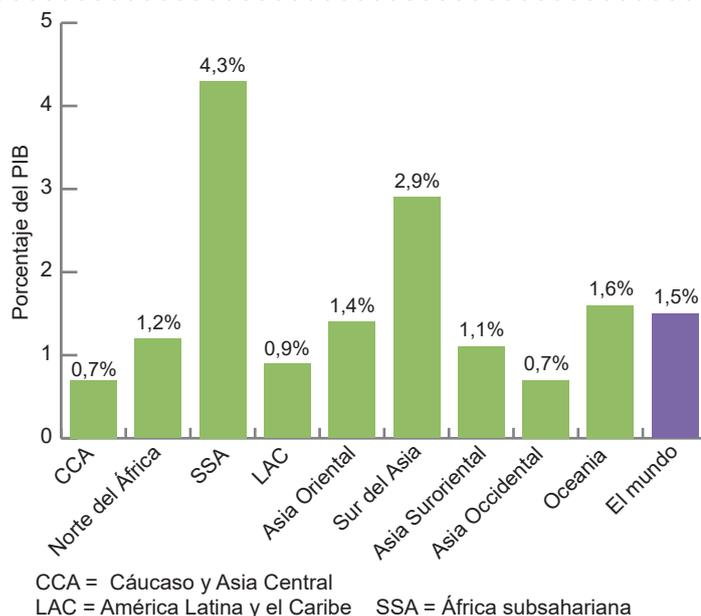


Figura: Basada en Hutton 2012

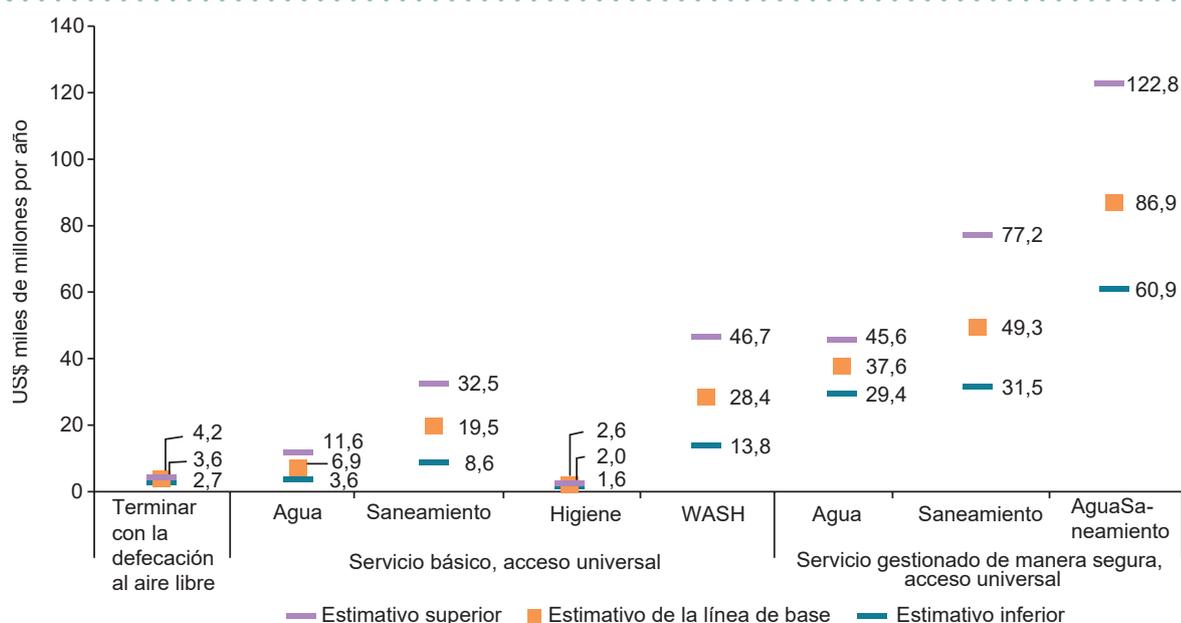
¿Cuánto podría costar ofrecer al mundo una cobertura universal de saneamiento funcional? El primer intento por estimar esta cuantía (Hutton 2012) arrojó una cifra de casi US\$200 mil millones por costos capitales urbanos durante el período 2011–2015. La cifra para las inversiones rurales fue de US\$134 mil millones.

Un nuevo estimativo del costo de la inversión de capital para satisfacer las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para WASH (por sus siglas en inglés: Water, Sanitation and Hygiene; Agua, Saneamiento e Higiene) seguros (Metas 6.1 y 6.2) para 2030 es de US\$74–166 mil millones por año (Hutton y Varughese 2016). La mayor parte de esta inversión tendría que hacerse en zonas rurales, en una proporción de urbano a rural de aproximadamente 1:1,75. En términos de porcentaje del PIB, el mismo informe estima cerca del 0,4 % para proveer servicios “seguros” que cumplan con las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (no se incluyen inversiones para permitir la recuperación de los recursos). Para las regiones con las mayores necesidades —el África subsahariana y el sur de Asia— esto significa un gasto de capital hasta del 2% y del 0,85% del PIB, respectivamente. Según el mismo estudio, los costos de operación y mantenimiento estarían al mismo nivel que los gastos de capital hasta 2030. Por lo tanto, lograr estos ODS en el mundo entero costaría cerca de US\$200 mil

millones anuales hasta 2030. Cumplir las metas 6.1 y 6.2 de los ODS costaría en todo el mundo tres veces el costo de suministrar los servicios “básicos” de WASH, como lo ilustra la Figura 8.2, pero sigue siendo un costo inferior al de los costos de salud derivados de un saneamiento inadecuado.

Debido a que los costos de proveer un saneamiento adecuado son inferiores a los relacionados con la salud por un saneamiento deficiente y a que el saneamiento se paga a sí mismo varias veces (ver la Figura 8.3), el argumento a favor de la inversión nacional en el saneamiento es fuerte. No obstante, un informe reciente muestra que el gasto público en WASH se estancó entre 2008 y 2014 (Martin y Walker 2015). En algunos países en donde la necesidad es mayor, el gasto es muy bajo; por ejemplo, en los países subsaharianos, el gasto en aguas públicas y saneamiento fue en promedio únicamente del 0,32 % del PIB durante el período 2000–2008 tanto para las zonas urbanas como para las rurales (van Ginneken et al. 2011).²⁰ Esta cifra es muy inferior al punto de referencia del 1 % del PIB (complementado con un 1 % adicional obtenido mediante estrategias de recuperación de costos, tales como tarifas para los usuarios y “contribución de la comunidad”) propuestas por el PNUD para los países de bajos ingresos con cobertura limitada y altos niveles de pobreza (PNUD 2006).

FIGURA 8.2 Costos capitales mundiales anuales de diferentes niveles de servicio de WASH, 140 países



Nota: La terminación de la defecación al aire libre (OD) o la ausencia de defecación al aire libre tiene como meta el año 2025. WASH = agua, saneamiento e higiene;

Figura: Hutton y Varghese 2016

²⁰ Esto se puede comparar con los gastos totales en salud (sin incluir agua y saneamiento) de un promedio del 6 % en los países del África subsahariana en 2013, y con un promedio del 9,3 % en la OECD. Cifras de la Base de Datos del Gasto Mundial en Salud de la OMS (<http://apps.who.int/nha/database/ViewData/Indicators/en>).

FIGURA 8.3

Relación costo-beneficio de las intervenciones para lograr acceso universal a un saneamiento mejorado, por región, 2010

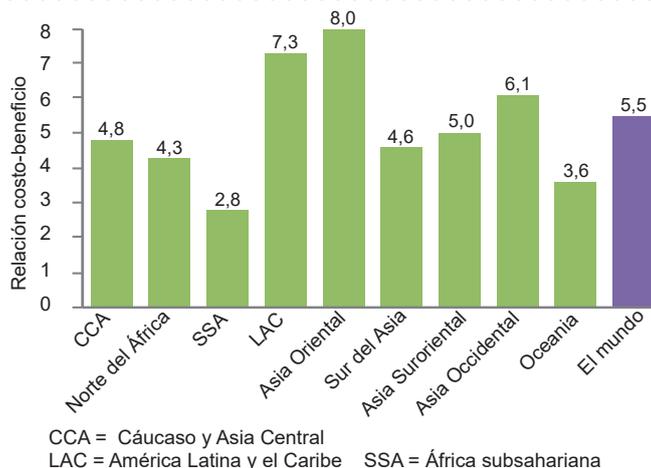


Figura: Basada en Hutton 2012

8.2 Financiamiento de la gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales

Los dos tipos principales de gasto que se deben tener en cuenta para el suministro del saneamiento y de las aguas residuales son los gastos de capital —en particular, las inversiones únicas que se realizan en elementos de “hardware” tales como infraestructura, tecnologías y equipos, junto con terrenos — y los costos recurrentes de la operación y mantenimiento del sistema. Es posible que haya otra serie de costos relacionados con factores tales como reformas de reglamentaciones y su aplicación, ensayos de calidad de los efluentes, creación de la demanda y aspectos de desarrollo relacionados. Es esencial anticipar los costos (y beneficios) de la totalidad del sistema y de la cadena de valor y durante todo el ciclo de vida del sistema.

Por último, las fuentes principales de financiamiento del gasto de capital en un sistema convencional de gestión del saneamiento y de las aguas residuales son el gasto público, la ayuda externa y la recuperación de costos a través de los usuarios. Con frecuencia, las inversiones de capital, bien sea de parte de los usuarios o del ámbito público, se realizan mediante créditos que pueden ir desde la microfinanciación hasta bonos del gobierno y acciones corporativas, según la persona que solicita el crédito, su propósito y la disponibilidad de este.

Para efectos de la sostenibilidad del sistema, el financiamiento tiene que ser predecible y confiable a largo plazo. Esto no solo para tener

acceso al crédito y a las deudas de servicio, sino también para garantizar que el sistema funcione de manera eficiente durante el mayor tiempo posible.

La gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales ofrece beneficios para el usuario y para la comunidad y la sociedad circundantes y con frecuencia hace parte también de una estrategia de desarrollo. No obstante, aunque por lo general la gestión del saneamiento y las aguas residuales se paga a sí misma varias veces (Hutton 2012), en especial cuando hay recuperación de los recursos, muchos de sus beneficios económicos no son monetarios. Casi siempre habrá una brecha entre los costos de instalar y operar un sistema y los ingresos que se pueden obtener a lo largo de la cadena de valor. Por lo tanto, es posible que los usuarios o los gobiernos se muestren reticentes a hacer las inversiones necesarias para conseguir el resultado deseado para el desarrollo.

Por estas razones, la gestión del saneamiento y de las aguas residuales a menudo se subsidia, o incluso se paga en su totalidad, con cargo al gasto público, o bien —en el caso de los países en desarrollo, mediante ayuda externa. Por ejemplo, los subsidios se pueden usar para ayudar a los usuarios a comprar un inodoro mejor o un digestor de biogás, o para instalar inodoros con separación en la fuente. Si los subsidios se calculan y dirigen adecuadamente pueden ser una manera rentable de contribuir al cumplimiento de las metas de desarrollo. También se pueden considerar como formas de pagar al usuario algunos de los beneficios sociales y ambientales indirectos de la gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales.

8.3 Financiamiento en el ámbito público

El financiamiento de donantes externos ha cubierto —y continuará haciéndolo— parte de la inversión en la gestión del saneamiento y de las aguas residuales. Aunque el gasto público en agua y saneamiento se ha estancado en años recientes (ver más arriba), la ayuda externa para agua y saneamiento casi se duplicó durante el período 2000–2011 hasta una cifra anual aproximada de US\$8 mil millones (OECD-DAC 2013). No obstante, la ayuda generalmente no es una base adecuada y estable para el financiamiento a largo plazo de un sistema de gran amplitud, sobre todo porque los compromisos de ayuda tienden a ser mucho más cortos que el ciclo de vida del sistema.

Además, dada la inversión necesaria para conseguir acceso universal a una gestión adecuada del saneamiento y de las aguas residuales, es probable que la ayuda sea insuficiente. Por lo tanto, la sostenibilidad exige financiamiento nacional, al menos en parte. La experiencia en los países en desarrollo demuestra las ventajas de combinar diferentes tipos y fuentes de financiamiento (ver ISF-UTS 2014).

Gastos de capital

Es preciso hacer gastos de capital y gastos de operación y mantenimiento tanto en el ámbito privado (del usuario y del reutilizador) como en el ámbito público (ver el Capítulo 7), en donde cada uno tiene distintas implicaciones para el financiamiento. Los costos del ámbito público podrían incluir la instalación y mantenimiento de las redes de alcantarillado; la construcción y operación de instalaciones para tratamiento de aguas residuales o una planta centralizada para la recuperación de los recursos; los puntos de recolección de lodos fecales; o la compra y el mantenimiento de vehículos para transportar los lodos y otros desechos. Estos costos se pueden recuperar mediante tarifas a los usuarios, impuestos o una combinación de ambos (junto con la ayuda externa, en el caso de los países en desarrollo).

El saneamiento urbano requiere, por lo general, sistemas basados en empresas de servicios. Instalar (o mejorar) las redes de alcantarillado y las plantas de tratamiento de aguas residuales exige importantes inversiones, casi siempre de parte del gobierno o de asociaciones público-privadas, y financiadas por bonos o acciones

corporativas. En estos casos, dada la escala de la inversión y el período de tiempo que toma recuperar los costos, es importante planear los futuros desarrollos en la zona atendida de manera que, por ejemplo, la infraestructura se pueda extender con facilidad para atender nuevas comunidades y las plantas de tratamiento tengan la capacidad suficiente para manejar una población creciente de usuarios. Como se expuso en el Capítulo 4, es necesario alinear todos los componentes del sistema para obtener un máximo de eficiencia en la recuperación de recursos y en el tratamiento de aguas residuales. Por consiguiente, es razonable invertir en un sistema, incluida su infraestructura, que sea compatible con cualquier propósito futuro en este sentido, incluso si en la actualidad no es asequible.

En el caso de los inodoros con separación de orina, las letrinas de pozo, los tanques sépticos, etc., que requieren que los lodos fecales, la orina, los desechos alimentarios u otros desechos se transporten fuera de la propiedad del usuario para su tratamiento o disposición, es posible que exista también la necesidad de una infraestructura pública (tal como puntos de recolección de lodos) y empresas de servicios, pero la mayor parte de los costos los asumirán los proveedores del sector privado, reglamentados (y quizás subsidiados) por el sector público. El prestador del servicio recolectará directamente las tarifas de los usuarios, o bien se recolectarán mediante impuestos (en especial, impuestos municipales) y luego se trasladarán al prestador del servicio.

Dadas las tendencias de urbanización proyectadas, en particular, en zonas en las que existen actualmente grandes brechas en la gestión del saneamiento y de las aguas residuales, al planear las inversiones es importante tener en cuenta en qué forma una creciente densidad poblacional puede afectar la viabilidad económica de diferentes sistemas. Un estudio único realizado en Brasil a comienzos de la década de 1980 encontró que el paso de sistemas in situ a sistemas descentralizados con tubería era viable cuando la densidad poblacional aumentaba a 200 personas/hectárea aproximadamente (suponiendo que los usuarios tuvieran la capacidad de pagar tarifas adecuadas), mientras que los sistemas centralizados comenzaban a resultar económicamente competitivos solo con una densidad de 350 personas/hectárea. (Sinnatamby 1983). Sin embargo, los sistemas in situ siguen siendo la forma más común de saneamiento en las zonas urbanas (WSP 2014).



La planta de tratamiento de aguas residuales de la base militar conjunta Pearl Harbor-Hickam, en Estados Unidos, ha sido acondicionada para capturar gas metano para su uso energético posterior. Fotografía: Flickr / US Navy / Denise Emsley

Operación y mantenimiento

Una práctica muy difundida consiste en no incluir los costos de operación y de mantenimiento del sistema y considerar únicamente las inversiones de capital iniciales, lo que produce como resultado sistemas que funcionan de manera ineficiente o que se averían por completo con el tiempo. En el ámbito público, por lo general, los contratistas privados están a cargo de la operación y mantenimiento del sistema. Es posible que hayan sido empleados o contratados por el gobierno o por una empresa de servicios (para hacer el mantenimiento de una planta de tratamiento o de una red de alcantarillado o de drenaje, etc.), o bien directamente por el usuario o la comunidad (por ejemplo, en el caso de los sistemas in situ, los servicios de vaciado de lodos fecales, los inodoros comunitarios o los sistemas descentralizados).

Dado que los servicios tienen tanta importancia para la protección de la salud y del medio ambiente, incluso los prestadores del servicio contratados por los usuarios deben estar sujetos a reglamentación y es necesario implementar medidas para garantizar que puedan operar de una manera continua. Los subsidios y los servicios suministrados por el Estado pueden contribuir a hacerlo y a evitar que los usuarios contraten prestadores de servicios no sujetos a reglamentaciones y sin las calificaciones adecuadas. Sin embargo, esto se debe ponderar contra los intereses de la sostenibilidad

a largo plazo y el fortalecimiento de este sector de la economía.

Los subsidios pueden usarse también para alentar a los prestadores de servicios a que atiendan a las comunidades pobres o a otras comunidades que no son atractivas en términos económicos. Tradicionalmente, los subsidios se han pagado por adelantado o a intervalos predecibles. No obstante, un modelo de subsidios emergente para la prestación del servicio, ayuda basada en resultados (OBA, por su sigla en inglés), vincula los desembolsos con los resultados. Los prestadores de servicios deben pagar los costos iniciales, a menudo a través de créditos del sector privado, lo cual ofrece un fuerte incentivo para su desempeño. Este modelo y otros tipos de financiamiento basados en resultados (FBR) se describen en Trémolet (2011). La Figura 8.4 ilustra cómo se pueden presentar las funciones para los propósitos de ayuda basada en resultados.

La operación y el mantenimiento pueden requerir la construcción de capacidad de los usuarios, en especial en aquellos sistemas que requieren separación en la fuente (ver el Capítulo 4) o para la operación de sistemas de recuperación de recursos con los que no están familiarizados, tales como un digestor de biogás o un inodoro de compostaje. También es necesaria inversión para entrenar y mantener una fuerza laboral de proveedores especializados en servicios de operación y mantenimiento. Es

FIGURA 8.4

Maneras posibles de presentar la ayuda basada en resultados a lo largo de la cadena de valor

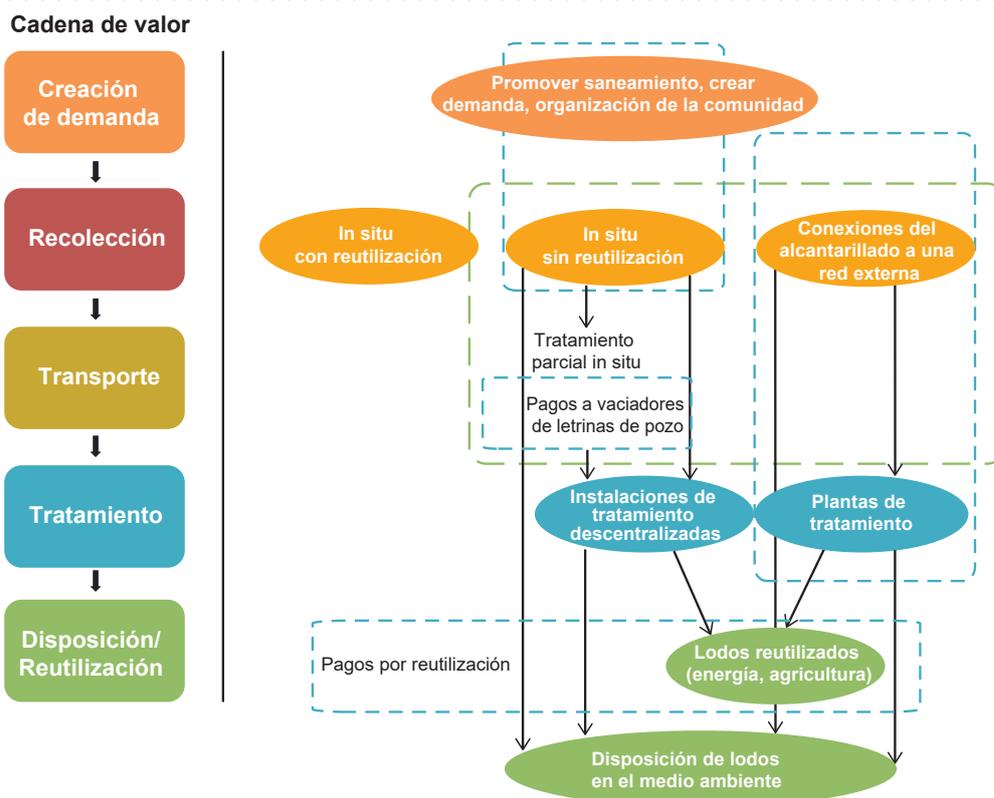


Figura: Basada en Trémolet 2011

preciso también ofrecer el servicio de ensayos científicos sobre la calidad de las aguas residuales tratadas o de otros productos recuperados.

Costos del “software”

En muchos casos, en especial cuando se introducen innovaciones tales como separación en la fuente y reutilización de recursos, es necesario apoyar nuevos sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales mediante inversiones en concientización, capacitación de los actores y demostraciones para crear interés de parte del mercado local (ver el Capítulo 7).

Las actividades de “software” relacionadas con la creación de demanda incluyen el mercadeo, la movilización social y el desarrollo de productos. Por lo general, el mercadeo lo realizan las ONG u organizaciones comunitarias, el gobierno local, ministerios o empresarios. Los costos asociados con estas actividades incluyen salarios para el personal y costos de transporte para el mercadeo, junto con los costos de desarrollar y producir materiales para el mercadeo. Análogamente, el desarrollo de productos realizado por empresarios del saneamiento, universidades o firmas de ingeniería conlleva tanto costos de personal como de capital (ver Trémolet 2011).

El concepto de Club Comunitario de Salud (CCS), que se centra en crear conciencia entre los miembros de la comunidad y en la exigencia de prácticas saludables, incluyendo un mejor saneamiento e higiene, es ejemplo de un enfoque dirigido a crear demanda dentro de un enfoque de desarrollo más amplio (Waterkeyn y Waterkeyn 2013).

8.4 Financiamiento en el ámbito privado

Los costos en el ámbito privado pueden incluir la instalación y mantenimiento de inodoros u otras interfaces del usuario; la excavación y mantenimiento de tanques sépticos u otros tanques para recolección y almacenamiento; el acceso a servicios para retirar los lodos fecales (Chowdhry y Koné 2012), la orina o desechos alimentarios recolectados; o bien, en otra parte del ciclo, los medios para reutilizar los recursos recuperados.

Al planificar disposiciones financieras que incluyan inversión por parte de los usuarios, es importante evaluar su capacidad de pago y su disposición a pagar (que incluye el uso de créditos para las inversiones de capital). Al

hacerlo, es preciso tener en cuenta los posibles ahorros e ingresos en el hogar que resulten de la instalación y —en especial en el caso de los sistemas in situ— de la recuperación y reutilización de los recursos. Una cuidadosa contabilidad de estos ahorros y ganancias puede contribuir también a que los hogares tengan acceso a créditos.

En las zonas rurales pobres puede resultar difícil persuadir a los usuarios de invertir en nuevos sistemas in situ, en especial cuando aún practican la defecación al aire libre. Muchos de los proyectos anteriores apoyados por gobiernos y donantes han ofrecido sistemas gratuitos, pero este no es un modelo sostenible, dada la escala de las brechas identificadas en el saneamiento adecuado. La experiencia sugiere también que el sentido de pertenencia es a menudo un incentivo importante para que los usuarios utilicen apropiadamente los sistemas una vez instalados, de manera que los enfoques se deberían orientar a crear una demanda suficiente para que los usuarios estén dispuestos al menos a hacer una inversión mínima.

Con respecto a la disposición a pagar (y a la utilidad percibida de la inversión por parte de los usuarios), es posible usar diversas estrategias para incrementar la demanda, algunas de las cuales ya se mencionaron: el mercadeo, el desarrollo de productos que satisfagan las necesidades y expectativas de los usuarios (mientras cumplen las funciones deseadas), la concientización, etc. Otra estrategia son los esfuerzos de demostración para que los

mismos usuarios potenciales sean testigos de los beneficios. Un ejemplo de esto es un proyecto rural de saneamiento en Bihar, India, en donde los miembros de la comunidad realizaron un ensayo en campo y cultivaron los mismos productos con orina y con un fertilizante químico, e invitaron a visitantes de las comunidades vecinas, del gobierno local y de institutos de investigación (Andersson 2014b). Además, se instaló un inodoro de compostaje en un centro de educación ambiental popular para propósitos de demostración y de aprendizaje (Andersson 2014c).

Una ventaja de los enfoques a más largo plazo orientados a la comunidad, tales como el CCS, es que las comunidades pueden instalar sistemas una vez que haya una demanda suficiente, lo cual contribuye a asegurar su sentido de pertenencia. La confiabilidad del sistema y el valor percibido de los servicios que presta a los usuarios ayudará a aumentar la demanda local y la disposición a pagar.

El microcrédito ha demostrado su valor en los proyectos rurales, pues anteriormente se habían enfrentado dificultades para atraer créditos comerciales. El Programa “La inclusión financiera mejora el saneamiento y la salud” (Financial Inclusion Improves Sanitation and Health) (FINISH; <http://finishsociety.org/>) ha aplicado microfinanciamiento y ayuda basada en resultados para conseguir un modelo integrado que atienda tanto la oferta como la demanda del reto que representa el saneamiento en la India (Post y Athreye 2015). Esta iniciativa ha ayudado



Fertilizante basado en orina y heces compostadas empacados para venta comercial. Fotografía: Kim Andersson

Ejemplos de esquemas de financiamiento novedosos y sus características básicas



El Fondo de las Naciones Unidas para el Desarrollo del Capital apoya instituciones de microfinanciamiento, bancos, cooperativas y compañías de transferencia de dinero para garantizar que los productos financieros adecuados (ahorros, crédito, seguros, pagos y remesas) estén disponibles para las personas, en especial las no bancarizadas, microempresas y pequeñas y medianas empresas. Los productos financieros se ofrecen a un costo razonable y con una base sostenible, para superar crisis económicas, garantizar un consumo fácil y suministrar inversiones educativas y a emprendimientos que permitan la transición para salir de la pobreza (ver www.uncdf.org).

Los esquemas de microcrédito ofrecen préstamos a pequeñas empresas y a hogares. Un ejemplo de ellos es WaterCredit, suministrado por la organización Water.org (ver water.org/solutions/watercredit).

El Fondo Filipino Rotatorio del Agua incrementa la reserva de financiamiento disponible para el sector del agua apalancando los fondos públicos limitados con OBA y financiamiento del sector privado. Una lección importante ha sido que el financiamiento privado, unido a los fondos públicos, puede impulsar la transparencia de todo el sector, su eficacia y rendición de cuentas de forma objetiva y libre de política; las reglas del juego para acceder a los préstamos comerciales contribuyen a impulsar una amplia reforma del sector del agua (ver Paul 2011).

El Fondo Rotatorio Estatal de Agua Limpia (*Clean Water State Revolving Fund*) es una sociedad federal estadounidense que suministra a las comunidades una fuente permanente e independiente de financiamiento a bajo costo para una amplia gama de proyectos de infraestructura para la calidad del agua, que incluye la gestión y la reutilización de aguas residuales (ver www.epa.gov/cwsrf).



Este proyecto en Bihar, India, enfrentó el problema del financiamiento suministrando la infraestructura de concreto para inodoros resistentes a inundaciones, mientras que los hogares se encargaron de construir la superestructura. Foto: Kim Andersson

a más de 400.000 hogares a obtener acceso al saneamiento entre 2009 y comienzos de 2015. El Cuadro 8.1 ilustra algunos ejemplos adicionales de esquemas de financiamiento novedosos.

8.5 Implicaciones financieras de la recuperación y la reutilización

Mejorar la gestión del saneamiento y de las aguas residuales conlleva diversos beneficios directos e indirectos para la sociedad, los cuales incrementan su valor cuando hay inversiones más ambiciosas en términos de sostenibilidad (ver la Figura 8.5). Como se señaló en los capítulos anteriores, las aguas residuales y las excretas pueden considerarse como un activo económico. No obstante, en los análisis de rentabilidad pocas veces se incluyen los rendimientos indirectos externos, entre otras razones porque es difícil asignarlos con confianza a una inversión en saneamiento o en aguas residuales, y porque no producen rendimiento monetario directo (cuando no hay mecanismos innovadores de recuperación de costos).

En los sistemas convencionales, los rendimientos monetarios directos nunca cubrirán los costos

totales de la instalación y de la operación y el mantenimiento del sistema. Sin embargo, la recuperación y la reutilización de los recursos puede transformar la economía de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales desde el hogar hasta el municipio. Aportan beneficios ambientales, sociales y económicos adicionales que pueden vincularse claramente con la inversión e incluyen la venta de productos de la reutilización comercialmente viables tales como el biogás, los fertilizantes y el agua de irrigación, y su valor para la sociedad se puede incluir en el cálculo financiero general como ganancias o beneficios (ISF-UTS 2014).

No obstante, los sistemas de recuperación y reutilización de recursos acarrear costos específicos diferentes de la instalación y operación de nuevas tecnologías e infraestructura. Por lo tanto, es necesario invertir en estudios de mercado, en modelos de negocio financiables para la recuperación de costos, y asegurar la participación de los actores y sociedades innovadoras (Drechsel et al. 2018). El International Water Management Institute – IWMI (Instituto Internacional de Gestión Hídrica) lideró una importante iniciativa dirigida a desarrollar modelos de negocio para el saneamiento con recuperación de recursos, analizando más de 40 casos (principalmente en

FIGURA 8.5 Escala de propuestas de incremento del valor relacionadas con el tratamiento de aguas residuales con base en el aumento de las inversiones y su potencial para la recuperación de costos

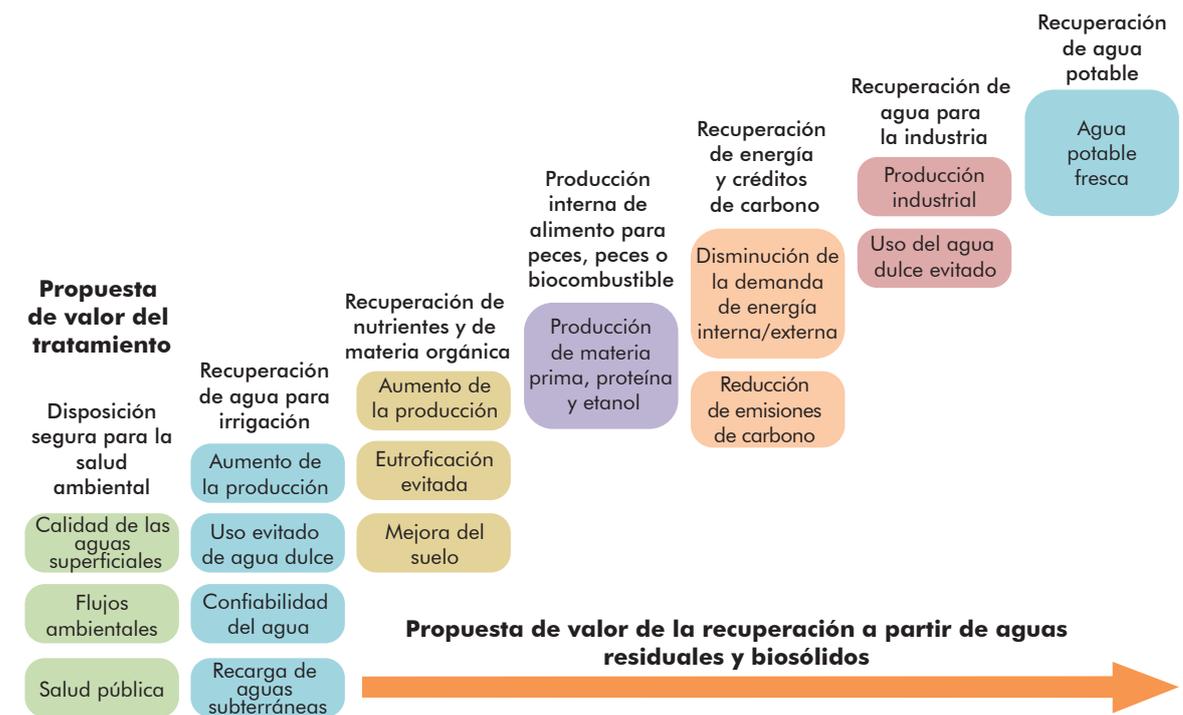


Figura: Basada en Wichelns et al. 2015



Tanques de almacenamiento para orina separada en la fuente, El Alto, Bolivia.
Fotografía: Kim Andersson

FIGURA 8.6

Ejemplo de un diagrama destinado a evaluar modelos de negocio para sistemas de saneamiento con recuperación y reutilización de recursos según múltiples indicadores

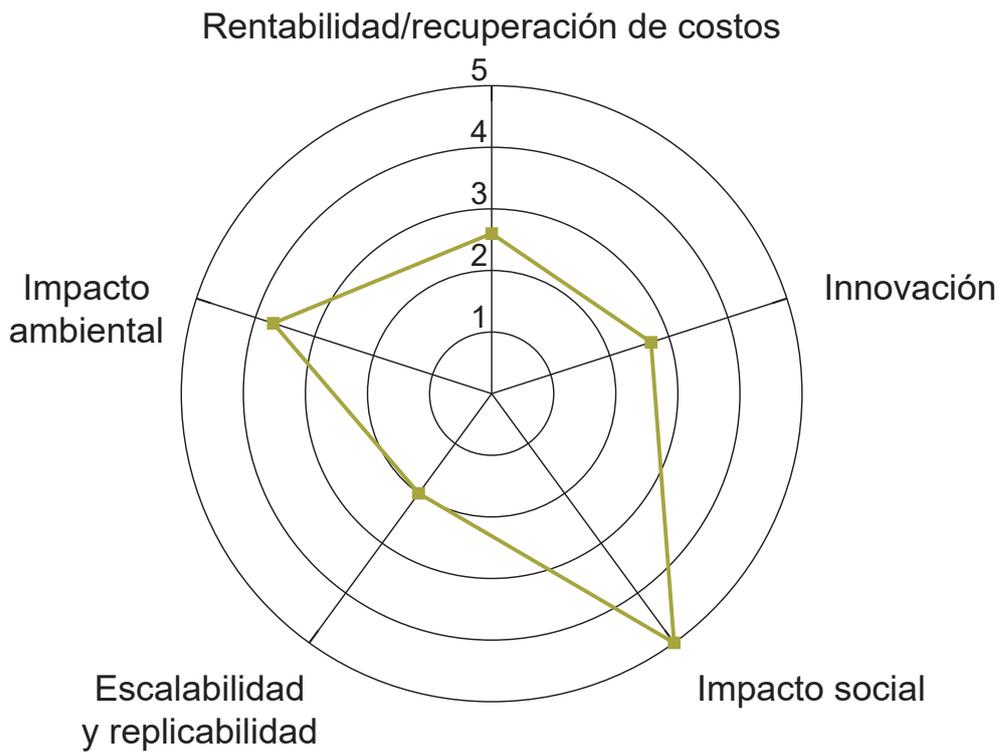


Figura: Basada en Otoo and Drechsel 2018

países de ingresos bajos o medios), resaltando cómo la recuperación y la reutilización de recursos pueden apoyar el sustento familiar, la seguridad alimentaria, los negocios verdes, la reducción en la generación de desechos y la recuperación de costos en la cadena de valor del saneamiento (Otoo y Drechsel 2018).

El estudio evaluó diferentes modelos de recuperación de recursos con base en criterios como: rentabilidad/recuperación de costos; impacto social; impacto ambiental; escalabilidad y replicabilidad; e innovación (ver la Figura 8.6). Por ejemplo, en el caso del uso del agua en la agricultura, los ingresos directos provenientes de vender aguas residuales tratadas a los agricultores con frecuencia son limitados, debido al acceso gratuito o subsidiado que tienen a otras fuentes de agua. Por lo tanto, concluyeron que era necesaria una propuesta de mayor valor para las aguas residuales, y así atraer a los agricultores.

Otro estudio en el que se comparan las ventajas e inconvenientes de diferentes tipos de tratamiento del lodo —la digestión aerobia y anaerobia, la deshidratación y el compostaje natural y mecánico— halló que la digestión anaerobia con recuperación de energía presentaba los costos más bajos y los menores impactos ambientales (Ghazy et al. 2011). Sin embargo, la escala puede marcar la diferencia: en las plantas de tratamiento de aguas residuales diseñadas para atender poblaciones menores de 90.000 personas, los lechos de secado eran más rentables bajo las condiciones egipcias.

La recuperación y reutilización de los recursos pueden compensar los costos de los sistemas de gestión del saneamiento y de las aguas residuales —en ocasiones, sustancialmente. Con frecuencia, la recuperación de energía es especialmente atractiva desde el punto de vista económico, entre otras razones porque la energía necesaria para los procesos en el tratamiento convencional de las aguas residuales puede llegar a representar la mitad de los costos totales de operación (para más información sobre las necesidades energéticas en el tratamiento de las aguas residuales, ver Lazarova et al. 2012; Long y Cudney 2012). La recuperación de biogás a partir de lodos puede ser aún más eficiente descomponiendo los lodos durante el proceso de digestión anaerobia.

La Tabla 8.1 ilustra un intento por categorizar los diferentes costos de instalar y operar un sistema con recuperación de los recursos. Sin embargo, uno de los principales argumentos a favor de la recuperación y la reutilización de los recursos es

que sus beneficios económicos potenciales en términos de costos serán compensados y habrá nuevas fuentes de ingreso, productividad y sustento. En los contextos en donde es necesario reducir la carga de nutrientes que llegan a las aguas receptoras, la separación de la orina, rica en nutrientes (ver la sección 4.4), puede reducir significativamente los costos de tratamiento de las aguas residuales en sistemas centralizados que operan con agua. Esto tiene un potencial demostrado de reducir a la mitad el gasto de capital y de reducir el gasto operacional en un 25 % (Maurer 2013).

Desde luego, estos costos y beneficios varían según una amplia gama de factores contextuales. La Tabla 8.2 ilustra una herramienta desarrollada por Winpenny et al. (2010) para estimar los diversos costos y beneficios para diferentes actores en un contexto determinado. Existen tanto costos como beneficios para todos, y los costos se comparten a lo largo de la cadena de valor. Cuando se calculan los gastos de capital y de operación es importante nunca pasar por alto los impactos positivos de la reutilización de efluentes como un posible incentivo para la inversión. Esto se ilustra en un estudio financiero de factibilidad realizado para un sistema con reutilización agrícola de las aguas residuales tratadas en el valle del Po en Italia (Verlicchi et al. 2012).

Fue necesario un tratamiento mejorado de las aguas residuales para atender problemas urgentes vinculados con sequías recurrentes y eutroficación en una zona ambientalmente sensible. El sistema proyectado incluía un humedal artificial en el parque público que rodeaba la planta de tratamiento para “refinar” el efluente tratado, de manera que alcanzara los estándares establecidos para su reutilización agrícola y, a la vez, ofreciera espacio para la recreación. El estudio concluyó que, teniendo en cuenta factores tales como el valor presente neto, la rentabilidad, el período de amortización y la tasa interna de retorno, el proyecto era financieramente factible. La mayor parte de los beneficios no eran de carácter mercantil.

En España, un caso de reutilización agrícola de aguas residuales tratadas (pero no separadas) (13,2 millones de m³ por año) tuvo como resultado beneficios aún mayores en relación con los costos (Heinz et al. 2011). En general, se calculó que los beneficios superaron los costos en €9,5 millones por año. Dos factores importantes en este caso se relacionaron con ahorros: en el costo de bombear agua de irrigación de los ríos, y en la compra de fertilizantes.

TABLA 8.1

Principales costos de los sistemas de reutilización de aguas residuales

Segmento del sistema	Elementos de los costos principales	
	<i>Instalaciones físicas y costos asociados con ellas</i>	<i>Otros costos</i>
Generación de aguas residuales	Pretratamiento (en especial por parte de la industria) para impedir que los componentes tóxicos para los humanos o los cultivos sean descargados en el alcantarillado	Sistema reglamentario para control en la fuente
Sistema de recolección mediante alcantarillado	Costos de construcción, operación y mantenimiento de tubería y estaciones de bombeo	
Tratamiento de aguas residuales para descarga o reutilización	Costos de construcción, operación y mantenimiento de instalaciones para tratamiento	Sistema reglamentario para establecer estándares de calidad de tratamiento o de efluentes y para monitorizar la calidad del agua tratada y la protección a los trabajadores
Tratamiento adicional de las aguas residuales para reutilización	Costos de construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones de tratamiento	Sistema reglamentario para establecer estándares de calidad de tratamiento o de efluentes y para monitorizar la calidad del agua tratada y la protección a los trabajadores
Sistema de distribución de aguas residuales sin tratar o de agua recuperada	Costos de construcción, operación y mantenimiento de tubería, canales y almacenamiento del agua	
Sitio para la reutilización	Costos de construcción, operación y mantenimiento de tubería, canales, contadores o instrumentos para la medición del agua, válvulas, equipo de irrigación; adaptación de las instalaciones sanitarias de los sitios existentes para separar la tubería de agua potable de la tubería de agua no potable	Compra adicional de agua para lixiviar las sales del suelo, protección de los trabajadores, efectos negativos sobre la producción y los ingresos agrícolas, educación de los residentes, monitorización de las aguas subterráneas, vigilancia reglamentaria
Sistema de descarga de efluentes	Costos de construcción, operación y mantenimiento de las tuberías	Vigilancia reglamentaria

Fuente: Winpenny et al. 2010

La Universidad de Tsinghua realizó un análisis de rentabilidad exhaustivo en el que se comparaba un sistema de saneamiento convencional con un sistema in situ de reutilización instalado en un complejo de apartamentos urbanos, como parte de un proyecto liderado por el Instituto del Medio Ambiente de Estocolmo (Figura 8.7). El proyecto instaló inodoros secos con separación de orina en todos los apartamentos de un nuevo bloque (3.000 habitantes) en Erdos, al norte de China.

Aplicando una tasa de descuento social del 8 %, se halló que el sistema in situ de reutilización era más viable económicamente que el sistema convencional (Rosemarin et al. 2012). Los

beneficios del sistema de reutilización incluyeron ahorro de agua, reciclaje de los nutrientes de las excretas y reutilización de las aguas residuales, y ascendieron aproximadamente a US\$20.000 por año, cerca del doble de los obtenidos con el sistema convencional. Sin embargo, los beneficios externos fueron aproximadamente de US\$2 millones por año: 35 veces la cifra que arrojó el sistema convencional.

Debe señalarse también que los costos de construcción del sistema de reutilización fueron el doble de los del sistema convencional, en parte porque el sistema era novedoso y había pocas experiencias similares de las cuales aprender. Es probable que los costos

TABLA 8.2

Beneficios y costos financieros de la reutilización del efluente para los principales actores

Actor	Beneficios	Costos	Factores clave
Gobierno central	Costo evitado de grandes proyectos de agua dulce interestatales o nuevas mega-infraestructuras	Costo de capital inicial del proyecto; costo fiscal neto de las transferencias y las compensaciones pagadas a otros actores	Delineación de las responsabilidades fiscales y financieras entre diferentes niveles de administración; política de precios del agua; acceso a financiamiento externo; estándares obligatorios ambientales y de salud (p. ej. UE)
Gobiernos estatales, autoridades regionales del agua	Ingresos de la venta de agua dulce en bloque a las ciudades; ingresos fiscales por un mayor desarrollo de zonas urbanas y rurales gracias a una mayor seguridad del agua	Esquemas de financiamiento de capital y costos de operación y mantenimiento; compra (*) de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales; todas las transferencias fiscales implicadas	División de las responsabilidades financieras y fiscales entre los gobiernos centrales, regionales y locales; reglamentaciones ambientales y de salud pública locales
Empresas municipales	Costos evitados de soluciones alternativas de agua; ahorro en los costos de tratamiento del efluente; Ingresos adicionales* por la venta de agua urbana; reducción de cobros por contaminación	Costos de capital y costos operativos de las nuevas instalaciones e infraestructura; costos de medidas de salud pública y restricciones a la comodidad	Política tarifaria para el efluente y el agua dulce; distribución de costos entre los usuarios y las autoridades;** grado de escasez urbana actual y futura
Agricultores	Mayor confiabilidad en el efluente; ahorros en la captación y bombeo; ahorros en fertilizante; mayor rendimiento e ingreso por ventas	Costo de las restricciones a la producción; reducción de la comodidad, reflejada en el precio de la tierra	Qué parte de los costos del proyecto cubren los agricultores y son recuperados por ellos; alternativas disponibles, p. ej. aguas subterráneas propias; precio cobrado por el efluente en comparación con el agua dulce; capacidad para vender los derechos de agua existentes; severidad de las restricciones a la producción

Al usar esta tabla para estimar los beneficios y costos de un sistema de reutilización es importante distinguir entre una inversión única (p. ej. inversiones de capital) y los costos recurrentes (como los de operación y mantenimiento).

*Obsérvese que en la mayoría de países europeos el agua no se puede vender, pero los costos se pueden recuperar.

**De acuerdo con la política de la UE, todos los costos deben estar incluidos en el precio final.

Fuente: Winpenny et al. 2010

de construcción de un sistema semejante de reutilización se reduzcan a medida que maduran las tecnologías y estas se benefician de un mayor apoyo de las políticas. Se sugirió que los mecanismos de apoyo podrían incluir un

sistema de derechos al agua, incentivos para una menor descarga de aguas residuales y una tarifa razonable para las aguas residuales.

8.6 Gestión de saneamiento y aguas residuales en un contexto de desarrollo

En muchos países en desarrollo, la gestión del saneamiento y de las aguas residuales hace parte de una necesidad de desarrollo más amplia, junto con mejoras para la comunidad y para los hogares, entre ellas: mejores viviendas, desagües, servicios de energía, reforma/zonificación del uso de la tierra, servicios de salud, seguridad alimentaria, empleo, alfabetización, gobernanza, sistemas de impuestos y otras. Sin embargo, las inversiones en agua y saneamiento con frecuencia no están integradas a otras prioridades de desarrollo, lo cual puede tener como resultado ineficiencia e incluso fracaso de los proyectos. Financiar la gestión del saneamiento y de las aguas residuales sin integrarla con estas otras áreas de desarrollo puede ser contraproducente.

Por lo general, tanto en el Norte como en el Sur, el sector del agua y del saneamiento se financia con subsidios. Sin embargo, estos subsidios

están dirigidos casi exclusivamente a los centros urbanos, mientras que las zonas rurales y las zonas informales periurbanas (donde la mayor parte de los sistemas, cuando existen, son in situ) reciben niveles de subsidio mucho menores. Para que el sector asuma un rol más resiliente se requiere un desarrollo integral en términos de infraestructura urbana y periurbana y, al mismo tiempo, capacidades profundamente arraigadas de gestión para la operación y el mantenimiento de los sistemas. Cuando no se logra este enfoque equilibrado, es probable que veamos fracasos recurrentes y frecuentes (Corte Europea de Auditores 2012).

Al mismo tiempo, en muchas zonas rurales, el apoyo suministrado debe estar vinculado estrechamente al desarrollo rural, a la tenencia de la tierra, a la extensión agrícola y a los servicios de salud. El dilema en torno a financiar un WASH universal y el saneamiento en particular tiene sus raíces en el propio desarrollo y por tanto, el sector no puede costearse y financiarse aisladamente.

FIGURA 8.7

Rubros incluidos en el análisis de rentabilidad que compara un sistema de saneamiento para reutilización in situ con un sistema convencional dentro del proyecto Erdos

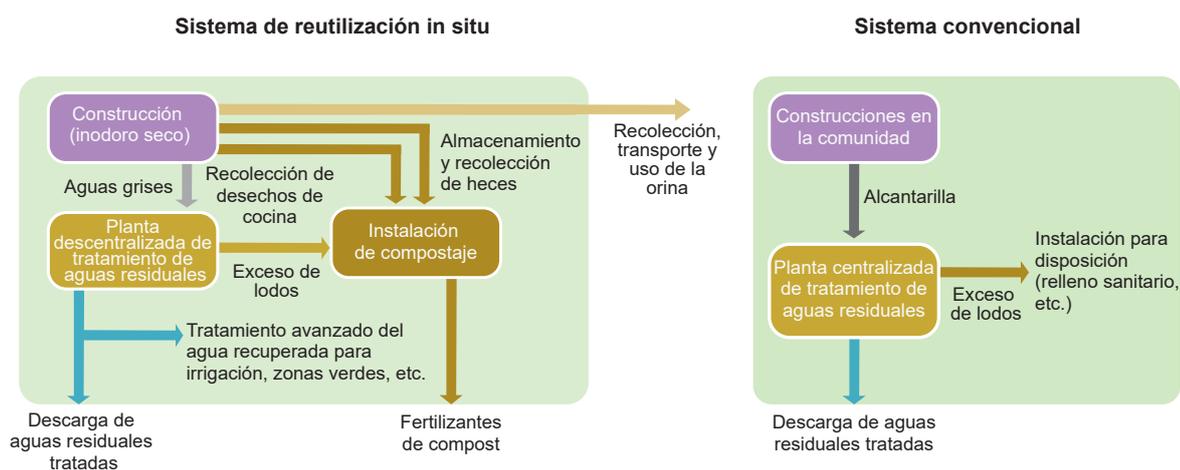


Figura: Basada en Rosemarin et al. 2012



Planta de cogeneración que recupera energía (calor y electricidad), agua potable y cenizas provenientes de lodos fecales y de otros desechos combustibles. Fotografía: Flickr / SuSanA Secretariat / Janicki Bioenergy

MENSAJES CLAVE

- Muchas veces los beneficios directos e indirectos que se pueden obtener de los sistemas para la gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales son mayores que las inversiones requeridas.
- Los servicios WASH seguros son asequibles si se puede estabilizar la demanda de los consumidores y se puede incrementar la capacidad de suministro tanto de capital como de operación y mantenimiento dentro de un contexto de desarrollo más amplio.
- Se pueden considerar mecanismos novedosos de financiamiento para abordar la importante brecha financiera en los sistemas de gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales.
- La recuperación y reutilización de los recursos puede cambiar la economía de la inversión en saneamiento y aguas residuales al ofrecer ingresos monetarios y mayores beneficios sociales y ambientales con un valor económico indirecto.

9. EJEMPLOS PRÁCTICOS DE SISTEMAS TÉCNICOS PARA LA RECUPERACIÓN SEGURA DE RECURSOS



En esta sección se presentan algunas soluciones exitosas para la reutilización y recuperación de recursos, implementadas en la actualidad en diversas partes del mundo. La descripción se centra en las tecnologías, pero intenta también exponer algunos problemas y lecciones clave relacionados con otros aspectos de la sostenibilidad.



Miembros de una comunidad indígena en Munchique, Colombia, participan en el diseño de un sistema de saneamiento (arriba) y aprenden a fabricar sus propios sanitarios con separación de orina (izquierda) para uso doméstico (derecha). Fotografías: Kim Andersson

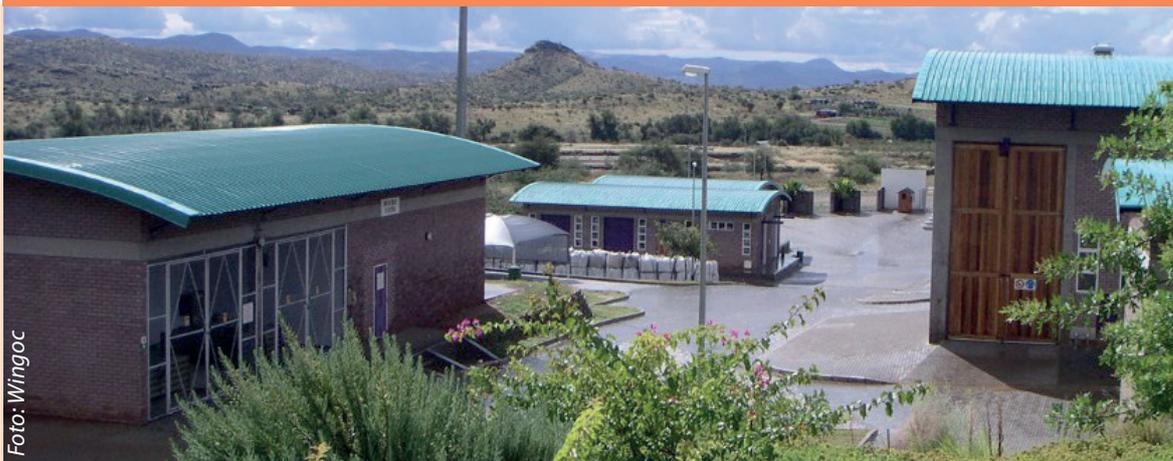


Foto: Wingoc



**RECURSO
RECUPERADO:**

Agua potable



FLUJO DE DESECHOS:

Alcantarillado Municipal



TIPO DE REUTILIZACIÓN:

*Suministro de agua potable y
recarga de acuíferos*



TRATAMIENTO:

*Barreras múltiples con
tratamiento químico y filtración*



**VOLUMEN TOTAL DE
AGUA RECICLADA:**

5,8 millones de m³/año

Recuperación de agua del alcantarillado municipal: Planta de recuperación de agua New Goreangab en Windhoek, Namibia

Durante más de 45 años, la ciudad de Windhoek en Namibia ha recuperado agua potable del alcantarillado municipal. La planta de recuperación de agua New Goreangab, terminada en 2002, hizo que el proceso fuera aún más eficiente y ayudará a la ciudad a satisfacer su creciente demanda de agua en el futuro.

La población de Windhoek es de aproximadamente 350.000 habitantes y crece anualmente a una tasa cercana al 5 por ciento. Para el suministro de agua, la ciudad depende de aguas superficiales (represas alimentadas por ríos temporales) y de aguas subterráneas (de pozos perforados). Las lluvias son irregulares y llegan a aproximadamente 370 mm al año, mientras que la tasa potencial de evaporación de la superficie es de aproximadamente 3.400 mm/año. Por lo tanto, Windhoek padece escasez frecuente de agua.

Cerca de 700 km separan a la ciudad del río perenne más cercano, el Okavango, hacia el noroeste, mientras que la costa Atlántica de Namibia (2.650 km) está aproximadamente a 300 km de distancia. Por esta razón, Windhoek ha implementado una estrategia integrada de gestión de los recursos de agua con el objeto de asegurar su suministro mediante una combinación de ahorro de agua, recuperación de agua, bancos de agua (gestión de la recarga de las aguas subterráneas) y control de la contaminación del agua.

El sistema

Mediante el uso de procesos de tratamiento de barreras múltiples, el proyecto New Goreangab consigue producir de manera consistente un agua potable que satisface todos los estándares pertinentes exigidos, a partir del efluente de una planta con tratamiento secundario que recibe aguas del alcantarillado municipal. El agua recuperada constituye hasta el 35 por ciento del agua suministrada a los hogares. No se han reportado problemas de salud, y su inocuidad ha sido verificada mediante estudios epidemiológicos. Más aún, esto se ha conseguido en un país que cuenta con recursos técnicos y financieros limitados. A pesar de su éxito y de su evidente utilidad, la recuperación directa de agua potable a partir del alcantarillado, realizada en Windhoek, sigue siendo única en el mundo.

La planta puede tratar 21.000 m³ al día de aguas de alcantarillado con tratamiento secundario. Utiliza al menos dos procesos de eliminación para cada contaminante que podrían resultar dañinos para la salud humana o estéticamente objetables. Los flujos de aguas residuales industriales y otros flujos potencialmente tóxicos están separados del flujo municipal principal de aguas residuales.

Resultados

Desde 1997, las autoridades municipales de Windhoek han creado bancos de agua mediante la recarga de acuíferos locales con agua potable —una mezcla de agua purificada proveniente de la planta Goreangab y agua potable tratada de manera convencional. El agua que se inyecta al acuífero es adecuada para el consumo humano.

Hasta 2013, el volumen total de agua que se había depositado de esta manera era de 3,3 millones de m³. Su capacidad se ha ampliado aún más para suministrar agua durante los prolongados períodos de sequía de hasta tres años, y cubren hasta el 60 por ciento de la demanda esperada de agua para 2020. Se aplican directrices de calidad muy estrictas para impedir el deterioro de la calidad de las aguas subterráneas, y algunos pasos adicionales previos a la inyección impiden la obstrucción del acuífero controlando el carbono orgánico biodegradable disuelto.

Los costos anuales totales de purificar el agua en la planta son de €0,95/m³, de los cuales €0,75/m³ corresponden a costos de operación y mantenimiento. Las tarifas para los usuarios del agua reciclada están vinculadas al consumo y van de €0,75/m³ a €2,3/m³.

Fuentes: Lahnsteiner et al. (2013); comunicación personal con John Esterhuizen, Gerente General de Windhoek Goreangab Operating Company (Pty) Ltd (WINGOC); y la página web de WINGOC (<http://www.wingoc.com.na/>)

Foto: UNSPLASH / Oliver Wendel



RECURSO RECUPERADO:
Agua no potable



FLUJO DE DESECHOS:
Aguas grises domésticas que no son de cocina



TIPO DE REUTILIZACIÓN:
Aguas grises reutilizadas para descarga de sanitarios, lavado exterior de pisos/patio, irrigación de jardines, dentro de cada edificio equipado de apartamentos



TRATAMIENTO:
In situ para cada edificio, que incluye pasos anaerobios seguidos de aireación, decantación, filtración y cloración



EJEMPLO DE AHORRO NETO DE AGUA:
432 m³/mes/edificio

Reutilización de aguas grises en edificios de apartamentos individuales en Vitória, Brasil

Antecedentes

La escasez de agua es una realidad en varias de las ciudades del Brasil, en donde el suministro se ve amenazado por problemas tanto de cantidad como de calidad del agua, mientras que la demanda crece con rapidez. Al menos 19 áreas metropolitanas, que incluyen los hogares de un tercio de la población, se encuentran en riesgo de un colapso del suministro de agua.

En las ciudades más grandes de Brasil se han implementado una serie de prácticas para la conservación del agua potable, que incluyen el ahorro voluntario del agua, la recuperación y la reutilización de las aguas residuales. En el área metropolitana de Vitória, varios bloques de apartamentos han implementado la reutilización de aguas grises en los edificios. Se basa en sistemas in situ que recolectan las aguas grises separadas en la fuente, las someten a un tratamiento mínimo y luego las ponen a disposición de los usuarios para diversos usos no potables, que incluyen la descarga de inodoros, lavado de espacios públicos e irrigación de jardines. Como resultado de esto, algunos edificios consiguen ahorrar hasta el 30 por ciento del agua potable.

Esta práctica ilustra las ventajas de la separación en la fuente: como las heces y la orina (junto con las aguas grises de la cocina) son desviadas, las plantas de tratamiento individuales más pequeñas resultan adecuadas para hacer que las aguas residuales restantes sean seguras para su reutilización no potable. Pueden también operar de manera más estable y liberar menos subproductos.

El sistema

Los edificios están acondicionados con dos sistemas con tubería independiente para el suministro de agua: uno de la red principal para el agua potable y otro para las aguas grises recuperadas. El de agua potable suministra el agua para las duchas, fregaderos, lavadoras y tanques.

Las aguas grises resultantes de estos usos se llevan a la planta de tratamiento de aguas grises del edificio. Después del tratamiento, el agua recuperada ingresa al segundo sistema de suministro de agua que alimenta las cisternas de los inodoros y los grifos designados para este fin. Las aguas negras y las aguas grises del fregadero de la cocina se canalizan directamente a la red del alcantarillado.

Las plantas de tratamiento producen únicamente una pequeña cantidad de lodos líquidos que pueden descargarse directamente en el alcantarillado. Varios indicadores de las aguas grises tratadas, tales como pH, turbidez, cloro residual y contenido de E. coli, se miden mensualmente para garantizar que se encuentran dentro de límites seguros y que el agua tratada es de bajo riesgo de acuerdo con los estándares de la OMS. Además, la planta de tratamiento y su entorno inmediato representan un riesgo mínimo para la transmisión de bacterias, principalmente por vía de aerosoles, para el personal que realiza trabajos de mantenimiento.

Resultados

En el condominio Royal Blue, compuesto por 30 apartamentos, que fue el primero en el que se instaló un sistema de reutilización de aguas grises, el sistema ha producido un gran excedente de agua para la reutilización. El consumo (91 litros por día) representa cerca del 32 por ciento del agua disponible, lo que deja un excedente de cerca del 68 por ciento que no se utiliza en el edificio. El potencial de aumento en la reutilización podría significar aún mayores ahorros de agua potable en el futuro. En la actualidad, las aguas grises sin tratar se descargan a través de un sistema de derivación al alcantarillado público. El sistema genera ahorros netos de agua de 432 m³/mes.

Los costos mensuales de la planta de tratamiento de aguas grises están relacionados con operación y mantenimiento, energía, remoción de lodos y análisis de laboratorio. El gasto en operación y mantenimiento es aproximadamente de US\$260 por mes para todo el condominio de 30 apartamentos. El flujo de caja basado en costos e ingresos de la instalación y operación del sistema de reutilización de aguas grises es positivo en 103 meses. Esto significa que, con base en las prácticas actuales de operación, en 8,5 años se recuperará la suma invertida. La reutilización de aguas grises en edificios es un desarrollo muy reciente en Brasil. La ausencia de un marco jurídico contribuye a generar incertidumbre entre los diversos actores implicados. No obstante, dadas sus evidentes ventajas económicas y prácticas, su implementación se ha extendido con rapidez en todo el país.

Fuente: Bazzarella 2005; y Gonçalves, da Silva y Wanke 2010.

Foto: Reuters / Erik De Castro

**RECURSO****RECUPERADO:**

Agua no potable para irrigación y nutrientes

**FLUJO DE DESECHOS:**

Alcantarillado municipal

**TIPO DE REUTILIZACIÓN:**

Irrigación para agricultura y silvicultura

**TRATAMIENTO:**

Centralizado;
pantallas mecánicas,
estanques de oxidación,
cloración, filtración

Agricultura en una región semidesértica, con agua y nutrientes provenientes del alcantarillado: Gerga, Gobernación de Sohag, Egipto

Antecedentes

La Gobernación de Sohag es una región semidesértica en el Alto Egipto, con cerca de 4,5 millones de habitantes. Un experimento de dos años (2013-2015) realizado en una granja en las afueras de la ciudad de Gerga, en Sohag, demostró los beneficios potenciales de reutilizar las aguas residuales tratadas provenientes del alcantarillado para irrigar y fertilizar cultivos en suelos que de otra manera serían secos e infértiles, y simultáneamente, aliviar la presión sobre los escasos recursos de agua y contribuir a la creciente demanda de alimentos. La granja de 10.100 m² fue gerenciada por la Holding Company for Water and Wastewater, con sede en El Cairo, en colaboración con el PNUD y el Ministerio Italiano del Ambiente, Tierra y Mar.

El proyecto forma parte del plan de este país para usar aguas residuales tratadas en el cultivo de árboles madereros, así como para el desarrollo agrícola y la expansión urbana en regiones desérticas. En abril de 2013, se seleccionaron cultivos tales como higos blancos, granadas, girasoles e hibiscos para cosecharlos en el verano, y se plantaron frijoles fava, lentejas y garbanzos en la estación invernal de septiembre de ese mismo año. Las cosechas posteriores incluyeron también las aceitunas.

El sistema

La granja está ubicada cerca de la planta de tratamiento municipal de Gerga. El agua tratada fue almacenada en un reservorio y transportada por tubería a la granja experimental; luego se aplicó a los cultivos mediante

irrigación por goteo. El requerimiento total de la granja experimental fue de cerca de 2,35 litros por segundo, y los árboles y cultivos se irrigaron hasta 5,5 horas al día, según la demanda de agua.

Las aguas residuales tratadas mostraron ser un sustituto competitivo para los nutrientes de los cultivos seleccionados. Los análisis realizados encontraron que el contenido de metales pesados era alto para los cultivos de raíz o bulbo como papas, batatas, zanahorias, nabos, cebolla y ajo. Sin embargo, se encontraba dentro de los estándares egipcios y europeos para la irrigación de cultivos de alimentos de hoja o de tallo. Para el cultivo de frutas, se eligieron aquellas de corteza dura tales como los cítricos y las granadas. Las aguas residuales industriales eran separadas en la fuente y, por lo tanto, no ingresaban al flujo de desechos.

Resultados

El proyecto no solo estaba dirigido a demostrar la factibilidad técnica de este sistema, sino que tenía objetivos más amplios. Creó conciencia y educó a los agricultores, no solo respecto a asuntos agrícolas, sino también respecto a problemas económicos, sociales y de salud relativos a los peligros de utilizar aguas residuales sin tratar para la producción de cultivos alimentarios, comparados con los beneficios de usar aguas residuales tratadas más seguras. El proyecto mostró la importancia de tener en cuenta las distancias entre las granjas, las plantas de tratamiento y los pozos de aguas subterráneas (fuentes adicionales de agua) al planear y decidir las ubicaciones donde se realizaría el estudio —proximidad significa factibilidad.

El estudio involucró también a científicos y a otros especialistas para que buscaran los tipos de suelo más apropiados (de preferencia suelos de textura arenosa ligera con perfiles profundos en las regiones desérticas) y cultivos para reutilización de las aguas residuales en condiciones climáticas específicas y en relación con el grado de tratamiento de las aguas residuales y la salinidad del agua. Se realizó también una encuesta sobre los mercados potenciales para los cultivos.

La expansión de la distribución de agua potable a las zonas sin atención incrementará los volúmenes de aguas residuales, ofreciendo así más oportunidades de incorporar estrategias de reutilización desde un comienzo. Otra de las lecciones aprendidas en Gerga es que debe hacerse un mayor énfasis en la colaboración institucional y que los organismos estatales correspondientes deben estar involucrados en este tipo de proyectos.

Fuente: HCWW, 2014.



RECURSO RECUPERADO:
Agua y nutrientes combinados



FLUJO DE DESECHOS:
Aguas negras domésticas



TIPO DE REUTILIZACIÓN:
Aguas negras tratadas usadas como fertilizante líquido para cultivos y producción de biomasa



TRATAMIENTO:
Descentralizado, con fabricación de compost líquido y tratamiento de urea en una planta contigua a las tierras de cultivo

Reutilización de aguas negras domésticas en agricultura; tecnología de compostaje líquido, Hölö, Suecia

Antecedentes

El sistema descentralizado para las aguas negras en Hölö, Suecia, es una iniciativa conjunta entre la empresa de servicios municipal, la comunidad agrícola y los investigadores. Hölö está ubicada en una zona del municipio de Södertälje, al sur de Estocolmo. Tiene una densidad poblacional relativamente baja. Antes de implementar el proyecto, cerca del 40 por ciento de los sistemas de saneamiento in situ existentes funcionaban de manera deficiente y ocasionaban la descarga de aguas residuales contaminadas. Una grave eutroficación de dos lagos cercanos llevó a congelar los permisos de construcción, para impedir que las aguas residuales agravaran el problema.

Como resultado de ello, en una tierra de cultivo cercana se implementó un esquema descentralizado de gestión de las aguas residuales con reutilización de los recursos, lo que redujo la necesidad de usar fertilizantes sintéticos y, por lo tanto, la eutroficación relacionada con ellos, e impidió la descarga de aguas residuales contaminadas. El proyecto adoptó un enfoque de sistema completo mediante la instalación de inodoros especiales y tanques en los hogares, organización del transporte y tratamiento de las aguas residuales con miras a su reutilización segura. El proyecto contó con el respaldo de la política municipal.

El sistema

En los hogares, el sistema de las aguas negras consta de un inodoro de muy baja descarga (0,6 l máx./descarga) o un inodoro de vacío, con el fin de reducir el volumen

y la disolución de las aguas negras. Los inodoros están conectados a un tanque doméstico. Las aguas grises son tratadas e infiltradas en los hogares, y cada uno de estos paga una tarifa a la empresa de servicios municipal por la recolección de las aguas negras con un camión cisterna, el cual las traslada a una planta de tratamiento diseñada para atender de 500 a 700 hogares. La planta es gestionada por un agricultor local, quien recibe apoyo técnico y financiero de la empresa de servicio público para su operación y mantenimiento. Después del tratamiento, las aguas negras se almacenan en un tanque de 1.500 m³ hasta que son reutilizadas.

El fertilizante líquido producido por la planta de tratamiento de Hölö cumple con los estándares suecos de certificación desarrollados recientemente para las fracciones de aguas residuales destinadas a reutilización, provenientes de sistemas in situ y de sistemas de tratamiento más pequeños (ver el Cuadro 7.9). Las pruebas de calidad iniciales mostraron valores elevados para cobre, pero esto se corrigió con facilidad reemplazando algunos grifos de latón en la planta de tratamiento. Los agricultores que reutilizan emplean también medios adicionales para la protección ambiental en sus granjas, tales como zonas de protección alrededor de las corrientes de agua para reducir la lixiviación de nutrientes, que han demostrado su eficacia para impedir la descarga de contenidos farmacéuticos.

Resultados

El líquido producido ofrece un aporte completo de fertilizante para 40 hectáreas de tierra cultivada. Esta iniciativa ha conseguido su propósito principal —la reducción de la eutroficación de lagos y aguas costeras— de una manera más rentable de lo que se hubiera logrado con la expansión del sistema centralizado de alcantarillado. Las restricciones ambientales han estimulado el desarrollo técnico del tratamiento de aguas negras, el cual ha sido patentado por la empresa de servicio público. Este proceso produce un fertilizante líquido certificado y además popular, que puede aplicarse mediante el equipo agrícola convencional. Otro de los beneficios de esta iniciativa han sido los acuerdos empresariales público-privados efectivos entre la empresa y el agricultor.

Fuente: Comunicación personal con K.A. Reimer, Municipio de Södertälje, y A. Kalo, Telge Nät, Suecia.



Fotografía: Kim Andersson



RECURSO RECUPERADO:
Agua y nutrientes combinados



FLUJO DE DESECHOS:
Heces, orina y aguas grises domésticas separadas en la fuente



TIPO DE REUTILIZACIÓN:
Orina tratada usada como fertilizante líquido, heces compostadas usadas como fertilizante sólido en la producción de cultivos después del tratamiento. Aguas grises usadas para irrigación ornamental y de huertos



TRATAMIENTO:
Almacenamiento descentralizado de orina y vermicompostaje de las heces. Las aguas grises son pretratadas en una trampa de grasa antes de su reutilización

Gestión descentralizada de excretas y reutilización de aguas grises locales en una comunidad periurbana: El Alto, Bolivia

Antecedentes

El Distrito 7 de la ciudad de El Alto, Bolivia, es un ejemplo de una creciente comunidad periurbana que carece de infraestructura de alcantarillado público y con un suministro de agua problemático (cortes y racionamiento durante los fines de semana). Estos problemas se deben al incremento de la demanda de agua por parte de una población en aumento, y es probable que se vean agravados por la continua reducción y la desaparición anticipada de los glaciares andinos, los cuales proveen en la actualidad una proporción significativa del suministro de agua dulce. La conservación del agua es, por lo tanto, una medida importante de adaptación al cambio climático.

Este proyecto fue iniciado en 2008 por la Fundación Nacional Sumaj Huasi. Más de 1.200 familias, principalmente del grupo indígena Aimará que migraron a El Alto de las aldeas rurales, instalaron los sistemas. El objetivo de Sumaj Huasi era mejorar la calidad de vida de las comunidades y hacer un fuerte énfasis en procesos sociales tales como construcción de capacidad, jardines de demostración y visitas de seguimiento frecuentes.

Los sistemas instalados por el proyecto recolectan y tratan la orina y las heces de manera separada para la recuperación de recursos y reutilización agrícola. Las heces se compostan con lombrices (vermicompostaje), mientras que la orina se trata mediante almacenamiento. Las aguas grises provenientes de los fregaderos y las duchas se canalizan a pequeños humedales artificiales en el jardín de la casa, con plantas ornamentales y comestibles. Las pruebas hallaron que tanto el agua como los productos de excretas eran seguros para su reutilización, incluyendo la producción de alimentos.

Durante la primera fase del proyecto se utilizaron fertilizantes derivados de las excretas, en jardines de demostración. A medida que un número mayor de familias han instalado estos sistemas, el volumen creciente de fertilizante producido ha generado un potencial para implementar el tratamiento y reutilización a

gran escala. Se ha encontrado que los fertilizantes derivados de excretas (vermicompost y orina tratada) son incluso más ricos en nutrientes que los fertilizantes orgánicos usados comúnmente en la región (como estiércol de vaca), como lo evidenciaron las pruebas en nutrientes y el rendimiento de las cosechas. El rendimiento de papa de las plantas fertilizadas con vermicompost humano y orina fue el doble de aquella de las plantas fertilizadas con estiércol de vaca.

El sistema

Los sistemas domésticos instalados por el proyecto incluyen inodoros secos con separación de orina para minimizar el uso de agua. Estos inodoros tienen una única cámara en la que se recolectan las heces en contenedores plásticos de 100 litros, y la orina en bidones de 20 litros. Los contenedores se recolectan en camionetas que los transportan a la planta de tratamiento comunal. Con la materia fecal se hace vermicompost en un período de ocho a nueve meses utilizando lombrices de tierra californianas (*Eisenia fetida*).

Los hogares son responsables del uso y limpieza adecuados de los inodoros, y de sacar los contenedores de heces y orina a la calle en los días programados para la recolección. El uso adecuado incluye aplicar una capa de aserrín sobre las heces después de la defecación y una pequeña cantidad de agua después de orinar. El aserrín se encuentra con facilidad en la zona y una bolsa de 20 kg (suficiente para cerca de un mes) cuesta cerca de 5 bolivianos (US\$0,65)

El proyecto instaló también duchas y piletas para el lavado de manos y de ropa con el fin de mejorar la higiene. Las aguas grises captadas en ellas son pretratadas mediante trampas individuales de grasa antes de ser canalizadas a los humedales artificiales. En la actualidad, cada mes se recolectan cerca de 8 toneladas de sólidos (heces y aserrín) y 22.500 litros de orina, y se procesan en una planta de tratamiento comunal. Para resolver los problemas de manejo y reutilización que representan estos grandes volúmenes, se han ensayado una serie de estrategias diferentes, tales como almacenar directamente la orina en el campo antes de cultivar.

Resultados

El costo de construcción de cada unidad sanitaria fue de \$795. De esta suma, \$620 fueron cubiertos por la Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Sida) y por Sumaj Huasi, y los hogares aportaron la fuerza laboral y otras contribuciones en especie. Se ha hecho un plan piloto en el que cada hogar paga una tarifa mensual cerca de 10 a 20 bolivianos (US\$1,30–2,60) cada mes para cubrir los costos de recolección y transporte. El sistema descentralizado ha demostrado ser rentable si se compara con los sistemas centralizados y los productos fertilizantes ofrecen un importante estímulo para la producción agrícola.

Se ha confirmado un impacto general positivo sobre la salud de la comunidad. La prevalencia de enfermedades diarreicas agudas ha disminuido en un 23 por ciento, según estudios epidemiológicos realizados en la zona de intervención. Algunos análisis de las heces tratadas muestran que su contenido de parásitos se encuentra dentro de los límites recomendados por la OMS. El ahorro de agua debido a los inodoros secos con separación de orina instalados se estima en 108 m³ al día en la zona del proyecto.

La experiencia del proyecto indica que algunos factores clave para su alto nivel de aceptación incluyeron el proceso social integral, un enfoque WASH integrado y, en particular, la recolección y la gestión externa de la excreta.

Fuentes: Suntura y Sandoval 2012, Fundación Sumaj Huasi 2015.



Curitiba. Fotografía: Roberto Francisco Anzola



**RECURSO
RECUPERADO:**

Nutrientes y materia orgánica



FLUJO DE DESECHOS:

*Alcantarillado municipal,
incluyendo cal agregada
durante el tratamiento*



TIPO DE REUTILIZACIÓN:

*Agricultura
(cultivos de alimentos y otros)
y reforestación*



TRATAMIENTO:

*Tratamiento anaerobio con
tratamiento secundario
consistente en aireación,
estanques de estabilización o
filtros percoladores.
Lodos deshidratados y tratados
con cal*

Reutilización de lodos de alcantarillado en la agricultura, Estado de Paraná, Brasil

Antecedentes

La Compañía de Saneamiento del Paraná (Sanepar) opera 234 plantas de tratamiento de aguas residuales que atienden a más de 7 millones de personas en el estado de Paraná, Brasil. Desde 2002, el uso agrícola ha sido el método de disposición final para los lodos de alcantarillado generados en el Área Metropolitana de Curitiba (AMC) y en la región de Foz do Iguaçu. Desde 2007, se adoptaron medidas para implementar el proceso en otras regiones y, después de 2011 esta práctica ya estaba implementada en todo el estado.

Los lodos tratados han sido utilizados para cultivos de abono verde, moras, centeno, café, caña de azúcar, cebada, cítricos, frijoles, maíz, soya, pasto y reforestación de eucaliptos y pinos.

El sistema

Uno de los aspectos del tratamiento en la planta es la desinfección de los lodos mediante estabilización alcalina prolongada. Durante este proceso, el pH del lodo se eleva a 12 agregando grandes cantidades de cal. Esto significa que los lodos tratados pueden servir como un corrector de la acidez del suelo, lo que representa mayores ahorros para los agricultores. Las aguas residuales industriales se separan en la fuente y se tratan aparte.

Después de realizar pruebas de laboratorio para garantizar que un lote de lodo procesado cumpla con los estándares reglamentarios, este se pone a disposición de los agricultores registrados en el programa. Los agricultores deben producir cosechas adecuadas y en zonas apropiadas para este tipo de reutilización. La tasa

de aplicación de los lodos se basa en los suelos del cultivo y en sus necesidades nutricionales. Cuando es necesario, se agrega un fertilizante como complemento. Los agricultores reciben asesoría técnica y firman un acuerdo especial en el que certifican que están enterados de los requisitos y guías para el uso adecuado del material y se comprometen a seguirlos. Los lodos tratados se suministran gratuitamente a los agricultores.

La reutilización agrícola de los lodos de alcantarillado sigue los criterios y procedimientos establecidos en las medidas reglamentarias nacionales y estatales. Estas establecen un límite máximo para los agentes patógenos y los contaminantes inorgánicos. Se exige asimismo la monitorización de las sustancias orgánicas del lodo, pero no es necesario que satisfagan límites máximos de concentración. Los niveles observados de patógenos hallados en los lodos cumplen todos los requisitos de la reglamentación pertinente —Resolução Sema 021/09. Los niveles de sustancias inorgánicas permanecen bajo los límites de la reglamentación el 90 por ciento del tiempo.

Resultados

Entre 2011 y 2013, 104 agricultores se beneficiaron en zonas agrícolas de 41 municipios, a 65 km en promedio de distancia de una planta de tratamiento. La reutilización de los lodos en Paraná beneficia a los agricultores (al sustituir los fertilizantes de NPK y la aplicación de cal) que ahorran US\$110/hectárea. De 2011–13, los lodos reutilizados suministraron el 90 por ciento de la demanda de cal, el 69 por ciento de la de nitrógeno, el 83 por ciento de la de P_2O_5 y el 35 por ciento de la de K_2O en Paraná.

Los lodos de alcantarillado han recibido una acogida favorable entre los agricultores del estado, y el enfoque resulta muy prometedor. La expansión del proyecto ha representado un importante reto para Sanepar, pues el reciclaje de lodos no era uno de los objetivos operacionales desde el comienzo del diseño del sistema. Por lo tanto, es preciso mejorar la infraestructura y la construcción de capacidad. Otras complicaciones incluyen los aspectos logísticos del transporte de lodos, la demanda irregular durante el año (concentrada en dos temporadas de cultivo) y el elevado número de días lluviosos, lo cual puede dificultar la aplicación. El programa encontró también dificultades para contratar servicios de laboratorio con la infraestructura y capacidad técnica requeridas. Así mismo, el proyecto hizo énfasis en la necesidad de actualizar las reglamentaciones nacionales, las cuales imponen en la actualidad un proceso excesivamente burocrático y dispendioso que no es aplicable a las condiciones locales.

Fuentes: Andreoli et al. 2001, Bittencourt 2014, Souza et al. 2008.



Fotografía: Flickr / N. Khawaja



RECURSO RECUPERADO:

Biogás, nutrientes, acondicionador de suelos



FLUJO DE DESECHOS:

Excretas humanas, aguas grises, estiércol de ganado, desechos alimentarios y residuos de cosechas



TIPO DE REUTILIZACIÓN:

Cocina, iluminación y calefacción (biogás) y agricultura (cultivos alimentarios y otros)



TRATAMIENTO:

Fermentación anaerobia de materia orgánica, seguida de compostaje del lodo restante

Sistemas in situ para biogás y fertilizante: China

Antecedentes

Desde la década de 1970, el programa de desarrollo de biogás en China se ha extendido a todo el país, principalmente a las comunidades rurales. Se han construido cerca de 40 millones de unidades de fermentación de biogás con subsidios del gobierno. El concepto se remonta a las políticas de desarrollo rural iniciadas por Mao Tse-tung durante la década de 1950 para suministrar energía renovable a las comunidades agrícolas. Hubo una importante expansión entre 2003 y 2012, con una inversión acumulada de US\$4,5 mil millones, con un impacto en cerca de 100 millones de personas.

El sistema

Las excretas humanas se transfieren desde los inodoros de descarga manual a un tanque de fermentación hermético en el que se mezclan con otros desechos orgánicos provenientes de hogares y granjas. Su contenido de carbono es digerido anaerobiamente por metanobacterias y se produce gas metano que puede ser recolectado para uso como fuente doméstica de energía, principalmente para iluminación y para cocinar. Una vez completada la digestión, los lodos acumulados se transfieren del digester a un sitio de compostaje aireado y se obtiene como resultado un agente rico en nutrientes para la mejora de los suelos.

Se han utilizado varios modelos de digester. La mayor parte de los de uso doméstico tienen un volumen de 6, 8 ó 10 m³ y han sido diseñados para durar 20 años; no obstante, su éxito depende de una cuidadosa operación y mantenimiento, puesto que los sistemas son biológicos. Depende también de un suministro adecuado de material orgánico. No resulta claro en los informes cuántas de

las unidades instaladas están actualmente en uso, y los estimativos varían del 30 al 90 por ciento.

Resultados

En 2013, China produjo más de 15 mil millones de m³ de biogás que generaron una energía equivalente a 25 millones de toneladas de carbón, o el 11,4 % del consumo nacional de gas natural. Además, según el Ministerio de Agricultura, los digestores de biogás producen 410 millones de toneladas de fertilizante orgánico al año, reducen las emisiones de CO₂ en 61 millones de toneladas y generan beneficios que ascienden a ¥47 mil millones (US\$7,3 mil millones a las tasas de cambio de 2012) en ahorro de costos e ingresos. No obstante, han surgido inquietudes acerca de si los fuertes subsidios gubernamentales al programa (suministrados para la instalación inicial y sin tener en cuenta la riqueza o ingresos de los hogares) han propiciado la instalación de sistemas que no se han usado ni recibido el mantenimiento adecuado. La falta de servicios de mantenimiento se ha convertido en un cuello de botella.

La producción de biogás a partir de excretas y de otros desechos orgánicos ofrece varios beneficios económicos y ambientales a las comunidades rurales, que incluyen energía limpia y de bajo costo como alternativa a la madera combustible, carbón y combustibles fósiles; una fuente de nutrientes seguros de bajo costo para las plantas y acondicionadores de suelos. Los beneficios para la salud van desde una mejora del aire interior en comparación con cocinar utilizando carbón y madera, hasta la contención de excretas y estiércol animal.

Fuente: Zuzhang 2013.

Mosca soldado negra. Fotografía: Dunstan Adongo



**RECURSO
RECUPERADO:**
*Materia orgánica,
nutrientes, proteína*



FLUJO DE DESECHOS:
*Estiércol de ganado y lodo
fecal humano proveniente de
sanitarios con separación de
orina*



TIPO DE REUTILIZACIÓN:
*Alimento para el ganado e
insumos agrícolas, más aceites
industriales*



TRATAMIENTO:
*Lodos fecales llevados a
una planta de tratamiento
centralizada donde larvas de
la mosca soldado negra se
alimentan del lodo y reducen la
masa del material tratado y su
carga de patógenos*

Alimento proteínico para el ganado a partir de heces con mosca soldado negra: eThekwni, Sudáfrica

Antecedentes

Uno de los obstáculos fundamentales para la gestión segura de los lodos fecales es la ausencia de incentivos económicos. En muchas áreas no se cuenta con servicios de vaciado de letrinas de pozo o los hogares deben asumir altos costos por el vaciado y disposición de lodos fecales, pues, a menudo, los costos de remoción no pueden cubrirse totalmente mediante la venta de los productos. El procesamiento de lodos fecales usando larvas de la mosca soldado negra (*hermetia illucens*) ofrece un método novedoso y potencialmente sostenible para la gestión de desechos, pues las larvas maduras son una buena fuente de proteína y de grasa para la alimentación animal. Las larvas de la mosca soldado negra pueden consumir grandes cantidades de desechos, reduciendo el contenido de materia seca del estiércol hasta en un 58 por ciento y el de los desechos orgánicos municipales hasta en un 70 por ciento.

Si bien la tecnología que utiliza las larvas de la mosca soldado negra ha sido aplicada a estiércol de cerdo, de pollo y de reses, no se ha usado aún para gestionar excretas humanas a gran escala. En el municipio de eThekwni, Sudáfrica, actualmente está en desarrollo una planta rentable de procesamiento de desechos fecales que utiliza esta tecnología, gracias a una alianza público-privada. Su objetivo es procesar desechos fecales retirados de inodoros con separación de orina en 80.000 hogares.

Los desechos fecales se pueden utilizar para alimentar las larvas de los insectos debido a su alto contenido

orgánico. Las larvas de la mosca soldado negra son una opción especialmente buena, porque la biomasa larval resultante es un producto de alto valor que brinda una fuente de ingresos a las comunidades o empresarios locales. La orina recolectada de los inodoros con separación, junto con los residuos del proceso de tecnología con la mosca soldado negra, se puede usar con seguridad como fertilizante agrícola y acondicionador de suelos después de un tratamiento adicional.

Las moscas soldado negras adultas no son vectores de enfermedades y no se consideran una especie fastidiosa de mosca, porque solo se alimentan de depósitos de grasa recolectados durante su estado larval. Las larvas reducen también la masa seca de desechos fecales y disminuyen la carga de patógenos *E. coli* y salmonela, disminuyendo así el riesgo de la transmisión de enfermedades. No obstante, si los residuos del tratamiento se van a usar como fertilizantes para cultivos de alimentos, se recomienda un paso adicional en el tratamiento.

Pasos adicionales

Es necesario adelantar más investigaciones sobre la capacidad que tienen las larvas de la mosca soldado negra para consumir desechos humanos, que incluyan desechos de diferentes tipos de letrina con diferentes características físicas y químicas. Se deben evaluar los riesgos potenciales que resultan de la bioacumulación de metales pesados y de la contaminación por patógenos, en la biomasa que ingresa a la cadena alimentaria humana, creando así posibles obstáculos reglamentarios a la utilización de larvas como alimento animal.

Fuentes: Lalander et al. 2013, Banks et al. 2013 y Alcock 2015



Jenfelder Au. Foto: Hamburg Wasser



RECURSO RECUPERADO:

Biogás, nutrientes, acondicionador de suelos, agua no potable



FLUJO DE DESECHOS:

Aguas negras y grises domésticas



TIPO DE REUTILIZACIÓN:

Aguas negras usadas para la producción de biogás y el reciclaje de nutrientes; aguas grises purificadas de manera eficiente desde un punto de vista energético y recarga de cuerpos de agua locales



TRATAMIENTO:

Fermentación anaeróbica de aguas negras; tratamiento de aguas grises actualmente en prueba

Sistema de aguas residuales de circuito cerrado: Hamburgo, Alemania

Antecedentes

Un nuevo desarrollo residencial de 35 hectáreas en Hamburgo, Alemania, cuenta con un sistema descentralizado a gran escala para el tratamiento de aguas residuales en circuito cerrado, que produce una serie de productos de reutilización para la economía local. Jenfelder Au se encuentra en el noreste de la municipalidad de Hamburgo, el principal centro comercial del norte de Alemania.

El HAMBURG WATER Cycle (Ciclo de AGUAS DE HAMBURGO) fue construido por HAMBURG WASSER para demostrar cómo pueden gestionarse las aguas residuales de una manera ambientalmente responsable liberando las sinergias entre saneamiento sostenible, energía y eficiencia de recursos.

Para la empresa de servicios municipal HAMBURG WASSER, uno de los atractivos del nuevo sistema, en comparación con un sistema centralizado, fue el perfil de gestión de recursos, muy diferente, dado que los sistemas centralizados son intensivos tanto en agua como en energía. Además, un sistema descentralizado ofrece mucha mayor flexibilidad para responder a problemas emergentes como el cambio climático, los micro contaminantes y la escasez de recursos.

Los elementos clave del Ciclo de AGUAS DE HAMBURGO, en Jenfelder Au, son la separación de las aguas residuales domésticas en la fuente, entre aguas negras y grises, utilizando localmente su contenido energético. Es el sistema más grande de este tipo implementado en Europa hasta la fecha, que atiende a 835 hogares.

El sistema

Dentro de los hogares, las aguas grises son conducidas por gravedad a los alcantarillados, mientras que las aguas negras se recolectan usando una tecnología de vacío centralizada, con inodoros de vacío que consumen aproximadamente 1 litro por descarga. Los dos flujos de aguas residuales se conducen a diferentes plantas de tratamiento descentralizadas que se encuentran en un patio de trabajo aledaño.

Las aguas negras separadas en la fuente se combinan con otras fuentes de biomasa, como la grasa proveniente de restaurantes, y se fermentan en un digestor anaeróbico para generar biogás. El biogás se convierte luego en electricidad y calor en una planta de cogeneración. La energía térmica se usa en la planta de tratamiento y para la calefacción distrital en el vecindario de Jenfelder Au. La electricidad se utiliza para producir el vacío y para el funcionamiento de las instalaciones del patio de trabajo. El excedente alimenta la red eléctrica.

Las aguas grises separadas en la fuente se purifican en el patio de trabajo local. Debido a su demanda química de oxígeno significativamente más baja, pueden ser tratadas de una manera que permite un mayor ahorro de energía que las aguas residuales de inodoros. HAMBURG WASSER investiga procesos de tratamiento apropiados en dos contenedores de la planta de tratamiento, con el fin de definir el desempeño de purificación más eficaz. Después de que las aguas grises son tratadas, se pueden introducir en aguas superficiales locales o utilizar como agua de servicio.

El agua lluvia se filtra o evapora en las zonas verdes y corre sobre zanjas y cuencas hasta el estanque de retención de Jenfelder Au. Al regresarla instantáneamente a la naturaleza, en lugar de vaciarla a través de tuberías a millas de distancia, el microclima se puede mejorar localmente gracias a la vaporización natural y a los efectos del enfriamiento. Mantener el agua lluvia separada de los flujos de aguas residuales domésticas tiene apreciables beneficios, entre ellos la disminución de la carga de la red de alcantarillado, menos dilución de las aguas negras y grises, conservación del ciclo natural del agua, y reducción del riesgo de inundación.

Resultados

Los primeros residentes se mudaron a Jenfelder Au en 2017, y se planea que para 2022 la ocupación esté completa. El sistema de gestión de aguas residuales en circuito cerrado ha comenzado a producir beneficios, en comparación con los inodoros de descarga y alcantarillado tradicionales, entre ellos un 30% de ahorro de agua y la contribución al suministro de energía neutra para el clima, a base de biogás.

Asimismo, Jenfelder Au está revelando importantes lecciones para llevar la recuperación de recursos a una mayor escala. Por ejemplo, el proyecto fue posible únicamente gracias a la cooperación entre actores diversos: la empresa de agua y de aguas residuales, las autoridades distritales, la gerencia de finca raíz y activos territoriales (el cuerpo administrativo y gerencial de la autoridad distrital responsable de la venta de lotes), planificadores urbanos, inversionistas, planificadores técnicos, plomeros y usuarios finales. Los diferentes intereses de estos actores fueron insumos importantes para el éxito del uso, operación y mantenimiento del sistema.

Además, han surgido lecciones técnicas y jurídicas durante las primeras fases de implementación del proyecto. Diseñar, construir y operar la tecnología de vacío centralizada ha representado un reto, pues se trata de una nueva tecnología tanto para la empresa de servicios como para los constructores, y debido a que no existe una norma estándar en Alemania para la tecnología de vacío para el transporte de aguas negras.

Desde el punto de vista jurídico, el proyecto resaltó sus deficiencias, primero en el marco reglamentario vinculado con el control de las fuentes y, segundo, debido a la falta de experiencia en el manejo de aguas grises separadas por parte de las autoridades responsables de expedir licencias para su gestión y reutilización potencial. Ambas dificultades pudieron solucionarse con éxito, pero esto tomó mucho más tiempo y recursos que la implementación de una solución convencional. Por lo tanto, resultó crucial contar con alguna colaboración de los proyectos de investigación acompañantes, financiados por la autoridad nacional (BMBF, BMWi), y con apoyo financiero, como el ofrecido por el programa EU Life+.

Fuente: Comunicación personal con Narne Hinrichsmeyer, Hamburg Wasser, Alemania.



**RECURSO
RECUPERADO:**

*Combustible sólido/briqueta
de carbón*



FLUJO DE DESECHOS:

*Heces domésticas separadas
en la fuente, lodos fecales,
polvo de carbón, residuos de
cosechas*



TIPO DE REUTILIZACIÓN:

*Fuente de energía para cocinar
en hogares y restaurantes, y
para la generación industrial
de calor*



TRATAMIENTO:

*Transformación de materia fecal
en combustible sólido a través
de esterilización térmica, mezcla
con materiales carbonizados,
compresión y secado al sol*

Servicio de saneamiento fuera de red que transforma los lodos fecales en briquetas de carbón: Kenia

Antecedentes

En Kenia, más del 70% de la población no tiene acceso a saneamiento básico y el país carece de servicios de saneamiento operados de manera segura (UNICEF/OMS 2019), lo que conduce a contaminación y a la difusión de enfermedades diarreicas, actualmente la segunda causa más importante de mortalidad infantil en Kenia. Uno de los problemas más importantes es que la infraestructura de saneamiento y la capacidad de gestión no se mantienen al ritmo de la rápida expansión de ciudades secundarias (poblaciones de <1.000.000), como Naivasha. Más aún, el costo de construir redes de alcantarillado y plantas de tratamiento centralizadas para aguas residuales está muy alejado de la disposición a pagar de los sectores urbanos pobres.

El gobierno de Kenia ha desarrollado políticas concernientes a infraestructuras de saneamiento descentralizadas, con énfasis en la recuperación de costos, pero hasta la fecha no ha tenido éxito en su implementación a escala. Como resultado, los gobiernos regionales y locales no han incluido estos nuevos modelos de negocio en la planeación del presupuesto, solicitudes de préstamos y aplicación de políticas, a pesar de su potencial. Sanivation, una empresa social que ha apoyado al gobierno en el desarrollo de las nuevas políticas tiene por objeto demostrar que se puede hacer saneamiento a gran escala sin alcantarillado. El enfoque principal de Sanivation ha sido un sistema que convierte desechos fecales en briquetas, ofreciendo así una fuente de biomasa (útil para la calefacción y para cocinar) competitiva y más respetuosa con el medio ambiente que

las alternativas tradicionales (es decir carbón y leña). Sanivation ha trabajado hasta ahora en Naivasha en asociación con el gobierno local, y también en un campo de refugiados, Kakuma, en alianza con el municipio y la Agencia de las Naciones Unidas para los Refugiados, ACNUR.

El sistema

El sistema doméstico incluye inodoros secos con separación de orina en el interior del hogar, y las heces se recolectan en contenedores forrados dentro del sanitario. La orina se infiltra en el suelo. Sanivation recolecta los lodos fecales y los transporta dos veces por semana a un lugar de procesamiento centralizado. Los hogares pagan una tarifa (en el caso de Naivasha) que cubre el servicio de recolección, así como el alquiler, mantenimiento y reparación del inodoro.

La planta de tratamiento recibe los lodos fecales de los inodoros secos con separación de orina, o de los tanques sépticos (en el caso de Naivasha, los recolectan contratistas privados que usan camiones cisterna). En primer lugar, los lodos fecales son esterilizados térmicamente mediante calentamiento solar o en una caldera eléctrica que funciona con un generador diésel; luego se mezclan con otros desechos que poseen un alto contenido de carbono (por ejemplo: polvo de carbón, residuos agrícolas). La mezcla se comprime para formar briquetas, utilizando un rodillo o una extrusora, y luego estas se venden principalmente a las industrias. Como las briquetas son más densas que el combustible tradicional, representan un ahorro en los costos, lo cual incentiva a las industrias a cambiar sus fuentes de combustible por las briquetas, más sostenibles y rentables. En la industria, Sanivation trabaja con el departamento de adquisiciones para asegurar acuerdos de compra, lo cual garantiza un suministro estable de ingresos para cubrir los costos operativos de la planta de tratamiento.

La sostenibilidad general del proceso se ve afectada por las fuentes de energía utilizadas para hervir, bombear, mezclar y prensar. Otro inconveniente puede ser la disponibilidad de otros desechos altos en carbono requeridos para la producción de briquetas.

Resultados

En las dos ubicaciones, los sistemas de Sanivation han suministrado un saneamiento gestionado de manera segura para más de 10.000 personas. Hay una gran demanda de briquetas, pues no solo tienen un mejor desempeño que el carbón y la leña tradicionales, sino que tienen el potencial de salvar 22 árboles por tonelada vendida, un hecho importante cuando se consideran zonas con graves problemas de deforestación. Para junio de 2020 se habían vendido más de 2.300 toneladas. Las plantas de tratamiento existentes operan ya con márgenes netos positivos (con base en los ingresos por el combustible), garantizando la sostenibilidad financiera y operativa del modelo. En Naivasha, el diseño, construcción y operación de las plantas de tratamiento se han estimado en cerca del 10% del costo per cápita de una planta tradicional de tratamiento de aguas residuales. Los ingresos provenientes de la venta de las briquetas cubren los costos operativos de las plantas; esto significa que el procesamiento de los residuos produce una utilidad neta.

Fuentes: Hakspiel et al. (2018); Parker et al. (2020); comunicación personal con Kate Bohnert, Gerente de Desarrollo de Negocios, Sanivation, Kenia.

10. OBSERVACIONES FINALES



Transformar la gestión del saneamiento y de las aguas residuales es decisivo para que el mundo entre en la ruta del desarrollo sostenible. Esta transformación tiene varias dimensiones: no solo se trata de cerrar las grandes brechas y desigualdades que existen todavía para su suministro y acceso, sino también de garantizar que lo que se suministra satisfaga los criterios económicos, sociales y ambientales de una sostenibilidad a largo plazo. Y es urgente que la transformación de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales ocurra pronto, dado el rápido crecimiento de la población y de los centros urbanos, así como los retos previstos para las próximas décadas en asuntos de seguridad hídrica, alimentaria y energética.

Esta transformación exige un cambio fundamental en las percepciones sobre el propósito de la gestión del saneamiento y de las aguas residuales y sobre el valor de las excretas y las aguas residuales. La gestión del saneamiento y de las aguas residuales es considerada en la actualidad como una manera de disponer de los desechos peligrosos de formas que protejan la salud humana y, en cierta medida, la del ecosistema. En cambio, la gestión sostenible del saneamiento y de las aguas residuales pertenece al paradigma de la economía circular como una manera de “cerrar el ciclo” y de recuperar y reutilizar valiosos recursos. Los “desechos” se convierten en insumos de procesos productivos, especialmente en la agricultura, pero también en la producción de energía, en el ahorro del agua y en su suministro y, potencialmente, en muchos otros procesos.

La transformación no puede lograrse simplemente repitiendo los viejos modelos no sostenibles,

incluso como “puente” hacia sistemas más sostenibles de gestión del saneamiento y de las aguas residuales. Estas son inversiones a largo plazo y existe un peligro real de “bloqueo”. En la medida de lo posible, las inversiones actuales deberían hacerse en sistemas sostenibles diseñados y operados para una recuperación segura y eficiente de los recursos.

El diseño de este tipo de sistemas exige dar una mirada desde la totalidad del sistema. Desde un punto de vista tecnológico, esto significa que todas las tecnologías del sistema son complementarias. Sin embargo, la sostenibilidad del sistema no solo depende de usar las tecnologías adecuadas. Por ejemplo, separar diferentes flujos de desechos en la fuente — orina, heces, aguas grises, etc.— puede facilitar la recuperación segura de los recursos. Para que el sistema funcione, no basta con utilizar interfaces de usuario que permitan esta separación, sino también los medios para almacenar, transportar y tratar los flujos de desechos de manera separada. Depende asimismo de que las interfaces se usen y mantengan apropiadamente; por lo tanto, los usuarios deben tener tanto los conocimientos como la disposición para hacerlo. Debe existir demanda de los recursos recuperados y de las cosechas cultivadas con ellos (en el caso de la reutilización agrícola). Debe haber compañías que ofrezcan mantenimiento y otros servicios, además de reglamentaciones y configuraciones institucionales que promuevan el tipo particular de reutilización. Un funcionamiento deficiente en cualquiera de las etapas pone en peligro la sostenibilidad de todo el sistema.

Los sistemas sostenibles de gestión del saneamiento y de las aguas residuales se deben diseñar también para las condiciones geográficas, sociales, culturales, económicas y ambientales locales específicas; no existen sistemas sostenibles de saneamiento que sirvan para todas las condiciones. La dura experiencia ha mostrado con claridad que la sostenibilidad no reside en la tecnología misma, sino en cómo satisface las necesidades y limitaciones de un contexto determinado.

El diseño debe incluir asimismo la dimensión temporal, es decir, los cambios que pueden sobrevenir durante el ciclo de vida de un sistema típico. Tiene sentido, desde un punto de vista práctico y económico, planear e invertir con miras a un futuro a largo plazo— por ejemplo, la expansión urbana, la consolidación de comunidades periurbanas no planificadas, presiones futuras sobre los recursos, e impactos del cambio climático.

La sostenibilidad de un sistema de gestión del saneamiento y de las aguas residuales depende también de su capacidad para hacer frente a desastres y a peligros naturales y a aquellos provocados por el hombre. Los sistemas que se descomponen o funcionan mal durante los desastres son, con frecuencia, los responsables de una gran parte de la mortalidad y de las enfermedades que resultan de sus secuelas. A este respecto, los sistemas sostenibles de saneamiento y de aguas residuales son parte integral de la resiliencia al desastre.

El argumento económico a favor de invertir en un mejor saneamiento ya ha sido sustentado adecuadamente. Únicamente los ahorros y dividendos generados por una mayor productividad y la reducción de mortalidad y de dolencias debidas a enfermedades contagiosas garantizan que estas inversiones se amorticen varias veces. Sin embargo, los sistemas construidos para la recuperación y reutilización de los recursos pueden generar beneficios

económicos aún mayores, crear empleo e incluso sectores de negocio y de mercados domésticos completamente nuevos. Según el contexto, poner a disposición de la sociedad recursos escasos, en especial el agua, fertilizantes y energía limpia en forma de biogás, puede llevar a ganancias en la productividad en sectores tales como el desarrollo comunitario, el transporte, la agricultura, la acuicultura y la silvicultura.

El conocimiento y las capacidades para hacer inversiones buenas y sostenibles están disponibles. En este libro hemos presentado una variada selección de soluciones técnicas e institucionales que han sido ensayadas y probadas en todo el mundo, y hay muchas más que valdría la pena mostrar. La gestión del saneamiento y de las aguas residuales diseñada para la recuperación de los recursos es un área de rápida innovación tecnológica y existe la necesidad cada vez mayor de cooperación tecnológica, de aprendizaje y de compartir conocimientos.

Como nota final, es importante darse cuenta de que los retos no se limitan al “mundo en desarrollo”, donde la provisión de estos servicios es actualmente deficiente. Si bien la mayor parte de las ciudades y países ricos cuentan con sistemas bien desarrollados de gestión del saneamiento y de las aguas residuales, rara vez están adaptados para la recuperación de recursos y, con frecuencia, utilizan enormes cantidades de energía y de agua (en especial agua potable tratada). Muchos países tendrán que adaptar o incluso reemplazar sus sistemas existentes. A lo largo de la historia, los avances en la gestión del saneamiento y de las aguas residuales han ido de la mano con algunas de las más grandes etapas del desarrollo humano. La gestión del saneamiento y de las aguas residuales podría de nuevo desempeñar un papel catalizador crucial en hacer realidad la visión del desarrollo sostenible de la Agenda 2030.

REFERENCIAS

2030 Water Resources Group (2009). *Charting our Water Future: Economic Frameworks to Inform Decision Making: The Economics of Water Resources*. Munich, Germany: McKinsey.

7th World Water Forum (2015). "Science & technology process". Available from <http://worldwaterforum7.org/introduce/program/science.asp>.

Adrados, B., Sánchez, O., Arias, C. A., Becares, E., Garrido, L., Mas, J., Brix, H. and Morató, J. (2014). Microbial communities from different types of natural wastewater treatment systems: vertical and horizontal flow constructed wetlands and biofilters. *Water Research*, vol. 55, pp. 304–312. DOI: 10.1016/j.watres.2014.02.011.

AF&PA (2012). *2012 AF&PA Sustainability Report*. Washington, DC: American Forest & Paper Association.

Alcock, N. (2015). "Urine diversion toilet waste removal in eThekweni municipality: business partnership modeling", Presentation at the 3rd International Faecal Sludge Management Conference, Hanoi, Jan. Available from <http://www.susana.org/en/resources/library/details/2173>.

Alderson, M. P., Santos, A. B. D. and Filho, C. R. M. (2015). Reliability analysis of low-cost, full-scale domestic wastewater treatment plants for reuse in aquaculture and agriculture. *Ecological Engineering*, vol. 82, pp. 6–14. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.04.081.

Amponsah, O., Schou, T. W., Braimah, I. and Abaidoo, R. C. (2015). The impact of farmers' participation in field trials in creating awareness and stimulating compliance with the World Health Organization's farm-based multiple-barrier approach. *Environment, Development and Sustainability*, vol. 17, no. 4, pp. 1–21. DOI: 10.1007/s10668-015-9686-2.

Andersson, K. (2014a). "Flood-resistant ecological sanitation takes off in a rural community", Fact sheet, Stockholm Environment Institute. Available from [https://www.sei.org/publications/flood-](https://www.sei.org/publications/flood-resistant-ecological-sanitation-takes-off-in-a-rural-community/)

[resistant-ecological-sanitation-takes-off-in-a-rural-community/](https://www.sei.org/publications/flood-resistant-ecological-sanitation-takes-off-in-a-rural-community/).

Andersson, K. (2014b). "Agricultural trials demonstrate benefits of urine harvesting and sustainable sanitation", Fact sheet, Stockholm Environment Institute. Available from <https://www.sei.org/publications/agricultural-trials-demonstrate-benefits-of-urine-harvesting-and-sustainable-sanitation/>.

Andersson, K. (2014c). "Showcasing ecological sanitation at an environmental education centre", Fact sheet. Stockholm Environment Institute. Available from <https://www.sei.org/publications/showcasing-ecological-sanitation-at-an-environmental-education-centre/>.

Andreoli, C.V., Von Sperling, M. and Fernandes, F., eds (2001). *Lodode esgotos: tratamento e disposição final* (Sewage sludge: treatment and final disposal). Belo Horizonte, Brazil: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Curitiba.

Asano, T. (2002). Multiple uses of water: reclamation and reuse. *GAIA*, Vol. 11, No. 4, pp. 277–280.

Balasubramaniam, U., Meriggi, N., Zisengwe, L. and Buysman, E. (2008). "Biogas production in climates with long cold winters", Feasibility study, Wageningen University, Netherlands. Available from <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/855>.

Banerjee, S. G. and Morella E. (2011). *Africa's Water and Sanitation Infrastructure: Access, Affordability, and Alternatives*. Washington, DC: World Bank.

Banks, I. J., Gibson, W. T. and Cameron, M. M. (2014). Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faeces and their implication for improving sanitation. *Tropical Medicine & International Health*, vol. 19, no. 1, pp. 14–22. DOI: 10.1111/tmi.12228.

Barber, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C. and Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, vol. 81, no. 2, pp. 169–193. doi/abs/10.1890/10-1510.1.

- Barker, F. S., O'Toole, J., Sinclair, M. I., Leder, K., Malawaraarachchi, M. and Hamilton, A. J. (2013). A probabilistic model of norovirus disease burden associated with greywater irrigation of home-produced lettuce in Melbourne, Australia. *Water Research*, vol. 47, no. 3, pp. 1421–1432. DOI:10.1016/j.watres.2012.12.012.
- Barreto, M. L. et al. (2007). Effect of citywide sanitation programme on reduction in rate of childhood diarrhoea in northeast Brazil: assessment by two cohort studies. *The Lancet*, vol. 370, no. 9599, pp. 1622–28. DOI:10.1016/S0140-6736(07)61638-9.
- Bassan, M., Tchonda, T., Mbéguéré, M. and Zabsonré, F. (2012). "Processus d'élaboration d'un cadre institutionnel régulant l'activité de vidange mécanique de la ville de Ouagadougou, Burkina Faso" [Process of developing an institutional framework to regulate mechanical emptying activities in the city of Ouagadougou, Burkina Faso], 16th African Water Association (AfWA) International Congress and Exhibition Application, Marrakech. Available from http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/EWM/Journals/regulation_vidange_ouaga.pdf.
- Bationo, A., Kihara, J., Vanlauwe, B., Waswa, B. and Kimetu, J. (2007). Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. *Agricultural Systems*, vol. 94, no. 1, pp. 13–25. DOI: 10.1016/j.agsy.2005.08.011.
- Baum, R., Luh, J. and Bartram, J. (2013). Sanitation: a global estimate of sewerage connections without treatment and the resulting impact on MDG progress. *Environmental Science & Technology*, vol. 47, no. 4, pp. 1994–2000. DOI: 10.1021/es304284f.
- Bazzarella, B.B. (2005). *Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações* (Characterization and greywater reuse for potable use in buildings), Master's thesis. Espírito Santo, Brazil: Universidade Federal do Espírito Santo.
- Bittencourt, S. (2014). *Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná: Aplicabilidade da Resolução Conama 375/06* (Management of process of agricultural use of sewage sludge in the state of Paraná: Applicability of CONAMA Resolution 375/06), Doctoral thesis. Curitiba, Brazil: Federal University of Paraná.
- Blackett, I.C., Hawkins, P. and Heymans, C. (2014). The missing link in sanitation service delivery : a review of fecal sludge management in 12 cities (English). Water and sanitation program research brief Washington, D.C.: World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/395181468323975012/The-missing-link-in-sanitation-service-delivery-a-review-of-fecal-sludge-management-in-12-cities>.
- Blumenthal U. J., Cifuentes, E., Bennet, S., Quigley, M. and Ruiz-Palacios G. (2001). The risk of enteric infections associated with wastewater reuse: the effect of season and degree of storage of wastewater. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, vol. 95, no. 2, pp. 131–137. DOI: 10.1016/S0035-9203(01)90136-1.
- Bogner, J. M. Abdelrafie Ahmed, C., Diaz, A. Faaij, Q., Gao, S. Hashimoto, K., Mareckova, R., Pipatti, T. and Zhang, T. (2007). "Waste management", in *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer, eds. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Bot, A. and Benites, J. (2005). *The Importance of Soil Organic Matter: Key to Drought-Resistant Soil and Sustained Food Production*, FAO Soils Bulletin no. 80. Rome: UN Food and Agriculture Organization.
- Bräustetter, A. (2007). "Operation and maintenance of resource-oriented sanitation systems in peri-urban areas", Diploma thesis, Triesdorf, Fachhochschule Weihenstephan Abteilung Triesdorf, Fakultät Umweltsicherung.
- Brooks, J. P., Tanner, B. D., Josephson, K. L., Gerba, C. P., Haas, C. N. and Pepper, I. L. (2005). A national study on the residential impact of biological aerosols from the land application of biosolids. *Journal of Applied Microbiology*, vol. 99, no. 2, pp. 310–322. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2005.02604.x.
- Buxton, N., Escobar, M., Purkey, D. and Lima, N. (2013). "Water scarcity, climate change and Bolivia: planning for climate uncertainties", Discussion brief, Stockholm Environment Institute, 2013. Available from <https://www.sei.org/publications/water-scarcity-climate-change-and-bolivia-planning-for-climate-uncertainties/>.
- Cadilhac P. and Roudot-Thoraval, F. (1996). Seroprevalence of hepatitis A virus infection among sewage workers in the Parisian area, France. *European Journal of Epidemiology*, vol. 12, no. 3, pp. 237–240. DOI: 10.1007/BF00145411.
- Cairncross, S. (2004). *The Case for Marketing Sanitation*. Nairobi: World Bank Water and Sanitation Program.

- Chamberlain, B. C., Carenini, G., Öberg, G., Poole, D. and Taheri, H. (2014). A decision support system for the design and evaluation of sustainable wastewater solutions. *IEEE Transactions on Computers, Special issue on Computational Sustainability*, vol. 63, no. 1. Available from http://www.cs.ubc.ca/~poole/papers/Chamberlain_IEEE_Computer_2013.pdf.
- Charlesworth, S., Harker and E. and Rickard, S. (2003). A review of sustainable drainage systems (SuDS): a soft option for hard drainage questions? *Geography*, vol. 88, no. 2, pp. 99–107. Available from <http://www.jstor.org/stable/40573828>.
- Chowdhry, S. and Koné, D. (2012). *Business Analysis of Faecal Sludge Management: Emptying and Transportation Services in Africa and Asia* (draft final report). Seattle, WA: Bill & Melinda Gates Foundation. Available from <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/1662>.
- Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D. and Savelli, H., eds (2010). *Sick Water? The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development. A Rapid Response Assessment*. Nairobi: UN Environment Programme, UN-HABITAT, GRID-Arendal. Available from <https://www.grida.no/publications/218>.
- Cordell, D. (2013). "Global phosphorus scarcity and the role of sanitation systems in achieving food security" in *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management*, T. A. Larsen, K. M. Udert and J. Lienert, eds. London: IWA Publishing.
- CPCB (2009). *Status of Water Supply, Wastewater Generation and Treatment in Class-I Cities & Class-II Towns of India*, Control of Urban Pollution Series, CUPS/70/2009-10. New Delhi: Indian Ministry of Environment and Forests, Central Pollution Control Board.
- Cruz, R. et al. (2005). *Philippines Sanitation Sourcebook and Decision Aid*. Manila: World Bank Water and Sanitation Program South East Asia, GTZ.
- Dagerskog, L. (2010). "Productive sanitation in Aguié Niger: testing a nutrient recycling system with a view to measure its potential for improving agricultural productivity", Technical advisory note, Stockholm Environment Institute. Available from <http://www.ecosanres.org/aguié/>.
- Dagerskog, L., Morgan, P., Still, D., Ochiro, B., Ekane, N., Henry, L. and Harawa, K. (2014). "Food security in sub-Saharan Africa: what could be the contribution of productive sanitation?" in *Sanitation and Hygiene in Africa Where Do We Stand? Analysis from the AfricaSan Conference*, P. Cross and Y. Coombes, eds. Kigali: IWA Publishing.
- Dagerskog, L., Dickin, S. and Savadogo, K. (2020). Return to learn: Recommendations from revisited rural ecosan projects in Burkina Faso. *Waterlines*, 39(1). 61–72. <https://doi.org/10.3362/1756-3488.19-00008>.
- Ddiba, D. I.W., Andersson, K. and Rosemarin, A. (2016). Resource Value Mapping (REVAMP): A Tool for Evaluating the Resource Recovery Potential of Urban Waste Streams. Discussion Brief. Stockholm Environment Institute. <https://www.sei.org/publications/revamp/>.
- Ddiba, D., Andersson, K., Koop, S. H. A., Ekener, E., Finnveden, G. and Dickin, S. (2020). Governing the circular economy: Assessing the capacity to implement resource-oriented sanitation and waste management systems in low- and middle-income countries. *Earth System Governance*, 4. 100063. <https://doi.org/10.1016/j.esg.2020.100063>
- DeFries, R. S., Foley, J. A. and Asner, G. P. (2004). Land-use choices: balancing human needs and ecosystem function. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 2, no. 5, pp. 249–257. DOI: 10.1890/1540-9295(2004).002[0249:LCBHNA]2.0.CO;2.
- Devine, J. (2009). *Introducing SaniFOAM: A Framework to Analyze Sanitation Behaviors to Design Effective Sanitation Programs*. Washington, DC: World Bank Water and Sanitation Programme. Available from http://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/GSP_sanifoam.pdf.
- di Mario, L. and Drechsel, P. (2013). "Wastewater reuse: benefits beyond food production", Consultative Group for International Agricultural Research (CGIAR) THRIVE blog, 2 Sept. 2013. Available from <https://wle.cgiar.org/thrive/2013/09/02/wastewater-reuse-benefits-beyond-food-production>.
- Diaz, R. J. and R. Rosenberg (2011). Introduction to environmental and economic consequences of hypoxia. *Water Resources Development* vol. 27, no. 1, pp. 71–82. DOI: 10.1080/07900627.2010.531379.
- Dickin, S. K., Schuster-Wallace, C. J., Qadir M. and Pizzacalla, K. (2016). A review of health risks and pathways for exposure to wastewater use in agriculture. *Environmental Health Perspectives*. DOI: 10.1289/ehp.1509995.
- Drechsel, P., Otoo, M., Rao, K. C. and Hanjira, M. A. (2018). Business models for a circular economy: linking waste management and sanitation with agriculture. In *Resource Recovery from Waste*:

- Business Models for Energy, Nutrient and Water Reuse in Low- and Middle-Income Countries. Otoo, M. and Drechsel, P. (eds). Routledge, London. DOI: 10.4324/9781315780863.
- Drechsel, P. and Seidu, R. (2011). Cost-effectiveness of options for reducing health risks in areas where food crops are irrigated with wastewater. *Water International*, vol. 36, no. 4, pp. 535–548. DOI:10.1080/02508060.2011.594549.
- Drechsel, P., Scott, C. A., Raschid-Sally, L., Redwood, M. and Bahri, A., eds (2010). *Wastewater Irrigation and Health Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries*. London: Earthscan.
- EcoSanRes (2008). “Guidelines on the use of urine and faeces in crop production”, EcoSanRes Factsheet no. 6. Available from http://www.ecosanres.org/pdf_files/ESR-factsheet-06.pdf.
- El Ayni, F., Cherif, S., Jrad, A. and Trabelsi-Ayadi, M. (2011). Impact of treated wastewater reuse on agriculture and aquifer recharge in a coastal area: Korba case study. *Water Resources Management*, vol. 25, no. 9, pp. 2251–2265.
- Eliasson, J. (2014). “Deputy Secretary-General’s remarks at media launch of sanitation campaign”, Press conference, New York, 28 May 2014, United Nations. Available from <http://www.un.org/sg/dsg/dsgoffthecuff.asp?nid=288>.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M. and Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, vol. 4, no. 1, pp. 85–104. DOI: 10.1016/S1462-0758(01)00064-4.
- European Commission (2015). *Closing the Loop: An EU Action Plan for the Circular Economy*. COM(2015) 614 Final. European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>.
- European Court of Auditors (2012). *European Union Development Assistance for Drinking Water Supply and Basic Sanitation in Sub-Saharan Countries*, Special Report no. 13. Luxembourg: European Union.
- Falkland, A. and Custodio, E. (1991). *Hydrology and Water Resources of Small Islands: A Practical Guide*, UNESCO Studies and Reports in Hydrology no. 49. Paris: UNESCO. Available from <http://unesdoc.unesco.org/images/0009/000904/090426eo.pdf>.
- FAO. 2019. World fertilizer trends and outlook to 2022. Rome: UN Food and Agriculture Organization. Available from <http://www.fao.org/publications/card/en/c/CA6746EN/>.
- Faurès, J. M. and Santini, G. (2008). eds, “Mapping poverty, water and agriculture in sub-Saharan Africa”, in *Water and the Rural Poor: Interventions for Improving Livelihoods in sub-Saharan Africa*. Rome: UN Food and Agriculture Organization. Available from <http://www.fao.org/docrep/010/i0132e/i0132e00.htm>.
- Felice, F. and Vatiero, M. (2012). “Elinor Ostrom and the solution to the tragedy of the commons”, American Enterprise Institute, 27 June 2012. Available from <https://www.aei.org/articles/elinor-ostrom-and-the-solution-to-the-tragedy-of-the-commons/>.
- Fewtrell, L., Kaufmann, R. B., Kay, D., Enanoria, W., Haller, L. and Colford, J. M. (2005). Water, sanitation and hygiene interventions to reduce diarrhoea in less developed countries: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Infectious Diseases*, vol. 5, no. 1, pp. 42–52. DOI:10.1016/S1473-3099(04)01253-8.
- Fong, T. T., Mansfield, L. S. Wilson, D. L., Schwab, D. J., Molloy, S. L. and Rose, J. B. (2007). Massive microbiological groundwater contamination associated with a waterborne outbreak in Lake Erie, South Bass Island, Ohio. *Environmental Health Perspectives*, vol. 115, no. 6, pp. 856–64. Available from <http://www.jstor.org/stable/4139303>.
- Fracchia, L., Pietronave, S., Rinaldi, M. and Martinotti, M. G. (2006). Site-related airborne biological hazard and seasonal variations in two wastewater treatment plants. *Water Research*, vol. 40, no. 10, pp. 1985–1994. DOI:10.1016/j.watres.2006.03.016.
- Friedler, E., Butler, D. and Alfiya, Y. (2013). “Wastewater composition”, in *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management*, T. A. Larsen, K. M. Udert and J. Lienert, eds. London: IWA Publishing, pp. 241–257.
- Fundación Sumaj Huasi (2015). “Proyecto: ‘agua y saneamiento para áreas peri-urbanas de la ciudad de El Alto, aplicando tecnologías alternativas’. sostenibilidad y escalabilidad [Project: “Water and sanitation for peri-urban areas of the city of El Alto, applying alternative technologies”, Sustainability and Scaleability]”, Presentation delivered at Swedish International Development Cooperation Agency (Sida), Stockholm, May 2015.
- Gallego, A., Hospido, A., Moreira, M. T. and Feijoo, G. (2008). Environmental performance of wastewater treatment plants for small populations. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 52, no. 6, pp. 931–940. DOI: 10.1016/j.resconrec.2008.02.001.

- Galli, G., Nothomb, C. and Baetings, E. (2014). Towards Systemic Change in Urban Sanitation, IRC working paper. The Hague: IRC. Available from http://www.ircwash.org/sites/default/files/201411_wp_towardsyschangeinurbansan_web.pdf.
- Gardner, M., Comber, S., Scrimshaw, M. D., Cartmell, E., Lester, J. and Ellor, B. (2012). The significance of hazardous chemicals in wastewater treatment works effluents. *Science of the Total Environment*, vol. 437, pp. 363–372. DOI:10.1016/j.scitotenv.2012.07.086.
- Gennaccaro, A. L., McLaughlin, M. R., Quintero-Betancourt, W., Huffman, D. E. and Rose, J. B. (2003). Infectious cryptosporidium parvum oocysts in final reclaimed effluent. *Applied Environmental Microbiology*, vol. 69, no. 3, pp. 4983–4984. DOI: 10.1128/AEM.69.8.4983-4984.2003.
- Gensch, R., Jennings, A., Renggli, S. and Reymond, P. (2018). Compendium of Sanitation Technologies in Emergencies. 1st ed. German WASH Network, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Global WASH Cluster and Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA), Berlin. <http://www.washcluster.net/emersan-compendium>.
- Ghazy, M.R., Dockhorn, T. and Dichtl, N. (2011). "Economic and environmental assessment of sewage sludge treatment processes application in Egypt", Paper presented at Fifteenth International Water Technology Conference (IWTC-15).
- Ginneken, M. van, Netterstrom, U. and Bennett, A. (2011). *More, Better, or Different Spending? Trends in Public Expenditure on Water and Sanitation in Sub-Saharan Africa*, Public Expenditure Review, Water papers. Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17224>.
- Gonçalves, R.F., da Silva Simões, G.M. and Wanke, R. (2010). Greywater reuse in urban buildings: case study of Vitória (ES) and Macaé (RJ) *Revista Aidis*, vol. 3, no. 1, pp. 120–131.
- Graham, J. P. and Polizzotto, M. L. (2013). Pit latrines and their impacts on groundwater quality: a systematic review. *Environmental Health Perspectives*, no. 121. Available from http://hsrc.himmelfarb.gwu.edu/sphhs_enviro_facpubs/36/.
- Grant S. B. et al. (2012). Taking the 'waste' out of 'wastewater' for human water security and ecosystem sustainability. *Science*, vol. 337, no. 6095, pp. 681–686. DOI: 10.1126/science.1216852.
- Guest, J. S. et al. (2009). A new planning and design paradigm to achieve sustainable resource recovery from wastewater. *Environmental Science & Technology*, vol. 43, no. 16, pp. 6126–6130. DOI: 10.1021/es9010515.
- Hakspiel, D., Foote, A. and Parker, J. (2018). *Container-Based Toilets with Solid Fuel Briquettes as a Reuse Product: Best Practice Guidelines for Refugee Camps*. Sanitation and UN High Commissioner for Refugees. <http://wash.unhcr.org/download/container-based-toilets-with-solid-fuel-guidelines/>.
- Hansena, V., Müller-Stöver, D., Ahrenfeldt, J., Holmb, J. K., Henriksen, U. B. and Hauggaard-Nielsen, H. (2015). Gasification biochar as a valuable by-product for carbon sequestration and soil amendment. *Biomass and Bioenergy*, vol. 72, pp. 300–308. DOI:10.1016/j.biombioe.2014.10.013.
- HCWW (2014). *The Re-use of Treated Sewage Waste Water in Agriculture: Final Report*. Cairo: Holding Company for Water and Wastewater.
- Heinz, I., Salgot, M. and Mateo-Sagasta Dávila, J. (2011). Evaluating the costs and benefits of water reuse and exchange projects involving cities and farmers. *Water International*, vol. 36, no. 4, pp. 455–466. DOI: 10.1080/02508060.2011.594984.
- Helmer, R. and Hespanhol, I., eds (1997). *Water Pollution Control: A Guide to the Use of Water Quality Management Principles*. London: E & FN Spon/Thomson Professional for World Health Organization and UN Environment Programme. Available from http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/watpolcontrol.pdf.
- Hernandez-Sancho, F., Lamizana-Diallo, B., Mateo-Sagasta, J. and Qadir, M. (2015). *Economic Valuation of Wastewater: the Cost of Action and the Cost of No Action*. Nairobi: UN Environment Programme. Available from <http://unep.org/gpa/Documents/GWI/Wastewater%20Evaluation%20Report%20Mail.pdf>.
- Höglund, C., Stenström, T. A. and Ashbolt, N. (2012). Microbial risk assessment of source-separated urine used in agriculture. *Waste Management & Research*, vol. 30, no. 7. DOI: 10.1177/0734242X0202000207.
- Holeton, C., Chambers, P. A. and Grace, L. (2011). Wastewater release and its impacts on Canadian waters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 68, no. 10, pp. 1836–1859. DOI: 10.1139/f2011-096.

- House, S., Mahon, T. and Cavill, S. (2012). *Menstrual Hygiene Matters: A Resource for Improving Menstrual Hygiene Around the World*. WaterAid. Available from <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/2210>.
- Hutton, G. (2012). *Global Costs and Benefits of Drinking-Water Supply and Sanitation Interventions to Reach the MDG Target and Universal Coverage*, WHO/HSE/WSH/12.01. Geneva: World Health Organization. Available from http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/75140/1/WHO_HSE_WSH_12.01_eng.pdf.
- Hutton, G. and Varughese, M. (2016). The Costs of Meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene. Water and Sanitation Program Technical Paper 103171. Washington, DC: World Bank.
- Hutton, G., Haller, L. and Bartram, J. (2007). Global cost-benefit analysis of water supply and sanitation interventions. *Journal of Water and Health*, vol. 5, no. 4, pp. 481–502. DOI: 10.2166/wh.2007.009.
- IFAD (2011). Rural Poverty Report 2011: New Realities, New Challenges: New Opportunities for Tomorrow's Generation. Rome: International Fund for Agricultural Development. Available from <https://reliefweb.int/report/world/rural-poverty-report-2011-new-realities-new-challenges-new-opportunities-tomorrows>.
- Isaksson, J. (2015). *Biomass Gasification-Based Biorefineries in Pulp and Paper Mills: Greenhouse Gas Emission Implications and Economic Performance*, Doctoral thesis, Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden: Chalmers University of Technology. Available from <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/213227/213227.pdf>.
- ISF-UTS (2014). Financing Sanitation for Cities and Towns: Learning Paper, Prepared for SNV Netherlands Development Organisation by Institute for Sustainable Futures (ISF), University of Technology, Sydney (UTS). Sydney, Australia: UTS. Available from <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/2185>.
- Jenkins, M. W. and Curtis, V. (2005). Achieving the “good life”: why some people want latrines in rural Benin. *Social Science & Medicine*, vol. 61, no. 11, pp. 2446–2459. DOI: 10.1016/j.socscimed.2005.04.036.
- Jenkins, M. W. and Scott, B. (2007). Behavioral indicators of household decision-making and demand for sanitation and potential gains from social marketing in Ghana. *Social Science & Medicine*, vol. 64, no. 12, pp. 2427–2442. DOI: 10.1016/j.socscimed.2007.03.010.
- Jiménez, B. (2007). Helminth ova control in sludge: a review. *Water Science and Technology*, vol. 56, no. 9, pp. 147–155. DOI: 10.2166/wst.2007.713.
- JMP (2019). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2017. Special focus on inequalities. New York: United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization. Available from https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/jmp-report-2019/en/.
- Johansson, M. and Kvarnström, E. (2011). Stakeholder conflicts in Kullön, Sweden, in *Sustainable Water Management in the City of the Future – D.6.1.4. A Handbook of Appraisal and Communication Tools to Assist Conflict Resolution and Minimize Barriers to Effective Decision-making*, J. T. Visscher and J. Verhagen (eds). Available from http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/W6-1_GEN_MAN_D6.1.4_Conflict_resolution_-_Training_manual.pdf.
- Jönsson, H., Richert Stintzing, A., Vinnerås, B. and Salomon, E. (2004). *Guidelines on the Use of Urine and Faeces in Crop Production*. Stockholm: EcoSanRes Publication Series, Stockholm Environment Institute. Available from http://www.ecosanres.org/pdf_files/ESR_Publications_2004/ESR2web.pdf.
- Kar, K. and Chambers, R. (2008). *Handbook on Community-Led Total Sanitation*. Brighton, UK: Institute of Development Studies.
- Khiewwijit, R., Temmink, H., Rijnaarts, H. H. M. and Keesman, K. J. (2015). Energy and nutrient recovery for municipal wastewater treatment: how to design a feasible plant layout? *Environmental Modelling and Software*, vol. 68, pp. 156–165. DOI:10.1016/j.envsoft.2015.02.011.
- Kim, N. and Ferguson, J. (1993). Concentrations and sources of cadmium, copper, lead and zinc in house dust in Christchurch, New Zealand. *Science of the Total Environment*, vol. 138, no. 1–3, pp. 1–21.
- Kjellén, M., Pensulo, C., Nordqvist, P. and Fogde, M. (2012). *Global Review of Sanitation System Trends and Interactions with Menstrual Management Practices*. Stockholm: Stockholm Environment Institute. Available from <http://www.sei-international.org/publications?pid=2044>.

- Kvarnström, E., Verhagen, J., Nilsson, M., Srikantaiah, V., Ramachandran, S. and Singh, K. (2012). *The Business of the Honey-suckers in Bengaluru (India): The Potentials and Limitations of Commercial Faecal Sludge Recycling: An Explorative Case Study*, Occasional Paper no. 48. The Hague: IRC International Water and Sanitation Centre. Available from <http://www.ircwash.org/OP48>.
- Kvarnström, E., McConville, J., Bracken, P., Johansson, M. and Fogde, M. (2011). The sanitation ladder – a need for a revamp? *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, vol. 1, no. 1, pp. 3–12. DOI: 10.2166/washdev.2011.014.
- Lahnsteiner, J., du Pisani, P., Menge, J. and Esterhuizen, J. (2013). “More than 40 years of direct potable reuse experience in Windhoek (Namibia)”, in *Milestones in Water Reuse: The Best Success Stories*, V. Lazarova, T. Asano, A. Bahri and J. Anderson, J., eds. London: IWA Publishing.
- Lal, R. (2008). Soils and sustainable agriculture, a review. *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 28, no. 1, pp. 57–64. DOI: 10.1051/agro:2007025.
- Lalander, C., Diener, S., Magri, M. E., Zurbrugg, C., Lindström, A. and Vinnerås, B. (2013). Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*): from a hygiene aspect. *Science of the Total Environment*, vol. 458–460, pp. 312–318. DOI:10.1016/j.scitotenv.2013.04.033.
- Land Stewardship Project (2013). “Valuing sustainable practice: value of soil organic matter”, Farm Transitions Toolkit.
- Larsen T. A. and Gujer, W. (2013). “Implementation of source separation and decentralization in cities”, in *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management*, T. A. Larsen, K. M. Udert and J. Lienert, eds. London: IWA Publishing, pp. 135–151.
- Larsen, T.A. Udert, K. M. and Lienert, J. eds. (2013). *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management*. London: IWA Publishing.
- Lazarova, V., Choo, K. H. and Cornel, P., eds (2012). *Water-Energy Interactions in Water Reuse*. London: IWA Publishing.
- Lazarova, V., Hills, S. and Birks, R. (2003). Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. *Water Science and Technology: Water Supply*, vol. 3, no. 4, pp. 69–77. Available from <http://ws.iwaponline.com/content/3/4/69>.
- Lewis, D. L., Gattie, D. K., Novak, M. E., Sanchez, S. and Pumphrey, C. (2012). Interactions of pathogens and irritant chemicals in land-applied sewage sludges (biosolids). *BMC Public Health*, vol. 2, no. 11. DOI: 10.1186/1471-2458-2-11.
- Li, Y., Zhao, X., Li, Y. and Li, X. (2015). Waste incineration industry and development policies in China. *Waste Management*, vol. 46, pp. 234–241. DOI:10.1016/j.wasman.2015.08.008.
- Lienert, J. (2013). “High acceptance of source-separating technologies – but . . .”, in *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management*, T. A. Larsen, K. M. Udert and J. Lienert, eds. London: IWA Publishing, pp. 193–208.
- Long, S. and Cudney, E. (2012). Integration of energy and environmental systems in wastewater treatment plants. *International Journal of Energy and Environment*, vol. 3, no. 4, pp. 521–530. Available from <http://www.IJEE.IEEFoundation.org>.
- Loucks, P.D., van Beek, E. (2017). Water resources planning and management: an overview. In: Loucks DP, van Beek E (eds) *Water resource systems planning and management*. Springer, Cham, pp 20–49. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44234-1_1.
- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J. and Wang, X. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, vol. 473–474, pp. 619–641. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.12.065.
- Lüthi, C., Morel, A., Tilley, E. and Ulrich, L. (2011). *Community-Led Urban Environmental Sanitation Planning (CLUES)*. Dübendorf, Switzerland: Eawag. Available from <http://www.sswm.info/category/planning-process-tools/programming-and-planning-frameworks/frameworks-and-approaches/sani-8>.
- Malmqvist, P. A. and Palmqvist, H. (2005). Decision support tools for urban water and wastewater systems: focussing on hazardous flows assessment. *Water Science & Technology*, vol. 51, no. 8, pp. 41–49. Available from <http://wst.iwaponline.com/content/51/8/41>.
- Mang, H.-P. (2009). “Co-digestion: some European experiences”, German Society for Sustainable Biogas and Bioenergy Utilisation (GERBIO)”,

- Presentation at 2009 AgSTAR Conference, Baltimore, MD, 24–25 February.
- Mang, H.-P. and Li, Z. (2010). *Technology Review of Biogas Sanitation*. Eschborn, Germany: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GIZ. Available from <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/877>.
- Mara, D. D. (2010). *Quantitative Microbial Risk Analysis: The 2006 WHO Guidelines and Beyond – An Introduction*. Washington, DC: World Bank.
- Mara, D. D. (2012). Sanitation: What’s the real problem? *IDS Bulletin*, vol. 43, no. 2, pp. 86–92. DOI: 10.1111/j.1759-5436.2012.00311.x.
- Martin, M. and Walker, J. (2015). *Financing the Sustainable Development Goals: Lessons from Government Spending on the MDGs*, Government Spending Watch research report. Development Finance International and Oxfam. Available from http://www.governmentspendingwatch.org/images/pdfs/GSW_2015_Report/Financing-Sustainable-Development-Goals-Report-2015.pdf.
- Mateo-Sagasta, J., Raschid-Sally, L. and Thebo, A. (2015). “Global wastewater and sludge production, treatment and use”, in *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World*, P. Drechsel, M. Qadir and D. Wichelns, eds. London: Springer.
- Maurer M. (2013). “Full costs, (dis-)economies of scale and the price of uncertainty”, in *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management*, T. A. Larsen, K. M. Udert and J. Lienert, eds. London: IWA Publishing, pp. 85–99.
- McConville, J., Niwagaba, C., Nordin, A., Namboozo, V., Kiffe, M. and Ahlström, M. 2020. *Guide to Sanitation Resource-Recovery Products and Technologies: A supplement to the Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 1st Edition. Swedish University of Agricultural Sciences (SLU). Uppsala, Sweden. Available from <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/4008>.
- McGlade, J. et al. (2012). *Measuring Water Use in a Green Economy: A Report of the Working Group on Water Efficiency to the International Resource Panel*. Nairobi: UN Environment Programme. Available from <http://doc.utwente.nl/81633/>.
- McGregor, J. L. (2005). “The Small Town Pilot Project (STPP) in Peru: A private-public social partnership to change water and sanitation management model”, Lima, World Bank Water and Sanitation Programme. Available from http://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/213200781413_lac_models.pdf.
- Meininger, F., Kröger, K. and Otterpohl, R. (2009). Material flow analysis as a tool for sustainable sanitation planning in developing countries: case study of Arba Minch, Ethiopia. *Water Science & Technology*, vol. 59, no. 10, pp. 1911–1920. DOI: 10.2166/wst.2009.189.
- Mihelcic, J. R., Fry, L. M. and Shaw, R. (2011). Global potential of phosphorus recovery from human urine and faeces. *Chemosphere*, vol. 84, no. 6, pp. 832–839. DOI:10.1016/j.chemosphere.2011.02.046.
- Molin, S. A., Cvetkovic, V., Stenström, T. A. and Harikumar, P. S. (2010). “Quantitative microbial risk assessment of shallow well water supplies from on-site sanitation in heterogeneous aquifers” (unpublished manuscript).
- Montangero, A. (2006). *Material Flow Analysis for Environment Sanitation Planning in Developing Countries: An Approach to Assess Material Flows with Limited Data Availability*, Doctoral dissertation. Innsbruck, Germany: Faculty of Civil Engineering, Leopold-Franzens-University. Available from https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/ESRISS/pdfs/mfa_guidelines.pdf.
- Morel, A. and Diener, S. (2006). *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods*, Sandec Report no. 14/06. Dübendorf, Switzerland: Eawag. Available from http://www.susana.org/_resources/documents/default/2-947-en-greywater-management-2006.pdf.
- Mosler H.-J. (2011). “How can it be achieved that water- and sanitation facilities will actually be used by the population?”, Presentation to GIZ, Eawag, 16 November 2011. Available from <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1324>.
- Municipal Corporation of Cochin (2011). “City sanitation plan for Kochi”. Available from http://www.susana.org/_resources/documents/default/2-1582-city-sanitation-plan-for-kochi.pdf.
- Murray, A. and Ray, I. (2010). Wastewater for agriculture: A re-use oriented planning model and its application in semi-arid China. *Water Research*, vol. 44, no. 5, pp. 1667–1679. DOI: 10.1016/j.watres.2009.11.028.
- NEPAD (2006). *Water in Africa: Management Options to Enhance Survival and Growth*, New

Partnership for Africa's Development (NEPAD). Addis Ababa: UN Economic Commission for Africa.

Niwagaba, C. B. (2009). *Treatment Technologies for Human Faeces and Urine*, Doctoral thesis, Department of Energy and Technology, Swedish University of Agricultural Sciences and Faculty of Technology, Makerere University, Kampala. Uppsala, Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences. Available from <http://pub.epsilon.slu.se/2177/>.

Nordqvist, P. (2013). *System Order and Function in Urban Sanitation: Exploring the Concept of Poly-centric Systems in the City of Kampala, Uganda*, Master's thesis, Stockholm Resilience Centre, Stockholm University. Available from <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A657357&dswid=-184>.

NRC (1998). *Issues in Potable Reuse: The Viability of Augmenting Drinking Water Supplies with Reclaimed Water*, National Research Council. Washington, DC: National Academic Press.

Nyoka, R., Foote, A. D., Woods, E., Lokey, H., O'Reilly, C. E., et al. (2017). Sanitation practices and perceptions in Kakuma refugee camp, Kenya: Comparing the status quo with a novel service-based approach. *PLoS ONE*, 12(7). e0180864–e0180864. DOI: 10.1371/journal.pone.0180864.

OECD (2020). *The Circular Economy in Cities and Regions*. Organisation for Economic Co-operation and Development. <https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/roundtable-circular-economy.htm> out

OECD-DAC (2013). "Financing water and sanitation in developing countries: the contribution of external aid", Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) Development Assistance Committee (DAC), Paris. Available from <http://www.oecd.org/dac/stats/water>.

Örebro Municipality (2010). "Koldioxidjakten" [The CO₂ hunt], Student guide, August.

Ostrom, E. (1990). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Ostrom, E. (2009). "Beyond markets and states: polycentric governance of complex economic systems", Prize lecture at Aula Magna, Stockholm University, 8 Dec. 2009. Available from http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/economic-sciences/laureates/2009/ostrom-lecture.html.

Otterpohl, R. (2009). "Terra preta sanitation – full reuse in sanitation and bio-waste-management", Presentation, Institute of Wastewater Management and Protection, Technical University Hamburg-Harburg (TUHH). Available from <http://www.sswm.info/content/terra-preta-sanitation-0>.

Ottoson, J. and Stenström, T. A. (2003). Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Water Research*, vol. 37, no. 3, pp. 645–655. DOI: 10.1016/S0043-1354(02)00352-4.

Palmquist, H. and Hanæus, J. (2005). Hazardous substances in separately collected grey- and blackwater from ordinary Swedish households. *Science of the Total Environment*, vol. 348, nos. 1–3, pp. 151–163. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.12.052.

Parker, J., Hakspiel, D., Foote, A., Woods, E. (2020). *Waste-to-Value Sanitation in Kakuma Refugee Camp Analysis from the piloting of a business model involving container-based sanitation and a domestic energy reuse product*. UNHCR, Bill and Melinda Gates Foundation, Sanivation. <https://wash.unhcr.org/download/waste-to-value-sanitation-in-kakuma-refugee-camp/>

Parkinson, J., Lüthi, C. and Walther, D. (2014). *Sanitation 21 – A Planning Framework for Improving City-Wide Sanitation Services*. International Water Association, Eawag-Sandec and GIZ. Available from http://www.iwa-network.org/filemanager-uploads/IWA-Sanitation-21_22_09_14-LR.pdf.

Paul, J. N., Jr. (2011). "Making water reform happen: the experience of the Philippine Water Revolving Fund", Background paper for the OECD Global Forum on Environment: Making Water Reform Happen, Paris, 25–26 October. Available from <http://www.oecd.org/env/resources/48925373.pdf>.

Persson, T., Svensson, M. and Finnson, A. (2015). "REVAQ certified wastewater treatment plants in Sweden for improved quality of recycled digestate nutrients", IEA Bioenergy Task 37. Available from http://www.iea-biogas.net/case-studies.html?file=files/daten-redaktion/download/case-studies/REVAQ_Case_study_A4_1.pdf.

Poleto, C. and Tassi, R. (2012). "Sustainable urban drainage systems", in *Drainage Systems*, M. S. Javid. InTech. Available from <http://www.intechopen.com/books/drainage-systems>.

Post, V. and Athreye, V. (2015). "An overview of the financial instruments for sanitation used in FINISH programmes in India and Kenya", Financing Sanitation series no. 1, The Hague, WASTE, Nov.

2015. Available from <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/2438>
- Prendeville, S., Cherim, E. and Bocken, N. (2018). Circular cities: Mapping six cities in transition. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 26: 171-194: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.03.002>
- Prüss-Üstün, A. et al. (2014). Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene in low- and middle-income settings: a retrospective analysis of data from 145 countries. *Tropical Medicine and International Health*, vol. 19, no. 8, pp. 894–905. DOI: 10.1111/tmi.12329.
- Quayle, T. (2012). *Wastewater Treatment and Water Recycling for Biomass Production in Niamey, Niger*. Cape Town, South Africa: International Council for Local Environmental Initiatives ICLEI.
- Richardson, S. D. and Kimura, S. Y. (2016). Water analysis: emerging contaminants and current issues. *Analytical Chemistry*, vol. 88, no. 1, pp 546–582. DOI: 10.1021/acs.analchem.5b04493.
- Richert, A., Gensch, R., Jönsson, H., Stenström, T.-A. and Dagerskog, L. (2010). *Practical Guidance on the Use of Urine in Crop Production*, EcoSanRes series. Stockholm: Stockholm Environment Institute.
- Rockström, J. et al. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, vol. 14, no. 2, p. 32. Available from <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>.
- Rogstrand, G., Olsson, H., Andersson, C. A., Johansson, N. and Edström, M. (2012). Process för ökad biogasproduktion och energieffektiv hygienisering av slam [Process for increased biogas production and energy efficient hygienisation of sludge] Svenskt Gastekniskt Center (SGC) Report 2012: 269. Malmö, Sweden: SGC. Available from <http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC269.pdf>.
- Rose, J. B., Dickson, L. J., Farrah, S. R. and Carnahan, D. P. (1996). Removal of pathogenic and indicator microorganisms by a full-scale water reclamation facility. *Water Research*, vol. 30, no. 11, pp. 2785–2797. DOI: 10.1016/S0043-1354(96)00188-1.
- Rosemarin, A., Ekane, N., Caldwell, I., Kvarnström, E., McConville, J., Ruben, C. and Fogde, M. (2008). *Pathways for Sustainable Sanitation: Achieving the Millennium Development Goals*. London: International Water Association/Stockholm Environment Institute.
- Rosemarin, A., McConville, J., Flores, A. and Zhu, Q. (2012). *The Challenges of Urban Ecological Sanitation: Lessons from the Erdos Eco-Town Project*. Rugby, UK: Practical Action Publishing. Available from <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A575781&dsid=-8358>.
- Roy, M. M., Dutta, A., Corscadden, K., Havard, P. and Dickie, L. (2011). Review of biosolids management options and co-incineration of a biosolid-derived fuel. *Waste Management*, vol. 31, no. 11, pp. 2228–2235. DOI:10.1016/j.wasman.2011.06.008.
- Roy, R. N., Misra, R. V. and Montanez, A. (2002). Decreasing reliance on mineral nitrogen – yet more food. *Ambio: Journal of the Human Environment*, vol. 31, no. 2, pp. 177–183. DOI: 10.1579/0044-7447-31.2.177.
- Rulin, J. (1997). “Collection and disposal of excreta from public dry latrines, household dry pit latrines and bucket latrines in Yichang City China”, in *Household Excreta: The Operation of Services in Urban Low-income Neighbourhoods*, M. A. Muller, ed., Urban Waste Series no. 6. Pathumthani, Thailand: Environmental Systems Information Centre, Asian Institute of Technology (ENSIC-AIT).
- Rutkowski, T., Raschid-Sally, L. and Buechler, S. (2007). Wastewater irrigation in the developing world: two case studies from Kathmandu valley in Nepal. *Agricultural Water Management*, vol. 88, nos 1–3, pp. 83–91. DOI:10.1016/j.agwat.2006.08.012.
- Salgot, M. and Huertas, E., eds (2006). *Guideline for Quality Standards for Water Reuse in Europe, Integrated Concepts for Reuse of Upgraded Wastewater*, EVK1-CT-200200130, Work Package 2, Deliverable D15. AQUAREC. Available from <http://www.susana.org/en/resources/library/details/550>.
- Samolada, M. and Zabaniotou, A. (2014). Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece. *Waste Management*, vol. 34, no. 2, pp. 411–420. DOI:10.1016/j.wasman.2013.11.003.
- Sato T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T. and Ahmad, Z. (2013). Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, vol. 130, pp. 1–13. DOI:10.1016/j.agwat.2013.08.007.
- Schindler, D. W. and Vallentyne, J. R. (2008). *The Algal Bowl: Overfertilization of the World's Freshwater and Estuaries*. Edmonton, AB: University of Alberta Press.

- Schmidt, A. (2005). Treatment of sludge from domestic on-site sanitation systems septic tanks and latrines – septage, Presentation, Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA), October.
- Schröder, J. J., Cordell, D., Smit, A. L. and Rosemarin, A. (2010). *Sustainable Use of Phosphorus*, Wageningen University and Stockholm Environment Institute Report to European Union. Brussels: EU Directorate-General for the Environment. Available from http://ec.europa.eu/environment/natres/pdf/sustainable_use_phosphorus.pdf.
- Schweitzer, R., Ward, R. and Lockwood, H. (2015). *WASH Sustainability Index Tool Assessment: Ethiopia*, Final Report. USAID/Tetra Tech. Available from http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00KMCR.pdf.
- Seidu, R. (2010). *Disentangling the Risk Factors and Health Risks Associated with Faecal Sludge and Wastewater Reuse in Ghana*, Doctoral thesis. Ås, Norway: Norwegian University of Life Sciences.
- Seidu, R. and Drechsel, P. (2010). Cost-effectiveness analysis of treatment and non-treatment interventions for diarrhoea disease reduction associated with wastewater irrigation, in *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries*, P. Drechsel, C. A. Scott, L. Raschid-Sally, M. Redwood and B. Akissa, eds. London: Earthscan.
- Seidu, R., Heistad, A., Amoah, P., Drechsel, P., Jenssen, P. D. and Stenström, T. -A. (2008). Quantification of the health risk associated with wastewater reuse in Accra, Ghana: a contribution toward local guidelines. *Journal of Water and Health*, vol. 6, no. 4, pp. 461–471. DOI: 10.2166/wh.2008.118.
- Seidu, R., Sjølander, I., Abubakari, A., Amoah, D., Larbi, J. A. and Stenström, T. -A. (2013). Modeling the die-off of *E. coli* and *Ascaris* in wastewater-irrigated vegetables: Implications for microbial health risk reduction associated with irrigation cessation. *Water Science & Technology*, vol. 86, no. 5, pp. 1013–1021. DOI:10.2166/wst.2013.335.
- Seltenrich, N. (2013). Incineration versus recycling: in Europe, a debate over trash”, *Yale Environment 360*. Available from http://e360.yale.edu/feature/incineration_versus_recycling__in_europe_a_debate_over_trash/2686/.
- Senecal, J., Fidjeland, J. and Vinnerås, B. (2015). NoWaste Toilet: function and nutrient recovery, Presentation at FSM3, Third International Faecal Sludge Management Conference, Hanoi, Vietnam, January. Available from <http://www.susana.org/images/documents/07-cap-dev/b-conferences/15-FSM3/Day-3/Rm-3/3-3-1-1Senecal.pdf>.
- Sherpa, A. M., Sherpa, M. G. and Lüthi, C. (2013). CLUES: Local solutions for sanitation planning: the case study of Nala, Nepal, March. Available from http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/nala_flyer.pdf.
- Shuval, H., Adin, A., Fattal, B., Rawitz, E. and Yekutieli, P. (1986). *Wastewater Irrigation in Developing Countries: Health Effects and Technical Solutions*, Technical Paper no. 51. Washington, DC: World Bank.
- Shuval, H., Guttman-Bass, N., Applebaum, J. and Fattal, B. (1989). Aerosolized enteric bacteria and viruses generated by spray irrigation of wastewater. *Water Science and Technology*, vol. 21, no. 3, pp. 131–135. Available from <http://wst.iwaponline.com/content/21/3/131>.
- Silva, J., Castillo, G., Callejas, L., López, H. and Olmos J (2006). Frequency of transferable multiple antibiotic resistance amongst coliform bacteria isolated from a treated sewage effluent in Antofagasta, Chile. *Electronic Journal of Biotechnology*, vol. 9, no. 5, pp. 533–540. DOI: 10.2225/vol9-issue5-fulltext-7.
- Simpson-Herbert, M., Sawyer, R. and Clarke, L. (1997). *The PHAST Initiative: Participatory Hygiene and Sanitation Transformation: A New Approach to Working with Communities*, WHO/EOS/96.11. Geneva: World Health Organization, UN Development Programme and World Bank Water and Sanitation Programme. Available from http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/envsan/EOS96-11a.pdf.
- Sinnatamby, G. S. (1983). *Low-Cost Sanitation Systems for Urban Peripheral Areas in North-East Brazil*, Doctoral thesis, University of Leeds. Leeds, UK: University of Leeds.
- Slim, J. A. and Wakefield, R. W. (1990). The utilization of sewage sludge in the manufacture of clay bricks. *Water SA*, vol. 17, no. 3, pp. 197–202. Available from http://reference.sabinet.co.za/webx/access/journal_archive/03784738/2154.pdf.
- Smith, C. (1993). *The Effect of the Introduction of Piped Sewerage on Ascaris Infection and Environmental Contamination in a Gaza Strip Refugee Camp*, Thesis. London: Department of Epidemiology and Population Sciences, London School of Hygiene and Tropical Medicine.

- Smith, J., Abegaz, A., Matthews, R., Subedi, M., Orskov, R. E. and Tumwesige, V. (2014). What is the potential for biogas digesters to improve soil fertility and crop production in sub-Saharan Africa? *Biomass Bioenergy*, vol. 70, pp. 58–72. DOI:10.1016/j.biombioe.2014.02.030.
- Souza, M. L. P., Ribeiro, A. N., Andreoli, C. V., Souza, L. C. P. and Bittencourt, S. (2008). Aptidão das terras do Estado do Paraná para disposição final de lodo de esgoto (Suitability of land in Paraná state for final disposal of sewage sludge). *Revista DAE*, vol. 56, no. 177, pp. 20–29. DOI: 10.4322/dae.2014.012.
- RISE (2019). Certifieringsregler för Kvalitetssäkring av källsorterade avlopps-fraktioner [Certification rules for plant nutrient rich fractions from on-site sewage systems], SPCR 178, Research Institutes of Sweden. Available from <https://vaguiden.se/wp-content/uploads/2019/04/RISE-SPCR178-certifiering-mars-2019.pdf>.
- Sphere, ed. (2018). *The Sphere Handbook: Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response*. 4th ed. Sphere Association, Geneva.
- Sriram, S. and Seenivasan, R. (2012). Microalgae cultivation in wastewater for nutrient removal. *Journal of Algal Biomass Utilization*, vol. 3, no. 2, pp. 9–13.
- Stenström, T. A. (2013). Hygiene, a major challenge for source separation and decentralization, in *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management*, T. A. Larsen, K. M. Udert and J. Lienert, eds. London: IWA Publishing, pp. 151–161.
- Stenström, T. A., Seidu, R., Ekane, N. and Zurbrugg, C. (2011). *Microbial Exposure and Health Assessments in Sanitation Technologies and Systems*, EcoSanRes series, 2011-1. Stockholm: Stockholm Environment Institute. Available from http://www.susana.org/_resources/documents/default/2-1236-microbialexposurehealthassessmentsinsanitationtechnologysystems.pdf.
- Strande, L., Ronteltap, M. and Brdjanovic, D., eds (2014). *Faecal Sludge Management (FSM) Book – Systems Approach for Implementation and Operation*. London: IWA Publishing.
- Sundin, A-M. (2008). Disintegration of sludge: a way of optimizing anaerobic digestion, Paper presented at the 13th European Biosolids and Organic Resources Conference and Workshop. Available from: https://www.kappala.se/globalassets/documents/rapporter/processutvecklingsrapporter/disintegration-of-sludge_2008.pdf.
- Suntura, J. C. and Sandoval, B. I. (2012). Large-scale ecological sanitation in peri-urban area, El Alto city, Bolivia, Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA) case study of sustainable sanitation projects. Available from <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1583>.
- SuSanA. (2008). Towards more sustainable sanitation solutions – SuSanA vision document, Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA). Available from <http://www.susana.org/en/resources/library/details/267>.
- Swedish EPA (2014). *Wastewater Treatment in Sweden*. Stockholm: Environmental Protection Agency.
- Swedish Water and Wastewater Association (2000). *Facts on Water Supply and Sanitation in Sweden*. Stockholm: Swedish Water and Wastewater Association.
- Taylor, K., Parkinson, J. and Colin, J. (1999). *Urban Sanitation – A Guide to Strategic Planning*. Bradford, UK: ITDG Publishing.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4th ed.), Metcalf and Eddy. Boston, MA: McGraw-Hill.
- Ternes, T. A. (1998). Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Water Research*, vol. 32, no. 11, pp. 3245–3260. DOI: 10.1016/S0043-1354(98)00099-2.
- Tervahauta, T., Hoang, T., Hernández, L., Zeeman, G. and Buisman, C. (2013). Prospects of source-separation-based sanitation concepts: a model-based study. *Water*, vol. 5, no. 3, pp. 1006–1035. DOI:10.3390/w5031006.
- Thibodeau, C., Monette, F. and Glaus, M. (2014). Comparison of development scenarios of a blackwater source-separation sanitation system using life cycle assessment and environmental life cycle costing. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 92, pp. 38–54. DOI:10.1016/j.resconrec.2014.08.004.
- Thomaidi, V. S., Stasinakis, A. S., Borova, V. L. and Thomaidis, N. S. (2015). Is there a risk for the aquatic environment due to the existence of emerging organic contaminants in treated domestic wastewater? Greece as a case-study. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 283, pp. 740–747. DOI:10.1016/j.jhazmat.2014.10.023.

- Tidåker, P., Mattsson, B. and Jönsson, H. (2007). Environmental impact of wheat production using human urine and mineral fertilisers: a scenario study. *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, no. 1, pp. 52–62. DOI:10.1016/j.jclepro.2005.04.019.
- Tilley, E. (2013). Conceptualising sanitation systems to account for new complexities in processing and management in *Source Separation and Decentralization for Wastewater Management*, T. A. Larsen, K. M. Udert, J. Lienert, eds. London: IWA Publishing, pp. 225–239.
- Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C. and Schertenleib, R. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*, 2nd rev. ed. Dübendorf, Switzerland: Eawag. Available from http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium_2nd_pdfs/Compendium_2nd_Ed_Lowres_1p.pdf.
- Trang, D. T. (2007). *Health Risks Associated With Wastewater Use in Agriculture and Aquaculture in Vietnam*, Doctoral thesis. Copenhagen: University of Copenhagen.
- Trémolet, S. (2011). *Identifying the Potential for Results-based Financing for Sanitation*, WSP Working Paper. Washington, DC: World Bank Water and Sanitation Program. Available from <http://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/WSP-Tremolet-Results-Based-Financing.pdf>.
- Trivedi, J., Aila, M., Bangwal, D. P., Kaul, S. and Garg, M. O. (2015). Algae based biorefinery: How to make sense? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 47, issue C, pp. 295–307.
- Trout, D., Mueller, C., Venczel, L. and Krake, A. (2000). Evaluation of occupational transmission of hepatitis A virus among wastewater workers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, vol. 42, no. 1, pp. 83–87.
- UN (2014). *Millennium Development Goals Report 2014*. New York: United Nations. Available from <https://www.un.org/en/development/desa/publications/mdg-report-2014.html>.
- UN-Water (2015). *Wastewater Management*, Analytical brief. Geneva: UN-Water. Available from <https://www.unwater.org/publications/wastewater-management-un-water-analytical-brief/>.
- UNDP (2006). *Human Development Report 2006: Beyond Scarcity: Power, Poverty and the Global Water Crisis*. New York: UN Development Programme. Available from <http://hdr.undp.org/en/content/human-development-report-2006>.
- UNEP (2011). Phosphorus and food production, in *UNEP Yearbook 2011: Emerging Issues in our Global Environment*. Nairobi: UN Environment Programme, pp. 34–45.
- UNICEF (2012a). *Pneumonia and Diarrhoea: Tackling the Deadliest Diseases for the World's Poorest Children*. New York: UNICEF.
- UNICEF (2012b). *Water Sanitation and Hygiene (WASH) for School Children: State-of-the-Art in Afghanistan, Bangladesh, Bhutan, India, Maldives, Nepal, Pakistan and Sri Lanka*, Provisional draft. New York: UNICEF, 2012b. Available from <https://www.ircwash.org/resources/wash-school-children-state-art-afghanistan-bangladesh-bhutan-india-maldives-nepal-pakistan-0>.
- UNICEF/WHO (2019). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017. Special focus on inequalities*. New York: United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization.
- US EPA (2003). *Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge*, Environmental Regulations and Technology, EPA/625/R-92/013, revised July 2003. Washington, DC: Office of Water, US Environmental Protection Agency. Available from http://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/control_of_pathogens_and_vector_attraction_in_sewage_sludge_july_2003.pdf.
- US EPA (2010). *Methane and Nitrous Oxide Emissions from Natural Sources*. Washington, DC: Office of Atmospheric Programs, US Environmental Protection Agency.
- US EPA (2012a). *Guidelines for Water Reuse*. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 2012a. Available from <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>.
- US EPA (2012b). *Global Anthropogenic Emissions of Non-CO2 Greenhouse Gases: 1990–2030*, 430–R-12-006. Washington, DC: Office of Atmospheric Programs, Climate Change Division, US Environmental Protection Agency. Available from <https://www.epa.gov/global-mitigation-non-co2-greenhouse-gases/global-non-co2-ghg-emissions-1990-2030>.
- Valfrey-Visser, B. and Schaub-Jones, D. (2008). *Engaging Sanitation Entrepreneurs: Supporting Private Entrepreneurs to Deliver Public Goods*. London: Building Partnerships for Development. Available from <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1873>.

- Verlicchi, P., Al Aukidy, M., Galletti, A., Zambello, E., Zanni, G. and Masotti, L. (2012). A project of reuse of reclaimed wastewater in the Po Valley, Italy: polishing sequence and cost benefit analysis. *Journal of Hydrology*, vols 432–433, pp. 127–136. DOI:10.1016/j.jhydrol.2012.02.024.
- Vögeli, Y., Lohri, C. R., Gallardo, A., Diener, S. and Zurbrugg, C. (2014). *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries: Practical Information and Case Studies*. Dübendorf, Switzerland: Eawag, Department of Water and Sanitation in Developing Countries.
- Waddington, H., Snilstveit, B., White, H. and Fewtrell, L. (2009). Water, sanitation and hygiene intervention to combat childhood diarrhoea in developing countries, International Initiative for Impact Evaluation (3IE). Available from <http://www.3ieimpact.org/evidence-hub/publications/systematic-reviews/water-sanitation-and-hygiene-interventions-combat>.
- Wallin, A. (2014). *Actors at the Interface Between Socio-technical and Ecological Systems: Analytical Starting Point for Identifying Mitigation Possibilities in the Case of On-site Sewage Systems*, Doctoral thesis. Gothenburg, Sweden: Division of Environmental Systems Analysis, Department of Energy and Environment. Available from <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/204929/204929.pdf>.
- WaterAid (2013). Sanitation and hygiene approaches, WaterAid technology brief, Jan. 2013. Available from <https://www.wateraid.org/us/publications/sanitation-and-hygiene-approaches-technical-brief>.
- Waterkeyn, J. A. and Waterkeyn, A. J. (2013). Creating a culture of health: hygiene behaviour change in community health clubs through knowledge and positive peer pressure. *Journal of Water Sanitation & Hygiene for Development*, vol. 3, no. 2, pp. 144–155. DOI: 10.2166/washdev.2013.109.
- Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 85, no. 4, pp. 849–860. DOI: 10.1007/s00253-009-2246-7.
- Wendland, C. and Albold, A. (2010). Sustainable and cost-effective wastewater systems for rural and peri-urban communities up to 10,000 PE, Guidance paper, Women in Europe for a Common Future (WECF). Available from <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/699>.
- Werner, C. (2004). Ecosan – principles, urban applications and challenges, Presentation at the UN Commission on Sustainable Development 12th Session, New York, 14–30 April. Available from <http://waterfund.go.ke/watersource/Downloads/018.Ecosan.Challenges.pdf>.
- Westerhoff, P., Lee, S., Yu, Y., Gordon, G. W., Hristovski, K., Halden, R. U. and Herckes, P. (2015). Characterization, recovery opportunities, and valuation of metals in municipal sludges from U.S. wastewater treatment plants nationwide. *Environmental Science & Technology*, vol. 49, no. 16. DOI: 10.1021/es505329q.
- Westrell, T. (2004). *Microbial Risk Assessment and its Implications for Risk Management in Urban Water Systems*, Doctoral thesis. Linköping, Sweden: Department of Water and Environmental Studies, Linköping University. Available from <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A20794&dsid=3224>.
- Westrell, T., Schonning, C., Stenstrom, T. -A. and Ashbolt, N. J. (2004). QMRA (quantitative microbial risk assessment) and HACCP (hazard analysis critical control points) for management of pathogens in wastewater and sewage sludge treatment and reuse. *Water Science and Technology*, vol. 50, no. 2, pp. 23–30.
- WHO (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*, vols 1–4. Geneva: World Health Organization. Available from https://www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/wastewater/wastewater-guidelines/en/.
- WHO (2012a). *Global Costs and Benefits of Drinking-Water Supply and Sanitation Interventions to Reach the MDG Target and Universal Coverage*. Geneva: World Health Organization. Available from http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2012/globalcosts.pdf.
- WHO (2012b). *GLAAS 2012 Report: UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking-Water: The Challenges of Extending and Sustaining Services*. Geneva: World Health Organization. Available from http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/glaas_report_2012_eng.pdf.
- WHO (2015). *Sanitation Safety Planning: Manual for Safe Use and Disposal of Wastewater, Greywater and Excreta*. Geneva: World Health Organization. Available from http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/171753/1/9789241549240_eng.pdf?ua=1.

Wichelns, D., Drechsel, P. and Qadir, M. (2015). Wastewater: economic asset in an urbanizing world, in *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World*, P. Drechsel, M. Qadir and D. Wichelns, eds. London: Springer, pp. 3–14.

Winpenny, J., Heinz, I. and Koo-Oshima, S. (2010). *The Wealth of Waste: The Economics of Wastewater Use in Agriculture*, FAO Water Report no. 35. Rome: UN Food and Agriculture Organization. Available from <http://www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e.pdf>.

Wong, T. H. and Brown, R. R. (2009). The water sensitive city: principles for practice. *Water Science and Technology*, vol. 60, no. 3, p. 673.

WSP (2011). Economic Impacts of Inadequate Sanitation in India. New Delhi: World Bank Water and Sanitation Programme. Available from <http://documents.worldbank.org/curated/en/2011/01/16232493/economic-impacts-inadequate-sanitation-india>.

WSP (2012). *Economic Assessment of Sanitation Interventions in Cambodia: A Six-Country Study Conducted in Cambodia, China, Indonesia, Lao PDR, the Philippines and Vietnam under the Economics of Sanitation Initiative (ESI)*. Jakarta: World Bank Water and Sanitation Programme.

WWAP (2015). *The UN World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World*. Paris: UNESCO World Water Assessment Programme. Available from <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>.

Zhou, J. L., Zhang, Z. L., Banks, E., Grover, D. and Jiang, J. Q. (2009). Pharmaceutical residues in wastewater treatment works effluent and their impact on receiving river water. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 166, nos 2-3, pp. 655–661. DOI:10.1016/j.jhazmat.2008.11.070.

Zuzhang, X. (2013). *Domestic Biogas in a Changing China: Can Biogas Still Meet the Energy Needs of China's Rural Households?* International Institute for Environment and Development (IIED) Access to Energy series. London: IIED.

LOS AUTORES

Kim Andersson es Senior Expert en el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI) y co-dirige actualmente la investigación sobre saneamiento sostenible en SEI.

Dra. Sarah Dickin es Research Fellow en el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI) y co-dirige actualmente la investigación sobre saneamiento sostenible en SEI.

Dra. Elisabeth Kvarnström es investigadora del grupo Gestión de Aguas Urbanas en RISE – Research Institutes of Sweden (Institutos de Investigación de Suecia) y profesora adjunta de la Universidad Tecnológica de Luleå, Suecia.

Dr. Birguy Lamizana es Director de Programa del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y dirige actualmente el portafolio de Aguas Residuales del Programa de Acción Mundial para la protección del medio marino frente a las actividades realizadas en tierra (GPA).

Dra. Jennifer McConville es profesora asociada de la Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas.

Dr. Arno Rosemarin es Senior Research Fellow del Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI) y trabaja en temas de saneamiento sostenible.

Dr. Razak Seidu es profesor y director del Grupo de Ingeniería Ambiental y del Agua en la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU) en Ålesund.

Caspar Trimmer fue Editor de Ciencia en el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI) hasta 2020.

