UN WATER

Informe

Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017

AGUAS RESIDUALES
EL RECURSO DESAPROVECHADO

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos

FAO FIAT PANIS

PNUD Al servicio de las personas y las naciones

Naciones Unidas

CEE, CEPALC, CESAO, CESAP

ONU medio ambiente

UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

ONU HABITAT POR UN MEJOR FUTURO URBANO

UNIDO

Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017

AGUAS RESIDUALES

EL RECURSO DESAPROVECHADO

Publicado en 2017 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura,
7, place de Fontenoy, 75352 París 07 SP, Francia

© UNESCO 2017

El presente informe es publicado por la UNESCO en nombre de ONU-Agua. La lista de miembros y colaboradores de ONU-Agua se encuentra disponible en: www.unwater.org

Capítulos 2, 4 y 7: el autor es un funcionario de la Organización Mundial de la Salud. El autor es el único responsable de las opiniones aquí expresadas y no reflejan necesariamente las opiniones, decisiones o políticas de la Organización Mundial de la Salud. Nada de lo aquí mencionado habrá de interpretarse como una renuncia a los privilegios e inmunidades de los que goza la OMS ante los tribunales nacionales competentes.

Capítulo 7: Las ideas expresadas en esta publicación son las del (los) autor(es) y no necesariamente reflejan las opiniones o políticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Capítulo 9: por Annukka Lipponen; colaboradora para el Capítulo 3: Nataliya Nikiforova © United Nations

Capítulos 12, 15, 16, 17: Las opiniones y argumentos aquí expresados corresponden al (los) autor(es) únicamente y no necesariamente reflejan las opiniones oficiales de la OCDE o sus países miembros.

La version en español del *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017, Aguas residuales: El recursos desaprovechado*, fue posible gracias al apoyo del Gobierno de Brasil y de la Oficina de la UNESCO en Brasilia bajo la coordinación del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe (Oficina Regional de Ciencias de la UNESCO para América Latina y el Caribe – UNESCO Montevideo).
Traductora principal: Soledad Insiburo; correción: Laura Zavala; adaptación de diseño: Diego García Pedrouzo.

ISBN 978-92-3-300058-2

Cita sugerida:
WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2017. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO.*

Esta publicación está disponible en Acceso Abierto bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento-CompartirIgual 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) (creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/). Al utilizar el contenido de esta publicación, los usuarios reconocen que quedan obligados por las condiciones de uso del Repositorio de Acceso Abierto de la UNESCO (www.unesco.org/open-access/terms-use- ccbysa-en).

La presente licencia se aplicará exclusivamente al contenido del texto de la publicación. Para la utilización de cualquier material que no se encuentre claramente identificado como propiedad de la UNESCO, se deberá solicitar autorización previa a: publication.copyright@unesco.org o UNESCO Publishing, 7, place de Fontenoy, 75352 París 07 SP Francia.

Las denominaciones aquí empleadas y la forma en que aparecen presentados los datos no implican la opinión de la UNESCO sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores; no son necesariamente las de la UNESCO y no comprometen a la Organización. Los contenidos son contribuciones de los miembros y colaboradores de ONU-Agua identificados al inicio de cada capítulo. La UNESCO y el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP) no son responsables por los errores de contenido o discrepancias de datos que puedan surgir entre los capítulos.

En el WWAP se les dio a las personas que contribuyeron como autores y colaboradores la oportunidad de identificarse, o de ser reconocidas en esta publicación. El WWAP no es responsable de ninguna omisión en este sentido.

El diseño original de portada es Phoenix Design Aid.

ÍNDICE

PRÓLOGO v
por Irina Bokova
Directora General de la UNESCO vi

PRÓLOGO vii
por Guy Ryder
Presidente de ONU-Agua y Director General de la Organización Internacional del Trabajo

PREFACIO viii
por Stefan Uhlenbrook, Coordinador del WWAP
y Richard Connor, Jefe de redacción

AGRADECIMIENTOS xi

RESUMEN EJECUTIVO 1

PRÓLOGO | ESTADO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS: DISPONIBILIDAD Y CALIDAD 8

PARTE I
BASE DE REFERENCIA Y CONTEXTO

CAPÍTULO 1 | INTRODUCCIÓN 16

1.1 Flujos de aguas residuales 20
1.2 Las aguas residuales como recurso: cómo aprovechar las oportunidades 21

CAPÍTULO 2 | AGUAS RESIDUALES Y LA AGENDA DE DESARROLLO SOSTENIBLE 23

2.1 La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible 24
2.2 Posibles sinergias y conflictos 26

CAPÍTULO 3 | GOBERNABILIDAD 29

3.1 Actores y funciones 30
3.2 Políticas, legislación y normativa 31
3.3 Financiamiento 36
3.4 Aspectos socioculturales 37

CAPÍTULO 4 | ASPECTOS TÉCNICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES 39

4.1 Fuentes y componentes de las aguas residuales 39
4.2 Consecuencias del vertido de aguas residuales no tratadas o con tratamiento inadecuado 41
4.3 Recolección y tratamiento de aguas residuales 43
4.4 Necesidades en materia de datos e información 47

PARTE II
EJE TEMÁTICO

CAPÍTULO 5 | AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y URBANAS **50**

5.1 La urbanización y sus consecuencias en la generación de aguas residuales 51
5.2 Tipos urbanos 51
5.3 Fuentes de las aguas residuales en los sistemas municipales y urbanos 53
5.4 Composición de las aguas residuales municipales y urbanas 52
5.5 Tipos urbanos y el potencial de uso de las aguas residuales municipales y urbanas 55
5.6 Gestión de la escorrentía urbana 57

CAPÍTULO 6 | INDUSTRIA **58**

6.1 Magnitud de la generación de aguas residuales industriales 59
6.2 Naturaleza de las aguas residuales industriales 61
6.3 El abordaje de las dificultades que implica el recurso 62
6.4 Las aguas residuales y el desarrollo industrial sostenible 68

CAPÍTULO 7 | AGRICULTURA **69**

7.1 La agricultura como fuente de contaminación del agua 70
7.2 La agricultura como usuaria de aguas residuales 74

CAPÍTULO 8 | ECOSISTEMAS **78**

8.1 Función y limitaciones de los ecosistemas en la gestión de aguas residuales 79
8.2 El uso planificado de aguas residuales para servicios de los ecosistemas 80
8.3 Aspectos políticos y operativos 82

PARTE III
ÁFRICA

CAPÍTULO 9 | ÁFRICA **83**

9.1 El agua y las aguas residuales en el África Subsahariana 85
9.2 Desafíos cruciales 85
9.3 El camino a seguir 88

CAPÍTULO 10 | LA REGIÓN ÁRABE 91

10.1 Contexto 92
10.2 Desafíos 92
10.3 Respuestas 94

CAPÍTULO 11 | ASIA Y EL PACÍFICO 96

11.1 Contexto y desafíos 97
11.2 La creación de infraestructuras resilientes 97
11.3 Un abordaje sistémico para la recuperación de los subproductos de las aguas residuales 99
11.4 Necesidades en materia de reglamentación y capacidades 99

CAPÍTULO 12 | EUROPA Y AMÉRICA DEL NORTE 100

12.1 Contexto 101
12.2 Desafíos 101
12.3 Respuestas 103

CAPÍTULO 13 | AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE 106

13.1 El desafío de la gestión de aguas residuales urbanas 107
13.2 Crecimiento reciente del tratamiento de aguas residuales urbanas 108
13.3 Inquietudes que prevalecen y nuevas oportunidades 109
13.4 Beneficios de los tratamientos de aguas residuales urbanas 109
13.5 Otras fuentes de aguas residuales 110
13.6 Lecciones aprendidas 110

PARTE IV
OPCIONES DE RESPUESTA

CAPÍTULO 14 | PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE LA GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y DE LAS CARGAS DE CONTAMINACIÓN EN LA FUENTE 112

14.1 Mecanismos para la vigilancia y control de los niveles de contaminación 113
14.2 Respuestas técnicas 115
14.3 Abordajes económicos y cambios de comportamiento 118

CAPÍTULO 15 | MEJORAS EN LA RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES **119**

15.1 Alcantarillado y saneamiento hídrico 120
15.2 Alcantarillado de bajo costo 120
15.3 Alcantarillado combinado 121
15.4 Tratamiento descentralizado (DEWATS) 121
15.5 Gestión descentralizada de aguas pluviales 121
15.6 Evolución de las tecnologías de tratamiento 122
15.7 Aprovechamiento de vertidos y separación de componentes 123

CAPÍTULO 16 | REUTILIZACIÓN DEL AGUA Y RECUPERACIÓN DE RECURSOS **124**

16.1 Reutilización beneficiosa del agua 125
16.2 Recuperación de recursos de las aguas residuales y de los biosólidos 129
16.3 Modelos de negocios y abordajes económicos 132
16.4 Minimizar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente 133
16.5 Regulación en materia de la reutilización del agua 135
16.6 Aprobación social respecto al uso de aguas residuales 136

CAPÍTULO 17 | CONOCIMIENTO, INNOVACIÓN, INVESTIGACIÓN Y CREACIÓN DE CAPACIDADES **137**

17.1 Tendencias en materia de investigación e innovación 138
17.2 Brechas en materia de conocimiento, investigación, tecnología y creación de capacidades 138
17.3 Tendencias futuras para la de gestión de aguas residuales 141
17.4 Creación de capacidades, sensibilización pública y colaboración entre las partes interesadas 142

CAPÍTULO 18 | LA CREACIÓN DE UN ENTORNO PROPICIO PARA EL CAMBIO **143**

18.1 Alternativas técnicas 144
18.2 Marcos jurídicos e institucionales 145
18.3 Posibilidades de financiamiento 146
18.4 Desarrollo de conocimiento y creación capacidades 147
18.5 Reducción de los riesgos para la salud humana y el medio ambiente 148
18.6 Promoción de la aprobación social 149
18.7 Coda 149

Referencias **150**
Anexo 1 – Léxico **172**
Abreviaturas y siglas **175**
Cuadros, figuras y tablas **177**
Fotografías **180**

PRÓLOGO

por Irina Bokova
Directora General de la UNESCO

En un mundo donde la demanda de agua dulce está en constante aumento y los escasos recursos hídricos se ven cada vez más exigidos por la captación excesiva, la contaminación y el cambio climático, sería sencillamente impensable no aprovechar las oportunidades que brinda una mejor gestión de las aguas residuales.

Así concluye el *Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017,* donde se destaca cuán imperiosa es la necesidad de mejorar la gestión de aguas residuales en pos de nuestro porvenir común.

Si continuamos «actuando como de costumbre» estaremos fomentando un mayor deterioro de la situación. Se estima que en el mundo más del 80 por ciento de las aguas residuales (más del 95 por ciento en algunos países en desarrollo) se vierte al medio ambiente sin tratamiento alguno. Las consecuencias son inquietantes. La contaminación del agua en la mayoría de los ríos de África, Asia y América Latina es cada vez peor. En 2012, se registraron más de 800.000 muertes en el mundo a causa del consumo de agua potable contaminada e instalaciones para el lavado de manos y servicios de saneamiento inadecuados. Cada vez son más las zonas muertas desoxigenadas en mares y océanos a causa del vertido de aguas residuales sin tratar, lo cual afecta a los ecosistemas marinos en una superficie de 245.000 km^2, con repercusiones en la industria pesquera, medios de subsistencia y cadenas alimenticias.

Las aguas servidas siempre fueron consideradas simplemente una complicación a ser desechada, cuando no completamente ignoradas. Sin embargo, esta concepción está cambiando porque la escasez de agua aumenta en muchas regiones y se comienza a reconocer la importancia de la recolección, tratamiento y reutilización de las aguas residuales. La infraestructura es un problema fundamental para todos los países. La disponibilidad de datos continúa siendo una dificultad constante, especialmente en los países en desarrollo. Un estudio reciente mostró que de 181 países, únicamente 55 contaban con información en materia de generación, tratamiento y utilización de aguas residuales; los países restantes no contaban con información o solo tenían datos parciales. En la mayoría de los países que contaban con información, esta se encontraba desactualizada. Este cuello de botella con respecto a la información impide realizar las actividades de investigación y desarrollo necesarias para diseñar tecnologías innovadoras y adaptar las existentes a las necesidades y características locales.

En el *Informe Mundial sobre Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017* se demuestra que una mejor gestión de las aguas residuales implica no solo la reducción de la contaminación en las fuentes, sino también la eliminación de contaminantes de los flujos de aguas residuales, la reutilización de las aguas regeneradas y la recuperación de los subproductos útiles. Conjuntamente, estas cuatro acciones generan beneficios sociales, ambientales y económicos para toda la sociedad, contribuyendo así al bienestar y a la salud, a la seguridad del agua y la alimentaria y al desarrollo sostenible. La importancia transversal de las aguas residuales se ve reflejada en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en el Objetivo

de Desarrollo Sostenible número 6 dedicado al agua y al saneamiento y, especialmente, en la Meta 6.3 que propone reducir a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentar considerablemente el reciclado y la reutilización segura a nivel mundial.

Para seguir avanzando es imprescindible contar con una mayor aprobación social con respecto a la utilización de aguas residuales. He aquí la importancia de la educación y capacitación, y de las nuevas formas de sensibilización para modificar la creencia de que estas aguas conllevan un riesgo para la salud y así ocuparse de las inquietudes socioculturales para fomentar la aprobación pública.

Esto también es positivo desde el punto de vista comercial. Como elementos fundamentales de una economía circular, la utilización de aguas residuales y la recuperación de sus subproductos pueden generar nuevas oportunidades comerciales y así ayudar a recuperar los costos de las instalaciones nuevas, innovadoras y modificadas. De esta forma podremos recuperar energía, nutrientes y metales, entre otros subproductos.

Por su parte, la UNESCO a través de su «familia del agua», apoya a los Estados Miembros a la hora de enfrentar los desafíos que presenta la calidad del agua. Entre estas iniciativas encontramos el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO, el Programa Hidrológico Internacional, el Instituto UNESCO-IHE para la Educación relativa al Agua con sede en Delft y los numerosos Centros Categoría II y Cátedras alrededor del mundo. Nuestras iniciativas abarcan todo el espectro, desde promover la investigación científica, movilizar y divulgar conocimiento, hasta propiciar el intercambio de abordajes tecnológicos y políticas para la creación de capacidades y sensibilización sobre los riesgos asociados a los contaminantes emergentes en el suministro de agua y las aguas residuales.

Como siempre, el Informe 2017 es el resultado de la colaboración de las agencias del sistema de las Naciones Unidas y los 31 miembros de ONU-Agua, a quienes les estoy profundamente agradecida. Deseo agradecer al Gobierno italiano por el apoyo que brinda a la Secretaría del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos para garantizar su sostenibilidad y productividad a largo plazo. Con este espíritu es que deseo invitarlos a todos a hacer propio el informe y sus conclusiones, para abogar por nuevos abordajes, equitativos y sostenibles en materia de agua como el medio para alcanzar un futuro más próspero para todos.

Irina Bokova

PRÓLOGO

por Guy Ryder
Presidente de ONU-Agua y Director General de la Organización Internacional del Trabajo

Se dice que en el siglo V a. C., Heráclito afirmó: «lo único constante en la vida es el cambio». Esto es verdad hoy más que nunca. En tanto las poblaciones y los asentamientos urbanos continúan en aumento, también crecen nuestras necesidades; y así nuestras sociedades y el planeta se transforman ante nuestros ojos.

En la edición 2017 del Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (WWDR) se analiza la temática de aguas residuales y su potencial como recurso sostenible. Sin embargo, los estudios muestran cuánto trabajo nos queda aún por hacer: «*En el mundo, la mayor parte de las aguas residuales no son tratadas ni recolectadas. Además, la recolección de aguas residuales per se no es sinónimo de tratamiento de aguas residuales. En muchos casos las aguas residuales recolectadas son simplemente vertidas directamente al medio ambiente sin tratamiento previo. La escorrentía de tierras agrícolas casi nunca es recolectada ni tratada, por lo cual prácticamente no existen indicadores para estos flujos de aguas residuales*».

Por supuesto que, además de ser una oportunidad desaprovechada, el vertido de casi todas las aguas residuales al medio ambiente sin tratamiento previo implica riesgos para la salud humana y la naturaleza.

La edición 2017 del WWDR, la publicación insignia de ONU-Agua, transmite a los lectores que las aguas residuales fueron durante mucho tiempo un recurso; no solo podrían ser una solución para gestionar la creciente escasez de agua sino que también son una rica fuente de nutrientes, minerales y energía, todo lo cual puede extraerse de manera rentable. Con base en el Informe analítico de ONU-Agua sobre Gestión de Aguas Residuales de 2015, el WWDR analiza la economía circular, la innovación y muchos aspectos en materia regional.

El informe claramente establece la opinión unánime de los 31 miembros y 38 colaboradores de ONU-Agua sobre el hecho de que los asuntos relativos a las aguas residuales superan el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 y su meta en la materia, y tienen una incidencia transversal sobre muchas de las metas de los ODS.

Permítanme agradecer a todos mis colegas de ONU-Agua por su colaboración, incluyendo a la UNESCO y su Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, por haber coordinado la elaboración de este informe de gran calidad, el cual podría tener extensas ramificaciones y lograr avances en todos los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Guy Ryder

PREFACIO

Por Stefan Uhlenbrook, Coordinador del WWAP
y Richard Connor, Jefe de redacción

En la edición correspondiente al año 2017 del Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (WWDR), el cuarto en una serie anual de informes temáticos, se analiza un aspecto generalmente olvidado y que es fundamental para la gestión de los recursos hídricos y la prestación de servicios básicos relacionados con el agua: las aguas residuales.

Estas no implican meramente la gestión de aguas porque afectan al medio ambiente y a todos los seres vivos y, por ello, pueden tener repercusiones directas en las economías maduras y emergentes. Por otra parte, los flujos de aguas residuales contienen elementos aprovechables, como nutrientes, metales y materia orgánica, tal como el agua en sí misma, que pueden ser extraídos y utilizados para otros fines productivos. Las aguas residuales son, por lo tanto, un recurso valioso y si se logra su gestión sostenible se convertirán en un pilar fundamental de la economía circular. Son muchas las ventajas de mejorar la gestión de aguas residuales que conllevarían, igualmente, beneficios paralelos para las sociedades y el medio ambiente.

El concepto de aguas residuales es en sí mismo una contradicción. Una vez que el agua ha sido utilizada, cualquiera sea el fin, no debería ser considerada algo «residual». En otros idiomas se la llama, en forma literal, «agua utilizada» (*eaux usées* en francés), «agua de desperdicio» (*wastewater* en inglés) o «agua tras su uso» (*Abwasser* en alemán). De hecho, el mensaje central de este informe es, justamente, presentar argumentos para derribar el concepto de que el agua ya utilizada es un desecho a eliminar y forjar la idea de que las aguas residuales deben ser consideradas un recurso.

Durante el trabajo de preparación del Informe 2017, rápidamente nos dimos cuenta de que existe una gran variedad de definiciones de aguas residuales, y estas pueden tener distinto significado para mucha gente. Tanto ingenieros, planificadores urbanos, administradores ambientales y académicos como, por supuesto, varias agencias de las Naciones Unidas, han abordado distintos aspectos relativos a las aguas residuales en sus informes, cada uno desde su propia perspectiva y utilizando su propia terminología. Nos hemos esforzado por recurrir a muchos de estos documentos (tal como se aprecia en la extensa lista de referencias) para poder brindar una descripción equilibrada, basada en los hechos y objetiva, del acervo de conocimientos con el que contamos en la actualidad, abarcando así las innovaciones más recientes en materia de gestión de aguas residuales y los muchos beneficios y oportunidades que estas ofrecen en el ámbito de una economía circular.

Una mejor gestión de las aguas residuales será fundamental para el crecimiento verde, especialmente en el ámbito de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. La Meta 6.3 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) aboga explícitamente por la reducción de la contaminación y mejoras en el vertido, gestión y tratamiento de las aguas residuales y sus repercusiones en la calidad del agua ambiental. Esta meta es sumamente importante para lograr muchos de los otros ODS.

Para poder maximizar el potencial de las aguas residuales como recurso valioso y sostenible será necesario crear un entorno propicio para el cambio. Esto incluye la creación de marcos jurídicos y regulatorios adecuados, mecanismos de financiamiento pertinentes y aprobación social. Confiamos en que, si existe voluntad política, podremos superar en forma rápida y eficiente, los obstáculos presentes, como la falta de conocimientos, capacidades, datos e información sobre aguas residuales.

Si bien, en principio, este informe está dirigido a los tomadores de decisiones y a los administradores de recursos hídricos a nivel nacional, esperamos que también sea de interés para la amplia comunidad de desarrollo, académicos y todos aquellos interesados en construir un futuro más justo y sostenible para todos.

Esta última edición del Informe surge a partir de un esfuerzo conjunto entre FAO, PNUD, CEPE, PNUMA, CESPAP, UNESCO, CESPAO, ONU-Hábitat, ONUDI y el WWAP. El informe también se enriqueció con los aportes y contribuciones de muchos de los miembros y colaboradores de ONU-Agua, de los miembros del Comité Técnico Asesor del WWAP, así como también de decenas de científicos, profesionales y ONG, quienes pusieron a disposición una amplia gama de materiales pertinentes. En esta edición, como en las anteriores, se integra la dimensión de género.

En nombre de la Secretaría del WWAP, nos gustaría expresar nuestro más profundo agradecimiento a las agencias antes mencionadas, miembros y colaboradores de ONU-Agua, autores, editores y otros colaboradores, sin cuyos aportes no hubiéramos podido elaborar colectivamente este excepcional y reconocido informe, que esperamos tenga múltiples repercusiones en el mundo.

Les estamos profundamente agradecidos al Gobierno italiano por financiar el Programa y a la Región de Umbría por acoger la Secretaría del WWAP en Villa La Colombella, en Perugia. Sus aportes han sido fundamentales para la elaboración del Informe.

Deseamos agradecer especialmente a Irina Bokova, Directora General de la UNESCO, por su importante apoyo al WWAP y a la elaboración del presente Informe. Gracias a la labor de liderazgo de Guy Ryder, Director General de la Organización Internacional del Trabajo, como Presidente de ONU-Agua fue posible esta publicación.

Por último, pero no menos importante, queremos extender nuestro más sincero agradecimiento a todos nuestros colegas de la Secretaría del WWAP, cuyos nombres figuran en la sección de agradecimientos. El informe no se podría haber concluido sin su dedicación y profesionalismo, especialmente a la luz de las dificultades y desafíos afrontados luego de los terremotos que afectaron la región italiana de Umbría y sus alrededores en 2016.

Stefan Uhlenbrook

Richard Connor

EL EQUIPO DEL WWDR 2017

Director de la publicación
Stefan Uhlenbrook

Jefe de redacción
Richard Connor

Coordinador de procesos
Engin Koncagül

Responsable de investigación
Angela Renata Cordeiro Ortigara

Responsable de publicaciones
Diwata Hunziker

Asistente de publicaciones
Valentina Abete

Diseño gráfico
Marco Tonsini

Corrector
Simon Lobach

Comité Técnico Asesor del WWAP
Uri Shamir (Presidente), Dipak Gyawali (Vicepresidente), Fatma Abdel Rahman Attia, Anders Berntell, Elias Fereres, Mukuteswara Gopalakrishnan, Daniel P. Loucks, Henk van Schaik, Yui Liong Shie, László Somlyody, Lucio Ubertini y Albert Wright

Secretaría del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP) en 2017

Coordinador:	Stefan Uhlenbrook
Coordinadora adjunta:	Michela Miletto
Programas:	Richard Connor, Angela Renata Cordeiro Ortigara, Francesca Greco, Engin Koncagül et Lucilla Minelli
Publicaciones:	Valentina Abete, Diwata Hunziker y Marco Tonsini
Comunicaciones:	Simona Gallese y Laurens Thuy
Administración y soporte:	Barbara Bracaglia, Lucia Chiodini, Arturo Frascani y Lisa Gastaldin
TI y seguridad:	Fabio Bianchi, Michele Brensacchi y Francesco Gioffredi

AGRADECIMIENTOS

El Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP) agradece las invaluables contribuciones de FAO, PNUD, CEPE, PNUMA, CESPAP, UNESCO, CESPAO, ONU-Hábitat y ONUDI, cuyo trabajo como organismos coordinadores de los capítulos hicieron que la preparación de los contenidos del presente informe fuera posible. También deseamos agradecer a los miembros y colaboradores de ONU-Agua, organizaciones, instituciones y personas que aportaron observaciones y comentarios de gran utilidad durante las varias rondas de revisión.

El Informe WWDR 2017 se enriqueció con las revisiones, comentarios y asesoramiento del Comité Técnico Asesor del WWAP.

Deseamos agradecer profundamente a Irina Bokova, Directora General de la UNESCO, cuyo apoyo fue fundamental para la elaboración del informe; Flavia Schlegel, Subdirectora General de la UNESCO para las Ciencias Exactas y Naturales; Blanca Jiménez-Cisneros, Directora de la División de Ciencias del Agua y Secretaría del Programa Hidrológico Internacional (PHI) y el resto de los colegas del PHI merecen nuestro especial reconocimiento por su invaluable contribución y apoyo.

Apreciamos profundamente la generosa colaboración que nos brindaron las oficinas locales de la UNESCO en Almaty, Beijing, Brasilia, El Cairo y Nueva Delhi para la traducción del Resumen Ejecutivo en ruso, chino, portugués, árabe e hindi. La traducción al alemán fue posible gracias a la Comisión Alemana para la UNESCO.

El WWAP agradece la generosa contribución financiera del Gobierno de Italia y las facilidades otorgadas por la región de Umbría. El Ministerio de Asuntos Exteriores de Noruega también brindó apoyo económico para la elaboración del presente informe.

Planta de tratamiento de aguas residuales

RESUMEN EJECUTIVO

La mayoría de las actividades humanas que utilizan agua generan aguas residuales. A medida que crece la demanda global de agua, el volumen de aguas residuales generadas y su nivel de contaminación se encuentran en constante aumento en todo el mundo.

En todos los países, excepto los más desarrollados, la mayor parte de las aguas residuales se vierte directamente al medio ambiente sin un tratamiento adecuado. Esto tiene repercusiones negativas en la salud humana, la productividad económica, la calidad de los recursos de agua dulce ambiental y los ecosistemas.

Si bien las aguas residuales son un elemento clave de la gestión del ciclo del agua, por lo general, una vez que el *agua* ya sido utilizada se la considera como una carga a ser eliminada o una molestia a ser ignorada. Las consecuencias de esta indiferencia ahora son evidentes. Sus efectos inmediatos, entre ellos el deterioro de los ecosistemas acuáticos y las enfermedades transmitidas por el agua que proviene de suministros de agua dulce contaminada, tienen repercusiones a largo plazo en el bienestar de las comunidades y los medios de subsistencia de las personas. Si continuamos ignorando el tema de las aguas residuales como problema social y medioambiental ponemos en peligro los otros esfuerzos realizados en pos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Ante una demanda en constante crecimiento, las aguas residuales están cobrando impulso como una fuente alternativa y confiable de agua. Se aprecia un cambio de paradigma en la gestión de aguas residuales, la cual pasa de un mero «tratamiento y eliminación» a contemplar la «reutilización, reciclado y recuperación de recursos». En este sentido, las aguas residuales ya no se consideran un problema que necesita solución, sino que son parte de la solución ante las dificultades que hoy enfrentan las comunidades.

Las aguas residuales también pueden ser una fuente rentable y sostenible de energía, nutrientes y materia orgánica, entre otros subproductos útiles. Los potenciales beneficios de la extracción de dichos recursos van mucho más allá de la salud humana y medioambiental, con posibles repercusiones en la seguridad alimentaria y energética, así como también en la mitigación del cambio climático. En el contexto de una economía circular, donde se busca un equilibrio entre el desarrollo económico, la protección de los recursos naturales y la sostenibilidad ambiental, las aguas residuales constituyen un recurso abundante y valioso.

La perspectiva es ciertamente optimista, siempre y cuando se tomen medidas ahora.

El agua en el mundo: disponibilidad y calidad

Se espera que la demanda mundial de agua aumente considerablemente en las próximas décadas. Además del sector agrícola, al que se destina el 70% de las extracciones mundiales, se esperan aumentos importantes en la demanda de agua para la producción industrial y energética. La urbanización acelerada y el desarrollo de sistemas de suministro de aguas municipales y de saneamiento también contribuyen al aumento de la demanda.

Los escenarios de cambio climático prevén que las variaciones espaciales y temporales de las dinámicas del ciclo del agua empeorarán, de modo que la brecha entre la oferta y la demanda de agua se agudizará cada vez más. La frecuencia e intensidad de las sequías e inundaciones probablemente modificarán las cuencas hidrográficas del mundo. Las sequías pueden tener repercusiones socioeconómicas y medioambientales muy serias. La crisis en Siria se desencadenó, entre otros factores, debido a una sequía histórica (2007-2010).

En la actualidad, dos tercios de la población mundial vive en regiones donde sufren escasez de agua al menos un mes al año. Unos 500 millones de personas viven en zonas donde el consumo de agua supera los recursos hídricos renovables localmente en una proporción de dos a uno. Las zonas sumamente vulnerables, aquellas donde los recursos no renovables (como las aguas subterráneas fósiles) continúan agotándose, han pasado a depender en gran medida de las transferencias que provienen de zonas con abundantes recursos hídricos y buscan constantemente fuentes alternativas económicas.

La disponibilidad de recursos hídricos está intrínsecamente ligada a la calidad del agua, ya que la contaminación de las fuentes de agua puede excluir diferentes usos. El aumento en los vertidos de aguas residuales sin tratar, junto con la escorrentía de tierras agrícolas y las aguas residuales industriales con tratamiento inadecuado, han llevado al deterioro de la calidad del agua en el mundo. Si las tendencias actuales perduran, la calidad del agua continuará deteriorándose en las próximas décadas, especialmente en los países de bajos recursos en zonas áridas, poniendo así aún en mayor riesgo la salud humana y los ecosistemas.

Aguas residuales: tendencias mundiales

En promedio, los países de ingresos altos tratan cerca del 70% de las aguas residuales municipales e industriales que generan. Este promedio cae a un 38% en los países de ingresos medios-altos y a un 28% en los países de ingresos medios-bajos. En los países de ingresos bajos solo el 8% recibe algún tratamiento. Estas estimaciones sustentan la aproximación que se cita comúnmente que, en el mundo, más del 80% de las aguas residuales son vertidas sin tratamiento alguno.

En los países de ingresos altos la motivación por llevar adelante tratamientos avanzados de aguas residuales se basa en el deseo de mantener la calidad del medio ambiente o de contar con una fuente alternativa de agua a la hora de enfrentar la escasez hídrica. Sin embargo, el vertido de aguas residuales sin tratar continúa siendo una práctica habitual, especialmente en países en desarrollo, porque no cuentan con la infraestructura, capacidades técnicas e institucionales y financiamiento necesarios.

Aguas residuales, saneamiento y la agenda de desarrollo sostenible.

El acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas puede ayudar a reducir notoriamente los riesgos para la salud. Con los tratamientos mejorados de aguas residuales se pueden obtener mayores beneficios para la salud. Si bien unos 2.100 millones de personas lograron acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas desde 1990, cerca de 2.400 millones de personas aún no lo tienen y 1.000 millones todavía practican la defecación al aire libre.

Sin embargo, la disponibilidad de una infraestructura de saneamiento mejorada no necesariamente equivale a una mejor gestión de aguas residuales o seguridad pública. Solo 26% de los servicios urbanos de saneamiento y de gestión de aguas residuales y 34% de los servicios rurales previenen de forma efectiva el contacto de los humanos con excrementos a lo largo de la cadena de saneamiento, los cuales sí reflejan una gestión segura para las personas.

Con base en lo aprendido con los ODM, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible se fija objetivos más integrales para el agua y no se limita únicamente a las cuestiones de suministro de agua y saneamiento. La Meta 6.3 de los ODS establece: *De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.* Los niveles extremadamente bajos de tratamiento de las aguas residuales muestran la imperiosa necesidad de realizar mejoras tecnológicas y de contar con opciones seguras para la reutilización del agua y así alcanzar la Meta 6.3, tan importante para el logro de la Agenda en su totalidad. Las iniciativas necesarias para lograr esta meta implicarán una carga económica más importante para los países de bajos ingresos e ingresos medios-bajos, lo cual los coloca en una situación de desventaja económica frente a los países de ingresos altos e ingresos medios-altos.

Retos en materia de gobernabilidad

La gestión de los desechos humanos conlleva grandes beneficios para la sociedad, tanto para la salud pública como para el medio ambiente. Por cada dólar que se gasta en saneamiento, el retorno estimado para la sociedad es de USD 5,5.

Puede resultar especialmente difícil superar los retos de la puesta en marcha de las reglamentaciones en materia de la calidad de agua. Tanto los individuos como las organizaciones responsables de la gestión de aguas residuales deberán cumplir y actuar en pos del interés colectivo para lograr los objetivos relativos a la mejora de la calidad del agua y la protección de los recursos hídricos. Solo cuando respetemos las reglas para la protección de los recursos hídricos frente a la contaminación, lograremos materializar los beneficios.

La integración de la ciudadanía en la toma de decisiones en todos los niveles fomenta la participación y el sentido de pertenencia. Esto incluye decisiones acerca del tipo de instalaciones de saneamiento deseadas y aceptadas, de

cómo financiarlas de forma segura y de cómo mantenerlas a largo plazo. Es especialmente importante acercase a los grupos marginalizados, minorías étnicas y personas que viven en condiciones de extrema pobreza, en zonas rurales alejadas o asentamientos urbanos informales. La participación de las mujeres también será fundamental, ya que son ellas quienes sufren las consecuencias de salud más serias causadas por la gestión inadecuada de desechos humanos.

Aspectos técnicos del ciclo de gestión de aguas residuales

Las aguas residuales se componen, básicamente, de un 99% de agua y un 1% de sólidos disueltos, suspendidos o coloidales.

El vertido de aguas residuales sin tratar o con tratamiento inadecuado tendrá consecuencias que se clasifican en tres grupos, según tengan: i) efectos nocivos para la salud humana; ii) efectos ambientales negativos; iii) repercusiones desfavorables para las actividades económicas.

El fin último de la gestión de aguas residuales es el control y la regulación de sus diversos flujos. El ciclo de gestión de aguas residuales puede dividirse en cuatro fases básicas interconectadas:

1. Prevención o reducción de la contaminación en la fuente

Se deberán priorizar, siempre que sea posible, aquellos métodos de control de la contaminación hídrica que se centren en la prevención y minimización de las aguas residuales, en lugar de los sistemas de tratamientos en la etapa final. Estos métodos incluyen la prohibición o la fiscalización del uso de ciertos contaminantes para evitar o controlar su ingreso en los flujos de aguas residuales, ya sea por medios normativos, técnicos u otros. Las medidas correctivas para la limpieza de los sitios y cursos de agua contaminados son generalmente mucho más costosas que las medidas destinadas a evitar la contaminación en primer lugar.

La vigilancia y presentación de informes sobre las descargas de contaminantes al medio ambiente y sobre la calidad del agua ambiental serán fundamentales para lograr avances. Si no se realizan mediciones, no se puede identificar el problema y no se puede evaluar la eficacia de las políticas.

2. Recolección y tratamiento de aguas residuales

Las redes centralizadas de eliminación de desechos por flujos de agua siguen siendo el método más común de saneamiento y evacuación de las aguas residuales de origen doméstico, comercial e industrial. En el mundo, cerca del 60% de las personas están conectadas a un sistema de alcantarillado (si bien solo un pequeño porcentaje del total de aguas residuales recolectadas recibe tratamiento). Otros sistemas de saneamiento, como los sistemas *in situ,* son más apropiados para las zonas rurales y aquellas con baja densidad de población, pero pueden resultar costosos y difíciles de gestionar en las zonas urbanas densamente pobladas.

En muchos países, los sistemas de tratamiento de aguas residuales centralizados a gran escala ya no serían la opción más viable para la gestión de aguas urbanas. Se ha observado una creciente tendencia a contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados, que atienden establecimientos individuales o pequeños grupos de establecimientos. Permiten la recuperación de nutrientes y energía, el ahorro de agua dulce y garantizan el acceso al agua en tiempos de escasez. Se estima que estos tienen un costo de instalación que representa entre un 20 y 50% el valor de las plantas de tratamiento convencionales, y los costos operativos y de mantenimiento son aún más bajos (entre un 5 a 25% del valor de las plantas de tratamiento de lodos activados convencionales).

Los sistemas de alcantarillado de bajo costo son los preferidos en los barrios de todos los niveles económicos. Son distintos a los utilizados en los diseños de alcantarillado convencionales y se basan en el concepto de que el sistema transporta aguas residuales libres de sólidos. Estos sistemas son útiles para la organización comunitaria y son muy adecuados para la ampliación de los sistemas existentes o para conectar las comunidades satélites con los sistemas centralizados. También se han utilizado en campos de refugiados. Una de sus desventajas es que no sirven para el drenaje de aguas pluviales.

Los ecosistemas pueden resultar efectivos como servicios económicos de tratamiento de aguas residuales, siempre que se trate de ecosistemas sanos, la carga (y los tipos) de contaminantes presentes en los efluentes se regule sin exceder la capacidad de asimilación de contaminación del ecosistema.

3. La utilización de aguas residuales como fuente alternativa de agua

Por muchos siglos se han utilizado aguas residuales sin tratar o diluidas para el riego. Las aguas regeneradas también sirven como un suministro de agua sostenible y confiable para la industria y las municipalidades, especialmente porque que cada vez más ciudades dependen de suministros lejanos y/o fuentes de agua alternativas para satisfacer la creciente demanda.

En general, la reutilización de agua es más viable desde el punto de vista económico si el punto de reutilización se encuentra cerca del punto de producción. Tratar el agua residual hasta alcanzar un nivel de calidad de agua apropiado para el usuario (es decir, tratamientos «adecuados para el fin específico») aumenta las posibilidades de recuperar costos. La utilización de aguas residuales es también una opción más competitiva si consideramos

que los precios del agua dulce también manifiestan los costos de oportunidad por su utilización y las tasas por contaminación reflejan los costos de eliminación de los contaminantes de los flujos de aguas residuales.

El uso planificado de aguas residuales tratadas, completa o parcialmente, para los servicios de los ecosistemas puede aumentar la eficiencia del recurso y generar beneficios para los ecosistemas al reducir las extracciones de agua dulce y reciclar y reutilizar los nutrientes, permitiendo así el desarrollo de la industria pesquera y otros ecosistemas acuáticos gracias a la reducción de la contaminación del agua y la recarga de acuíferos agotados.

4. La recuperación de subproductos útiless

El vasto potencial de las aguas residuales como fuente de recursos, como energía y nutrientes, sigue siendo poco explotado.

Se puede recuperar energía, por ejemplo, para la generación de energía eléctrica, calefacción y refrigeración. Hoy en día existen las tecnologías que hacen posible la recuperación de energía *in situ* mediante procesos de tratamiento de lodos/biosólidos integrados en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Esto les permite pasar de ser grandes usuarios de energía a la neutralidad energética o, incluso, transformarse en productores netos de energía. La recuperación energética también puede ayudar a las instalaciones a reducir tanto costos operativos como su huella de carbono, lo cual permitiría mayores fuentes de ingresos mediante créditos de carbono y programas de comercio de emisiones de carbono. La recuperación combinada de nutrientes y energía también tiene gran potencial. La recuperación energética *ex situ* comprende la incineración de lodos en plantas centralizadas mediante procesos de tratamiento térmico.

Se registran avances en la creación de nuevas tecnologías para la recuperación de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales o lodos. La recuperación de fósforo en instalaciones *in situ* como fosas sépticas y letrinas es posible tanto desde el punto de vista técnico como económico mediante la transformación de los residuos sépticos en fertilizante orgánico u orgánico-mineral. Por otra parte, los lodos fecales presentan un riesgo de contaminación química relativamente menor en comparación con los biosólidos de las aguas residuales.

Es probable que la recolección y utilización de orina sea un elemento de la gestión ecológica de aguas residuales cada vez más importante, ya que esta contiene el 88% de nitrógeno y el 66% del fósforo que se encuentran en los desechos humanos, ambos componentes esenciales para el crecimiento de las plantas. Como se prevé que en las próximas décadas los recursos minerales de fósforo sean escasos o, incluso, se agoten, una alternativa realista y viable sería la posibilidad de recuperarlo en las aguas residuales.

Aguas residuales municipales y urbanas

La composición de las aguas residuales municipales puede variar notoriamente, lo cual refleja la gran diversidad de contaminantes liberados por las distintas fuentes domésticas, industriales, comerciales e institucionales. Las aguas residuales de fuentes domésticas en general están relativamente libres de sustancias peligrosas, si bien preocupa cada vez más la presencia de contaminantes emergentes, inclusive algunos medicamentos de uso común, que pueden tener efectos a largo plazo aun en concentraciones pequeñas.

El crecimiento acelerado de las ciudades presenta una cantidad de retos, entre ellos, un marcado aumento en la generación de aguas residuales municipales.

Sin embargo, este crecimiento también nos permite alejarnos de las antiguas (inadecuadas) prácticas de gestión hídrica y adoptar nuevos métodos innovadores como, por ejemplo, la utilización de aguas residuales tratadas y sus subproductos.

La generación de aguas residuales constituye uno de los principales desafíos que presenta el crecimiento de los asentamientos informales (barrios marginales) en los países en desarrollo. En 2012 se registró un número mayor de habitantes en los barrios marginales que en el año 2000, y es probable que esta tendencia persista en el futuro. Los habitantes de los barrios marginales generalmente tienen que utilizar sanitarios comunales que no están conectados a una red de saneamiento, espacios abiertos o recurren a eliminar las heces en bolsas de polietileno (es decir, inodoros voladores). Los sanitarios comunales no son muy utilizados por la falta de agua, mantenimiento y el costo que le implica al usuario. Poder encontrar un lugar adecuado para ir al baño resulta particularmente problemático para las mujeres, e implica riesgos en materia de seguridad personal e higiene y es un motivo de vergüenza.

La industria

La toxicidad, movilidad y carga de los contaminantes industriales pueden tener consecuencias más graves en los recursos hídricos, la salud humana y el medio ambiente que los grandes volúmenes de aguas residuales en sí. Como primer paso, los niveles y toxicidad de la contaminación se deben mantener lo más bajos posibles, primero en el punto de origen, luego desde su concepción al diseño y durante las operaciones y el mantenimiento. Esto comprende la utilización de materias primas más ecológicas y productos químicos biodegradables, así como la capacitación y educación del personal para abordar aspectos relativos a la contaminación. El segundo paso es reciclar tanta agua como sea posible en la planta, para así minimizar los vertidos.

Las pequeñas y medianas empresas (PYMES) y las industrias informales comúnmente vierten sus aguas residuales en los sistemas municipales o, directamente, al medio ambiente. Las industrias que vierten aguas en los sistemas municipales o aguas superficiales deben cumplir con ciertas reglamentaciones de vertido para evitar multas, por lo tanto, en muchos casos es necesario hacer tratamientos en la planta al final del proceso, antes del vertido. Sin embargo, a veces las industrias consideran que es más económico pagar las multas que invertir en los tratamientos para cumplir con la reglamentación.

Una de las mejores oportunidades para el uso y reciclaje de las aguas residuales industriales es la cooperación entre plantas mediante la simbiosis industrial. Esto se observa claramente en los parques ecoindustriales, donde se instala una compañía al lado de la otra para aprovechar los flujos de aguas residuales y el reciclaje de agua y subproductos. Para las PYMES, esto puede implicar grandes ahorros en el tratamiento de aguas residuales.

Agricultura

En los últimos cincuenta años, la superficie equipada para el riego aumentó más del 100%, el inventario total de ganado se triplicó y la acuicultura continental se multiplicó por veinte. La contaminación del agua por la actividad agrícola ocurre cuando se aplica una cantidad mayor de fertilizantes (nutrientes), y otros productos agroquímicos, que la que las cosechas pueden absorber o cuando estos son arrastrados. Los sistemas de riego eficientes pueden ayudar a reducir en gran medida la pérdida tanto de agua como de fertilizantes. La producción de ganado y la acuicultura también generan la liberación de nutrientes.

La agricultura, además, puede ser fuente de otros tipos de contaminantes, entre ellos, materia orgánica, patógenos, metales y contaminantes emergentes. En los últimos 20 años, surgieron nuevos contaminantes agrícolas, como los antibióticos, vacunas, promotores del crecimiento y hormonas, todos los cuales pueden ser liberados por explotaciones ganaderas y acuícolas.

Si se tratan adecuadamente y se utilizan en forma segura, las aguas residuales domésticas constituyen una valiosa fuente tanto de agua como de nutrientes. Además de fomentar la seguridad alimentaria, la reutilización del agua en la agricultura puede generar grandes beneficios para la salud, entre ellos, un mayor valor nutricional. El uso de las aguas residuales municipales es una práctica habitual en países del Oriente Medio y África Septentrional, Australia y el Mediterráneo, así como también en China y los Estados Unidos. Esta práctica ha tenido más éxito en zonas urbanas y periurbanas, donde hay una gran disponibilidad de aguas residuales, por lo general, sin costo alguno y donde hay una mayor demanda de productos agrícolas.

Perspectivas regionales

Uno de los principales retos con respecto a las aguas residuales en África es la falta generalizada de infraestructura para la recolección y tratamiento. Esto genera la contaminación de los recursos de aguas superficiales y subterráneas, de por sí escasos. Las ciudades africanas crecen rápidamente, y sus sistemas actuales de gestión hídrica no pueden acompañar la creciente demanda. Sin embargo, esta situación presenta nuevas oportunidades para mejorar la gestión de aguas residuales urbanas por medio de tecnologías multipropósito para la reutilización del agua y la recuperación de subproductos útiles. Se necesita una fuerte campaña de promoción para convencer a los formuladores de políticas del alto «costo de la inacción» en términos de desarrollo socioeconómico, la calidad del medio ambiente y la salud humana.

El uso de aguas residuales tratadas de forma segura es ahora una herramienta que se utiliza para aumentar la disponibilidad de agua en muchos Estados árabes, y se ha contemplado como elemento fundamental de la planificación de la gestión de recursos hídricos. En 2013, se trató el 71% de las aguas residuales recolectadas en los Estados árabes en forma segura y de este porcentaje un 21% se utiliza, en su mayoría, para actividades de riego y recarga de acuíferos. La gestión integrada de los recursos hídricos y los planteamientos de nexos que contemplen los vínculos entre el agua, la energía, los alimentos y el cambio climático permiten crear un marco para analizar las alternativas posibles para lograr una mejor recolección, transferencia, tratamiento y uso de las aguas residuales en la región árabe desde una perspectiva de seguridad hídrica.

Los subproductos de las aguas residuales como las sales, nitrógeno y fósforo, tienen valor económico potencial que puede utilizarse para mejorar los medios de subsistencia de las personas en la región de Asia y el Pacífico. Algunos estudios de caso del Asia Sudoriental han demostrado que los ingresos generados por los subproductos de aguas residuales, como los fertilizantes, son mucho más elevados que los costos operativos de los sistemas de aguas residuales que generan dichos subproductos. Esto demuestra que la recuperación de recursos de las aguas residuales es un modelo de negocios viable y rentable. Se necesita trabajar más en la región para respaldar a los gobiernos municipales y locales en la gestión de aguas residuales urbanas y la captación de los beneficios del recurso.

El porcentaje de acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas en Europa y América del Norte es relativamente alto (95%) y los niveles de tratamiento de aguas residuales mejoraron en los últimos 15 a 20 años. Si bien la disponibilidad de tratamientos terciarios mejoró en forma gradual, todavía se recolectan grandes

volúmenes de aguas residuales que luego se vierten sin tratar, especialmente en Europa Oriental. Los cambios económicos y demográficos llevaron a que algunos de los grandes sistemas centralizados hayan perdido su eficacia, lo que queda claro al observar muchos de los sistemas voluminosos y mal adaptados que subsisten en partes de la ex Unión Soviética. Muchas ciudades en toda la región enfrentan la carga económica que implica reparar o remplazar infraestructuras envejecidas.

La tasa de cobertura de los tratamientos de aguas residuales urbanas en América Latina y el Caribe prácticamente se duplicó desde fines de la década de 1990 y se estima que alcanzó entre un 20% y 30% de las aguas residuales recolectadas en los sistemas de alcantarillado urbano. Esta mejora se atribuye principalmente a una mayor cobertura de los servicios hídricos y de saneamiento, una mejor situación económica de los prestadores de servicios (que en los últimos años han mejorado sustancialmente la recuperación de costos) y al gran crecimiento socioeconómico de la región en la última década. La integración de las economías regionales a los mercados globales también ha sido un factor determinante. Las aguas residuales tratadas pueden ser una fuente importante de abastecimiento de agua para algunas ciudades, en especial aquellas que se encuentran en zonas áridas (como Lima) o donde sea necesario recorrer grandes distancias para satisfacer la creciente demanda, particularmente en las épocas de sequía (por ejemplo, en San Pablo).

La creación de un entorno propicio para el cambio

La mejora de los tratamientos de aguas residuales, una mayor reutilización y la recuperación de los subproductos son factores que fomentan la transición hacia una economía circular, al permitir reducir las extracciones de agua y la pérdida de recursos en los sistemas de producción y las actividades económicas.

Marcos jurídicos y regulatorios adecuados

Para lograr un marco regulatorio eficaz es indispensable que la autoridad a cargo tenga los conocimientos técnicos y de gestión adecuados, que actúe en forma independiente y que posea las facultades necesarias para ejecutar normas y lineamientos. La transparencia y la disponibilidad de acceso a la información fomentan el cumplimiento, ya que generan confianza en los usuarios con respecto a los procesos de aplicación y fiscalización. Para progresar será necesario adoptar un enfoque flexible y progresivo.

Las políticas y medidas regulatorias se adoptan a nivel local y es necesario que puedan adaptarse a circunstancias de todo tipo. Será importante, por lo tanto, que se brinde apoyo político, institucional y económico a las iniciativas que abordan perspectivas que van desde el nivel inferior hasta el superior («bottom-up») y a la prestación de servicios de gestión de aguas residuales locales de pequeña escala (es decir, descentralizados).

También se necesitan nuevas reglamentaciones en materia de reutilización de agua y recuperación de subproductos de las aguas residuales. Por lo general no existe legislación, o es muy escasa, sobre las normas de calidad para estos productos, lo que fomenta la incertidumbre en el mercado en detrimento de la inversión. Se podrían utilizar incentivos económicos o legales para estimular el mercado de estos productos (por ejemplo, la mezcla obligatoria de fosfatos recuperados en fertilizantes artificiales).

Recuperación de costos y mecanismos de financiamiento adecuados

La gestión de aguas residuales y el saneamiento se consideran generalmente actividades costosas y con un uso intensivo de capital. Esto es así sobre todo en los grandes sistemas centralizados, que exigen el desembolso de grandes sumas de capital por adelantado y tienen costos de operación y mantenimiento elevados en el mediano y largo plazo para evitar que se deterioren rápidamente. Además, el problema se agrava por la escasez crónica de fondos, que no permite invertir en el desarrollo de recursos institucionales y humanos. Sin embargo, los costos de una inversión inadecuada en la gestión de aguas residuales son aún más elevados, especialmente si tomamos en cuenta los daños directos e indirectos a la salud, el desarrollo socioeconómico y el medio ambiente.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados pueden utilizarse para compensar algunos de los problemas económicos causados por los sistemas centralizados. Estas tecnologías de bajo costo, si son correctamente diseñadas y aplicadas, generan buenos resultados en la calidad de los efluentes, si bien también necesitan determinados niveles de operación y mantenimiento para evitar fallas en el sistema.

La utilización de aguas residuales puede generar nuevas fuentes de ingresos para la gestión de tratamiento de las mismas, especialmente en aquellas situaciones donde la escasez de agua es recurrente o crónica. Se han aplicado distintos modelos de negocios en los cuales la recuperación de costos y valor representan una notoria ventaja desde el punto de vista económico. Sin embargo, los ingresos por la venta de las aguas residuales tratadas en sí mismos no son suficientes para cubrir los costos operativos y de mantenimiento de la planta de tratamiento. La recuperación de nutrientes (principalmente fósforo y nitrógeno) y energía puede agregar nuevas fuentes de ingreso importantes que permitirían mejorar en materia de recuperación de costos.

Si bien los ingresos generados por la utilización de aguas residuales y la recuperación de recursos pueden no siempre cubrir los costos adicionales, los beneficios de invertir en iniciativas de reutilización del agua podrían compararse con los costos de represas, desalinización y transferencias entre cuencas, entre otras opciones que aumentan la disponibilidad hídrica.

El agua potable es todavía un recurso infravalorado, incluso aunque se encuentre disponible desde el grifo, y con precios menores a los que deberían fijarse si consideramos el costo total del servicio. Las aguas residuales tratadas deberán tener un precio menor al del agua potable para que la ciudadanía las acepte. Si fijamos el precio del agua, de todas las fuentes, en un monto que refleje de manera más fidedigna los costos reales, lograremos inversiones que se traduzcan en la prestación de servicios asequibles para todos los miembros de la sociedad, incluidos los sectores de menos ingresos.

Minimizar los riesgos para las personas y el medio ambiente

El vertido de aguas residuales no tratadas puede tener efectos sumamente nocivos para la salud humana y el medio ambiente, incluyendo brotes de enfermedades transmitidas por vectores, el agua y los alimentos, así como la contaminación y pérdida de la diversidad biológica y servicios de los ecosistemas. La exposición de los grupos vulnerables, en especial mujeres y niños, a aguas residuales no tratadas o tratadas en forma parcial requiere de nuestra especial atención. La falta de información sobre los riesgos para la salud asociados al uso de aguas residuales, ya sea por falta de educación o por vivir en condiciones de pobreza, contribuye a su existencia, especialmente en los países en desarrollo. En aquellos casos donde consideremos que la exposición humana es más factible (por ejemplo, por alimentos o contacto directo) será necesario contar con medidas de gestión más estrictas.

Creación de conocimiento y capacidades

La disponibilidad de información y datos en materia de generación de aguas residuales, tratamiento y utilización será fundamental para los formuladores de políticas, investigadores, médicos e instituciones públicas, para elaborar planes de acción nacionales y locales que protejan el medio ambiente y garanticen la utilización segura y productiva de las aguas residuales. Los datos sobre los volúmenes o, incluso más importante, los componentes de las aguas residuales son herramientas fundamentales para proteger la salud y seguridad humana y del medio ambiente. Sin embargo, nos encontramos ante una falta constante de información sobre casi todos los aspectos en materia de calidad del agua y gestión de aguas residuales, especialmente en los países en desarrollo.

Los países desarrollados deben transferir tecnologías adecuadas y asequibles, ya sean nuevas o consolidadas, a los países en vías de desarrollo. Es necesario llevar adelante iniciativas de investigación para comprender cabalmente las dinámicas de los contaminantes emergentes y mejorar los métodos para eliminarlos de las aguas residuales. También es fundamental entender qué impacto tienen los factores externos, como el cambio climático, en la gestión de aguas residuales.

Para mejorar la gestión de aguas residuales será indispensable poder contar con los recursos humanos adecuados. Por lo general, la gestión de aguas residuales tiene insuficiencias en materia de capacidades organizacionales e institucionales, por lo tanto, toda inversión implica riesgos, sean sistemas centralizados de gestión de agua residuales de gran escala o sistemas *in situ* de menor porte.

Conciencia pública y aprobación social

Aunque un proyecto para la utilización de aguas residuales esté bien diseñado, parezca factible desde el punto de vista económico y haya incorporado las medidas de seguridad indicadas, toda iniciativa para la reutilización del agua puede fallar si sus creadores no contemplan las vicisitudes de la aprobación social. En general, el uso de aguas residuales tiene gran oposición de la ciudadanía por falta de información y de confianza con respecto a los posibles riesgos para la salud humana. La sensibilización de la población y la educación serán las principales herramientas a utilizar para sobreponerse a los obstáculos sociales, culturales y a aquellos relacionados con los consumidores. Estas campañas de sensibilización tienen que personalizarse de acuerdo con las diferencias culturales, religiosas y contextos de los consumidores.

Para obtener la aprobación pública y maximizar los beneficios del uso de aguas residuales y al mismo tiempo reducir los efectos negativos, será necesario evaluar, gestionar, dar seguimiento e informar en forma constante sobre los riesgos para la salud de la reutilización del agua. En el caso del agua para consumo (es decir, la reutilización de agua potable), se necesitarán grandes campañas informativas para que las personas confíen lo suficiente en el sistema para superar el llamado «factor de asco».

Coda

En un mundo donde la demanda de agua dulce aumenta de forma permanente y los escasos recursos hídricos se ven cada vez más exigidos por la captación excesiva, la contaminación y el cambio climático, sería sencillamente impensable no aprovechar las oportunidades derivadas de una mejor gestión de las aguas residuales.

PRÓLOGO

WWAP | Stefan Uhlenbrook, Angela Renata Cordeiro Ortigara y Richard Connor
Con los aportes de: Sara Marjani Zadeh (FAO)

ESTADO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS: DISPONIBILIDAD Y CALIDAD

Recolección de agua de un río en Bor (Sudán del Sur)

En el prólogo se brinda un breve resumen de dos aspectos fundamentales del estado de los recursos hídricos del mundo que están directamente relacionados con las aguas residuales: la disponibilidad de agua y la calidad del agua ambiente. Si bien las aguas residuales tratadas adecuadamente son un recurso que puede utilizarse para abordar la escasez de suministro de agua, el nivel de tratamiento de aguas residuales afecta directamente la calidad del agua ambiente, con consecuencias en la disponibilidad de agua. Se describen los factores externos que dictarán las tendencias futuras en cuanto a la disponibilidad y la calidad del agua, con especial énfasis en la dinámica demográfica y el cambio climático.

Generación y tratamiento de aguas residuales a nivel mundial

Aunque los datos sobre la generación, la recolección y el tratamiento de aguas residuales son prácticamente inexistentes, es evidente que, en todo el mundo, la mayor parte de las aguas residuales no se recoge ni se trata. Además, la recolección de aguas residuales *per se* no es sinónimo de tratamiento de aguas residuales. En muchos casos, las aguas residuales recolectadas se liberan directamente en el medio ambiente sin ningún tratamiento. La escorrentía agrícola casi nunca es recolectada o tratada, de modo que las métricas para estos tipos de flujos de aguas residuales son prácticamente inexistentes.

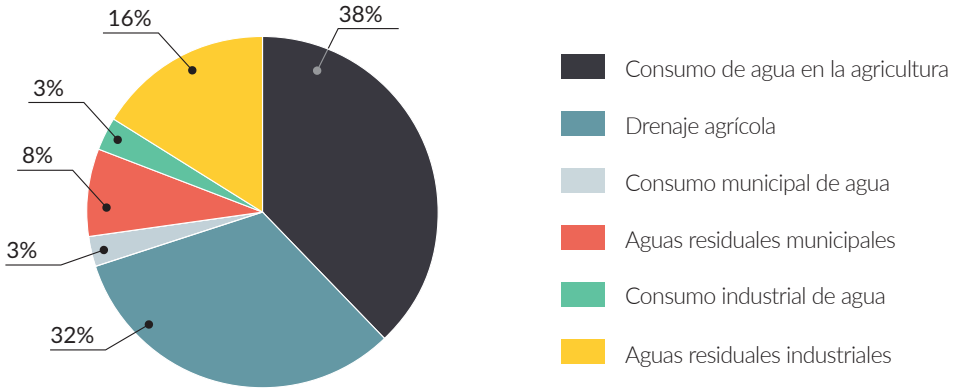
La base de datos AQUASTAT de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) considera que las extracciones de agua dulce a nivel mundial son de 3.928 km³ al año. Se estima que principalmente la agricultura, mediante evaporación en tierras de cultivo irrigadas, consume el 44% (1.716 km3 por año) de esta agua. El 56% restante (2.212 km3 por año) es liberado al medio ambiente como aguas residuales en forma de efluentes municipales e industriales y agua de drenaje agrícola (ver Figura 1).

El nivel de tratamiento de aguas residuales industriales y municipales de un país es generalmente un reflejo de su nivel de ingresos. En promedio, los países de ingresos altos tratan cerca del 70% de las aguas residuales que generan, mientras que esa proporción cae al 38% en los países de ingresos medios-altos y al 28% en los países de ingresos medios-bajos. En países de bajos ingresos, solo el 8% de las aguas residuales industriales y municipales se someten a algún tipo de tratamiento (Sato *et al.,* 2013). Esto exacerba la situación de los pobres, en particular en los barrios marginales, que a menudo están expuestos directamente a las aguas residuales debido a la falta de servicios de saneamiento y agua.

Estos cálculos apoyan la estimación citada a menudo que, a nivel mundial, es probable que más del 80% de las aguas residuales se liberen al medio ambiente sin un tratamiento adecuado (WWAP, 2012; ONU Agua 2015a).

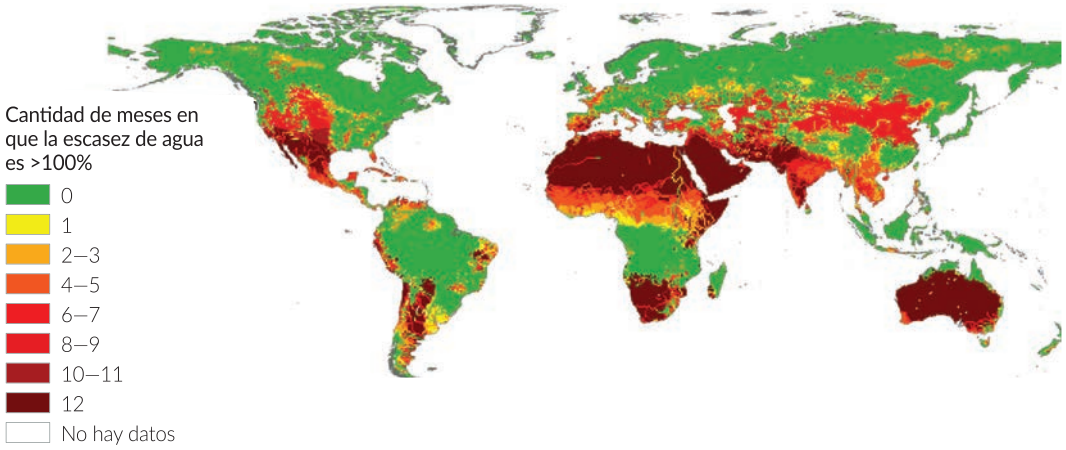
También parece haber una variabilidad significativa entre diferentes regiones. En Europa, se trata el 71% de las aguas residuales municipales e industriales generadas, mientras que en los países de América Latina solo se trata el 20%. Se estima que en Oriente Medio y África del Norte (MENA) un 51% de las aguas residuales municipales e

Figura 1 **Destino de las extracciones de agua dulce: Consumo y generación de aguas residuales a nivel mundial por sector principal de uso de agua (Circa, 2010)**



Fuente: Basado en datos de AQUASTAT (n.d.a.); Mateo-Sagasta et al. (2015); Shiklomanov (1999). Aportados por Sara Marjani Zadeh (FAO).

Figura 2 Cantidad de meses por año en que el volumen de agua superficial y subterránea que se extrae y no se devuelve excede 1.0 a 30 x 30 arco de resolución mínima (1996-2005)*



*Promedio trimestral de la escasez mensual de agua azul a 30 × 30 arco de resolución mínima. La escasez de agua a nivel de la cuadrícula se define como la relación de la huella del agua azul dentro de la cuadrícula con la suma del agua azul generada dentro de la célula y la entrada de agua azul de las células aguas arriba. Período: 1996-2005.

Fuente: Mekonnen y Hoekstra (2016, Fig. 3, p. 3).

industriales son tratadas. En los países africanos, la falta de recursos financieros para el establecimiento de instalaciones de aguas residuales constituye una limitación importante en la gestión de las aguas residuales, mientras que 32 de los 48 países de África subsahariana no disponían de datos sobre la generación y el tratamiento de aguas residuales (Sato *et al.*, 2013).

El tratamiento de las aguas residuales y su uso y/o eliminación en las regiones húmedas de los países de altos ingresos (por ejemplo, América del Norte, Europa septentrional y Japón) están motivados por estrictas regulaciones de descarga de efluentes y la conciencia pública sobre la calidad ambiental.

La situación es diferente en los países de altos ingresos en regiones más secas (por ejemplo, partes de América del Norte, Australia, Oriente Medio y el sur de Europa), donde las aguas residuales tratadas se usan con frecuencia para riego dada la creciente competencia por el agua entre la agricultura y otros sectores.

La expansión constante del alcantarillado y los consiguientes aumentos en el volumen de aguas residuales generan presión sobre las instalaciones de tratamiento existentes y, en algunos casos, pueden conducir a un rendimiento deficiente.

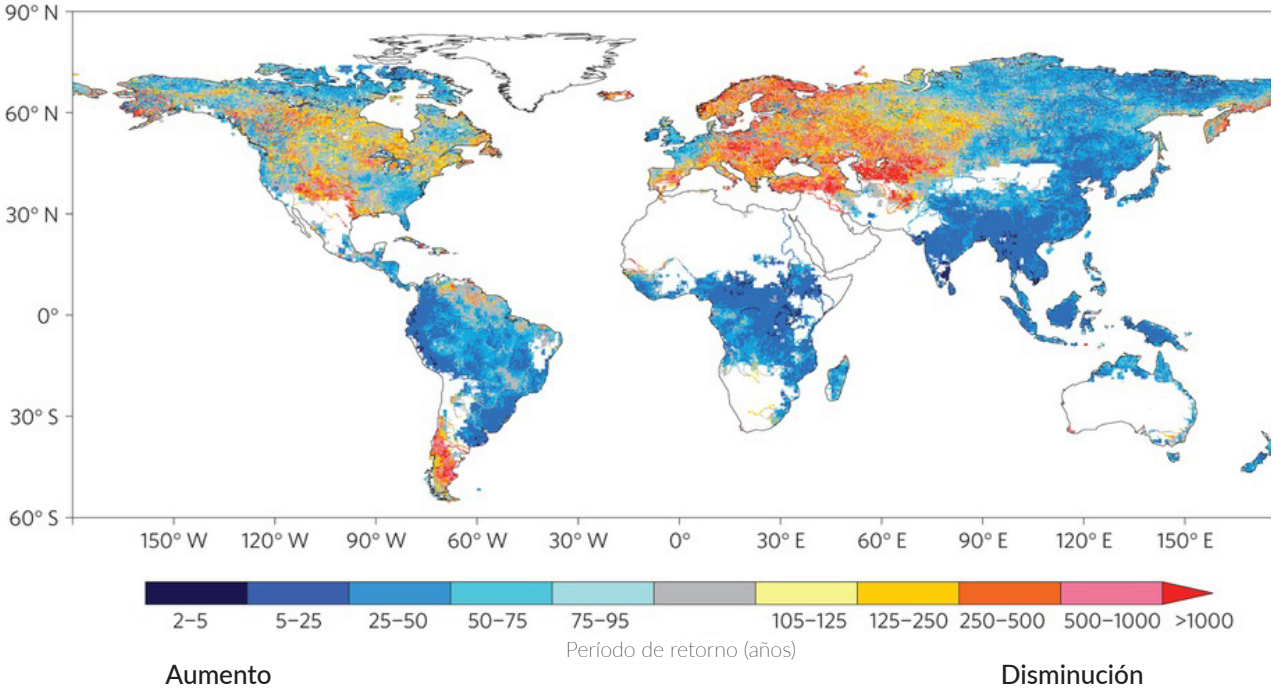
Incluso, cuando las aguas residuales son recolectadas y tratadas, la calidad final de las aguas residuales descargadas puede verse afectada por mal funcionamiento y mantenimiento, así como por desbordamiento durante tormentas, cuando se permite que las aguas residuales eviten la planta de tratamiento. Así, gran parte de las aguas residuales no se tratan (o no se tratan adecuadamente) y se descargan en masas de agua y, posteriormente, afectan la calidad del agua (y su disponibilidad) para los usuarios aguas abajo.

Disponibilidad de agua a nivel mundial - Escasez cada vez más severa año a año

Los recursos hídricos (aguas superficiales y subterráneas) se renuevan en el ciclo continuo de evaporación, precipitación y escorrentía. El ciclo del agua es impulsado por fuerzas mundiales y climáticas que introducen variabilidad en la precipitación y la evaporación, lo que a su vez define los patrones de escorrentía y de disponibilidad de agua en el espacio y el tiempo (modulados por almacenamiento natural y artificial). Las observaciones durante las últimas décadas y las proyecciones de los escenarios de cambio climático apuntan hacia una exacerbación de las variaciones espaciales y temporales de la dinámica del ciclo del agua (*cf.* IPCC, 2013). Como resultado, las discrepancias en el suministro y la demanda de agua se agravan cada vez más.

En estudios recientes se ha demostrado que dos tercios de la población mundial vive actualmente en zonas con escasez de agua durante al menos un mes al año (ver Figura 2). Cabe destacar que alrededor del 50% de las personas que enfrentan este nivel de escasez de agua vive en China e India. Esta evaluación mensual de la escasez de agua es esencial, ya que el estrés hídrico como consecuencia de períodos secos puede estar enmascarado con los promedios anuales de disponibilidad de agua. Las evaluaciones basadas

Figura 3 Cambios pronosticados en la frecuencia de inundaciones*



* Ilustrado como el cambio del período de retorno de una inundación de 100 años. Las simulaciones muestran la mediana de los resultados de 11 Modelos de Circulación Mundial (MCG) en el escenario futuro RCP 8.5 y se compara la diferencia entre los períodos 2071-2100 y 1971-2000.

Fuente: Hirabayashi et al. (2013, Fig. 1a).

Reimpreso con autorización de Macmillan Publishers Ltd: Nature Climate Change, © 2013

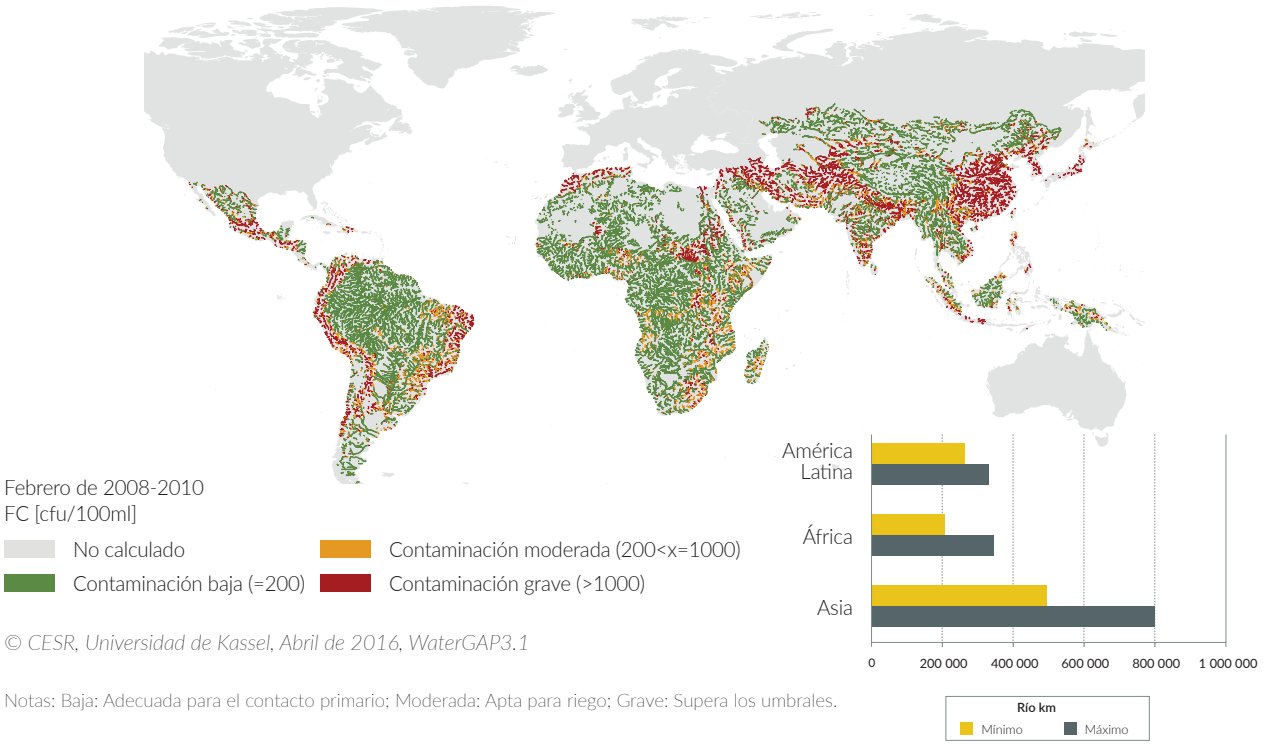
en la cuadrícula, como se muestra en la Figura 2, pueden agregarse fácilmente a la escala del país y proporcionar más información sobre la variabilidad dentro del país. Los números promedio pueden ser engañosos, particularmente en países con distintas variaciones espaciales de recursos hídricos y usos como, por ejemplo, Australia, Brasil, Chile, Rusia y los Estados Unidos.

Alrededor de 500 millones de personas viven en zonas donde el consumo de agua supera los recursos hídricos renovables locales en una relación de dos a uno (Mekonnen and Hoekstra, 2016). Esto incluye partes de la India, China, la región mediterránea y Oriente Medio, Asia Central, partes áridas de África subsahariana, Australia, el centro y oeste de América del Sur y el centro y oeste de América del Norte. Algunas zonas donde los recursos no renovables (esto es, las aguas subterráneas fósiles, nunca una fuente sostenible) continúan disminuyendo, se han vuelto extremadamente vulnerables y dependen de las transferencias de agua de áreas con abundante agua.

Si bien las inundaciones y las sequías son un fenómeno natural y una parte de la dinámica espacio-temporal variable del ciclo del agua, la frecuencia y la gravedad de las inundaciones y las sequías han cambiado en muchas cuencas fluviales en todo el mundo, a menudo por una combinación de cambio climático y actividades humanas. Los cambios en el uso de la tierra, incluida la urbanización, la canalización de los ríos y otras actividades humanas, modifican la capacidad de almacenamiento de las cuencas hidrográficas y afectan los flujos elevados, así como la recarga de los acuíferos y los estiajes. Los cambios en la capacidad de almacenamiento y los procesos de generación de escorrentía pueden aumentar la ocurrencia de desastres relacionados con el agua. Es probable que las frecuencias de las inundaciones (Hirabayashi et al., 2013) y las sequías (IPCC, 2013) cambien con el aumento de las temperaturas. Los resultados de un conjunto de proyecciones (ver Figura 3) muestran un gran aumento en la frecuencia de las inundaciones (representado por las áreas azules, donde aumentaría la frecuencia de eventos que ahora se consideran inundaciones de 100 años) en muchas áreas, incluidas la India, el sudeste asiático y África Central y Oriental, mientras que en otras áreas disminuye la frecuencia de inundaciones pronosticadas (representadas por las zonas amarillas/rojas).

Tener agua en exceso (inundaciones) o en cantidades insuficientes (sequías), a menudo acompañada de agua demasiado sucia (concentraciones de contaminación más altas en ambos extremos), hacen aún mayor la necesidad de usar aguas residuales.

Figura 4 Estimación de las concentraciones de bacterias coliformes fecales (CF) en los cursos de agua en África, Asia y América Latina (febrero de 2008-2010)*



© CESR, Universidad de Kassel, Abril de 2016, WaterGAP3.1

Notas: Baja: Adecuada para el contacto primario; Moderada: Apta para riego; Grave: Supera los umbrales.

* El gráfico de barras muestra las estimaciones mensuales mínimas y máximas de tramos de ríos en la categoría de contaminación grave por continente en el período de 2008 a 2010

Fuente: PNUMA (2016, Fig. 3.3, p. 20).

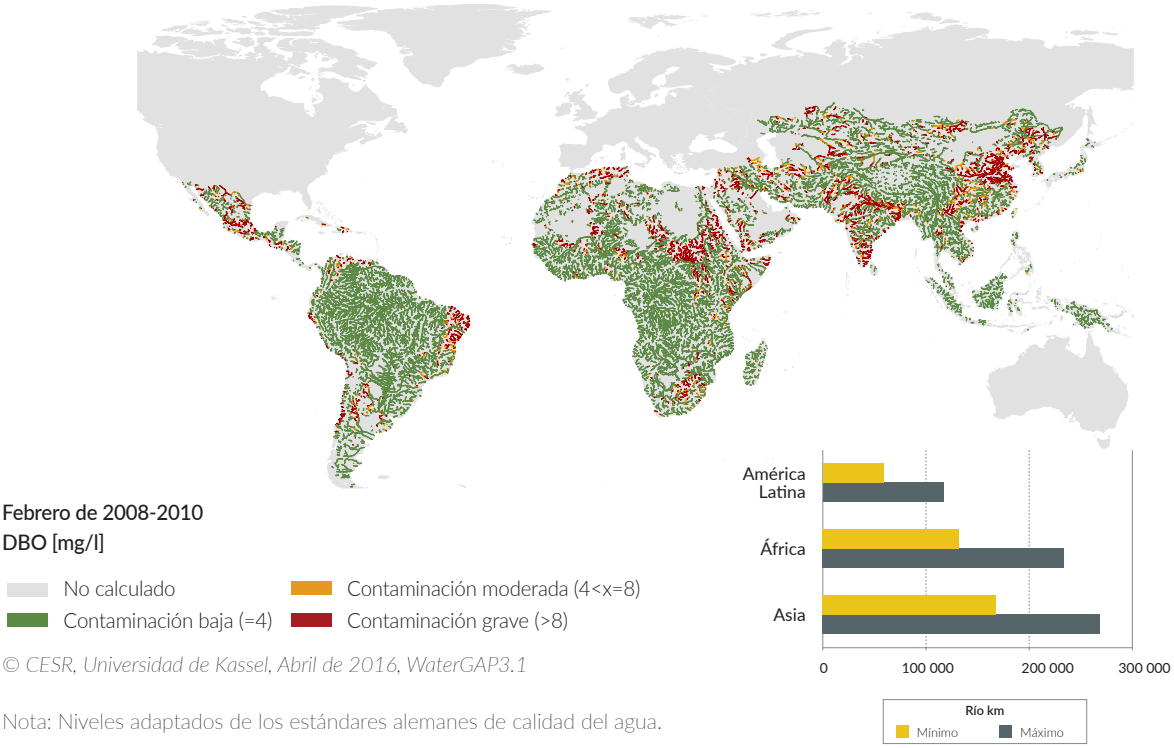
Los costos económicos derivados de las crecidas de los ríos en todo el mundo podrían aumentar veinte veces para finales del siglo XXI si no se adoptan nuevas medidas para reducir los riesgos de inundaciones. Más del 70% de este aumento puede atribuirse al crecimiento económico de las zonas propensas a inundaciones, además del cambio climático (Winsemius *et al.,* 2016). La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2015a) cita escenarios climáticos basados en la modelización llevada a cabo por Winsemius y Ward (2015), que demuestra que los daños causados por las inundaciones en las zonas urbanas podrían llegar a USD 0.7-1.8 billones al año para 2080.

A nivel mundial, la sequía es probablemente la mayor amenaza del cambio climático pero, a nivel local, el aumento del nivel del mar (que afecta las zonas costeras) u otras amenazas podrían ser mayores (por ejemplo, áreas que son extremadamente vulnerables a inundaciones o deslizamientos de tierra). Desde una perspectiva socioeconómica y ambiental, las consecuencias de la sequía pueden ser notorias. Sus efectos van desde una menor productividad agrícola y alteraciones en el funcionamiento de los ecosistemas hasta el aumento de los precios de los alimentos, mientras que la inseguridad y el hambre pueden desencadenar una migración masiva. La crisis en Siria se desencadenó, entre otros factores, debido a una sequía histórica entre 2007 y 2010.

Se registraron muy pocas lluvias invernales (en parte debido al cambio climático), lo que hizo imposible la agricultura en un 60% de las tierras agrícolas, a pesar de los conocimientos y la tecnología disponibles. Los medios de subsistencia de miles de agricultores se vieron afectados, lo que llevó a una migración desde las zonas rurales hacia los centros urbanos, acompañada de un aumento de la dependencia de las importaciones de alimentos y a precios más caros de los alimentos, asentamientos informales, desempleo y disturbios sociales. En consecuencia, se inició un movimiento migratorio a gran escala provocado por la guerra civil, entre otras razones (Kelley *et al.*, 2015). Algunas de las medidas para aumentar la resiliencia a las sequías incluyen la aceptación de aguas residuales como una fuente confiable de agua para la agricultura y muchos otros usos.

Se prevé que la demanda mundial de agua aumente sensiblemente en las próximas décadas. Además de la demanda del sector agrícola, que actualmente es responsable del 70% de las captaciones de agua en todo el mundo, se prevén grandes aumentos para la

Figura 5 Estimación de las concentraciones de demanda bioquímica de oxígenos (DBO) en los cursos de agua en África, Asia y América Latina (febrero de 2008-2010)*



Nota: Niveles adaptados de los estándares alemanes de calidad del agua.

* El gráfico de barras muestra las estimaciones mensuales mínimas y máximas de tramos de ríos en la categoría de contaminación grave por continente en el período de 2008 a 2010.

Fuente: PNUMA (2016, Fig. 3.13, p. 33).

industria y la producción de energía (WWAP, 2015). El cambio en los patrones de consumo, lo que incluye cambiar las dietas hacia alimentos que requieren grandes cantidades de agua, como la carne (es decir, se necesitan 15.000 litros de agua para 1 kg de carne vacuna) empeorará la situación. Por lo tanto, no debe sorprender que el Foro Económico Mundial (WEF, por sus siglas en inglés) haya evaluado consecutivamente la crisis del agua como uno de los principales riesgos mundiales en los últimos cinco años. En 2016 se determinó que la crisis del agua será el riesgo mundial más preocupante para las personas y las economías en los próximos diez años (WEF, 2016).

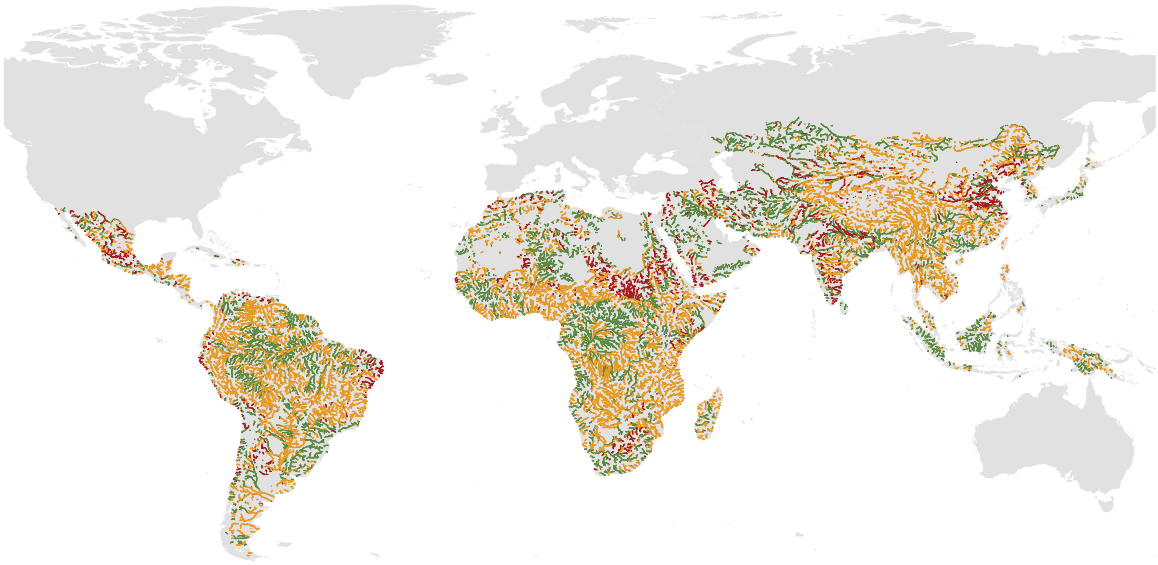
Calidad del agua ambiente[1]

La disponibilidad de recursos hídricos está intrínsecamente ligada a la calidad del agua. La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas puede hacer imposible su utilización ante la ausencia de tratamientos previos costosos. Se prevé que el deterioro de la calidad del agua aumente aún más en las próximas décadas, especialmente en los países con pocos recursos en las zonas secas, lo que pondrá aún más en peligro la salud humana y el medio ambiente, al tiempo que limitará el desarrollo económico sostenible (Veolia/IFPRI, 2015). La descarga de aguas residuales no tratadas como consecuencia de la expansión de los asentamientos humanos y el aumento de la producción industrial genera contaminación física, química y biológica que afecta tanto la salud humana como el medio ambiente.

La presencia de coliformes fecales, que se originan en excrementos humanos y animales, se utiliza como indicador de la presencia de cualquier patógeno potencial en las aguas superficiales. Los primeros hallazgos del programa mundial de monitoreo de la calidad del agua muestran que la contaminación grave de patógenos afecta a alrededor de un tercio de todos los tramos fluviales en África, Asia y América Latina (ver Figura 4), lo que pone en riesgo la salud de millones de personas (PNUMA, 2016). Aunque la cobertura de saneamiento ha aumentado y los niveles de tratamiento han mejorado en algunos países (UNICEF/OMS, 2015), estas mejoras deben realizarse simultáneamente para evitar el aumento de las cargas de contaminantes. Esto podría explicar,

[1] Esta sección se basa en gran medida en el informe «Snapshot» (PNUMA, 2016), que ofrece una visión general exhaustiva de la calidad actual del agua.

Figura 6 Tendencia de las concentraciones de DBO en los ríos entre 1990-1992 y 2008-2010*



Tendencia de la concentración de BOD en de los cursos de agua

No calculado
Tendencia creciente
No creciente
Tendencia creciente de especial preocupación

© CESR, Universidad de Kassel, Abril de 2016, WaterGAP3.1

* Los tramos de los ríos marcados con naranja o rojo tienen concentraciones crecientes entre estos dos períodos. Los tramos de los ríos marcados con rojo tienen una «tendencia creciente de especial preocupación», lo que significa que en estos tramos el nivel de contaminación aumentó y pasó a la categoría de contaminación grave entre 2008 y 2010, o que ya estaba en la categoría de contaminación grave entre 1990 y 1992 y aumentó aún más su concentración en el período 2008-2010.

Fuente: PNUMA (2016, Fig. 3.15, p. 34).

A nivel mundial, es probable que más del 80% de las aguas residuales sean vertidas al medio ambiente sin un tratamiento adecuado

probablemente, el aumento de las cargas de bacterias coliformes fecales (CF) observadas en África, Asia y América Latina en las últimas dos décadas.

A nivel mundial, es probable que más del 80% de las aguas residuales sean vertidas al medio ambiente sin un tratamiento adecuado y los medios de subsistencia, afectando peligrosamente a las comunidades rurales pobres que dependen de la pesca de agua dulce. La grave contaminación orgánica ya afecta a alrededor de un séptimo de todos los tramos de los ríos en África, Asia y América Latina (ver Figura 5), y ha ido aumentando constantemente durante años (ver Figura 6) (PNUMA, 2016). La contaminación orgánica (medida en términos de demanda bioquímica de oxígeno - DBO) puede tener impactos significativos en la pesca en aguas interiores, la seguridad alimentaria y los medios de subsistencia, afectando gravemente a las comunidades rurales pobres que dependen de la pesca de agua dulce.

El vertido de nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) y agroquímicos procedentes de la agricultura intensiva y de los desechos animales puede acelerar aún más la eutrofización de los ecosistemas marinos de agua dulce y costera y aumentar la contaminación de las aguas subterráneas. La mayor parte de los lagos más grandes de América Latina y África han visto aumentar las cargas antropogénicas de fósforo, lo que puede acelerar los procesos de eutrofización.

El aumento del vertido de aguas residuales tratadas de forma inadecuada, consecuencia del desarrollo económico e industrial, la intensificación y expansión de la agricultura y el crecimiento de los volúmenes de aguas negras de las zonas urbanizadas rápidamente contribuyen a la degradación de la calidad del agua superficial y subterránea en todo el mundo. Dado que la contaminación del agua afecta gravemente la disponibilidad de agua, es necesario gestionarla adecuadamente para mitigar los efectos de su creciente escasez.

PARTE 1

BASE DE REFERENCIA Y CONTEXTO

Capítulo 1 | Introducción

Capítulo 2 | Las aguas residuales y la Agenda de desarrollo sostenible

Capítulo 3 | Gobernabilidad

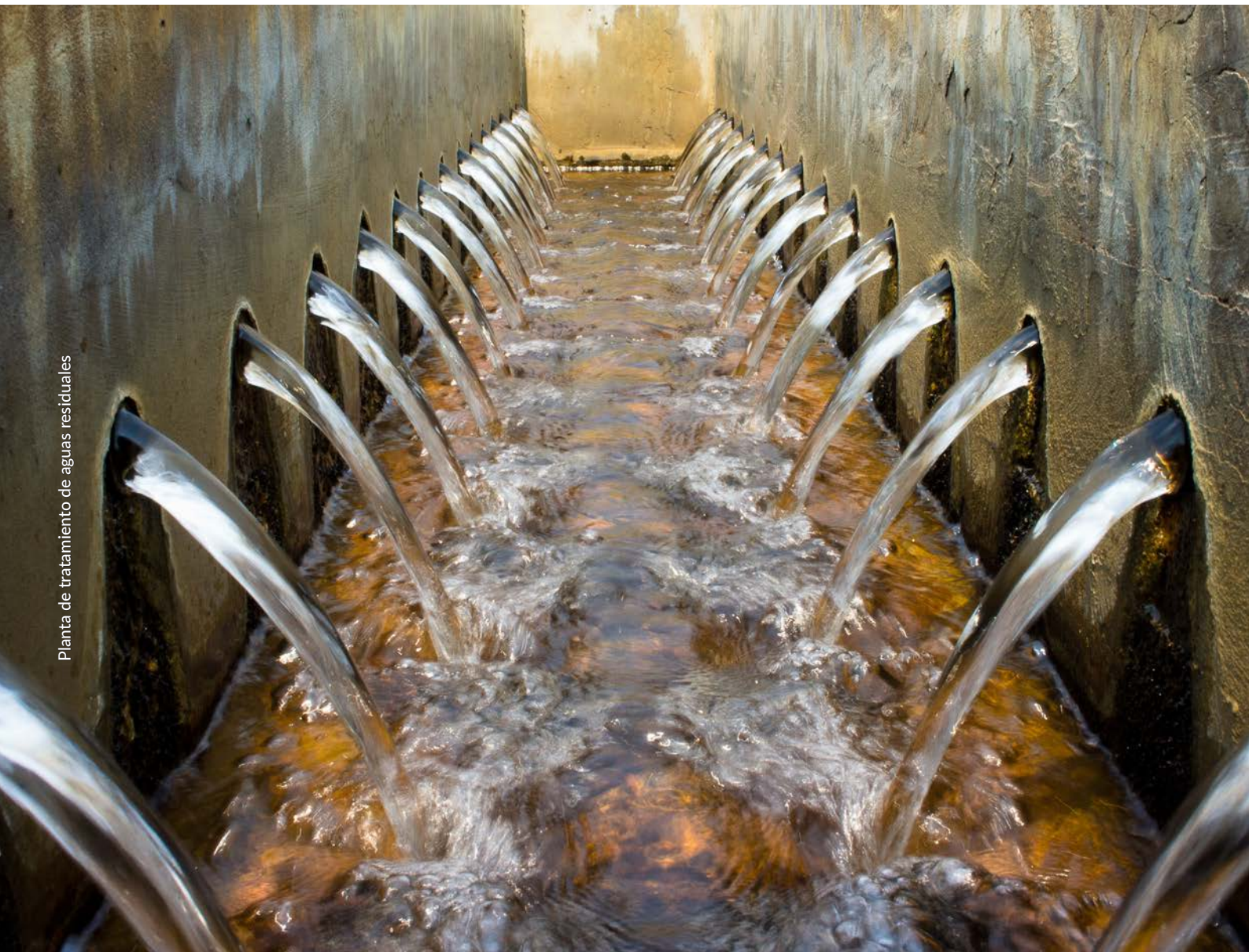
Capítulo 4 | Aspectos técnicos de las aguas residuales

CAPÍTULO 1

WWAP | Richard Connor, Angela Renata Cordeiro Ortigara, Engin Koncagül y Stefan Uhlenbrook

Con los aportes de : Birguy M. Lamizana-Diallo (PNUMA) ; Sara Marjani Zadeh (FAO) y Manzoor Qadir (UNU-INWEH)

INTRODUCCIÓN



Planta de tratamiento de aguas residuales

Este capítulo introductorio enmarca el informe mediante la presentación de los principales problemas y desafíos relacionados con la gestión de los flujos de aguas residuales en el contexto más amplio de la gestión de los recursos hídricos, y subraya la importancia de las aguas residuales como un recurso olvidado pero valioso, en particular en condiciones de escasez de agua.

Las aguas residuales son un componente crítico del ciclo del agua y deben ser tomadas en cuenta durante todo el ciclo de gestión del agua: desde la captación de agua dulce, el tratamiento, la distribución, el uso, la recolección y el tratamiento posterior hasta su reutilización y retorno final al medio ambiente, donde se repone la fuente para las subsiguientes captaciones de agua (ver Figura 1.1). Sin embargo, la mayoría de las veces, la atención que se da a la gestión del agua después de su uso ha sido un componente del ciclo de gestión del agua a menudo pasado por alto. La gestión de las aguas residuales generalmente recibe poca atención social y política en comparación con los retos del abastecimiento de agua, especialmente en el contexto de la escasez de agua. Sin embargo, ambos están intrínsecamente relacionados: actuar con negligencia en relación con las aguas residuales puede tener impactos altamente perjudiciales para la sostenibilidad del abastecimiento de agua, la salud humana, la economía y el medio ambiente.

Las aguas residuales siguen siendo un recurso infravalorado, visto con demasiada frecuencia como una carga que debe eliminarse o una molestia que debe ignorarse. Esta percepción debe cambiar para reflejar correctamente su valor: las aguas residuales son una fuente potencialmente asequible y sostenible de agua, energía, nutrientes, materia orgánica y otros subproductos útiles. Una mejor gestión de las aguas residuales, incluida la recuperación y la reutilización segura del agua y otros componentes clave, ofrece muchas oportunidades. Esto es especialmente cierto en el contexto de una economía circular[2], donde el desarrollo económico se equilibra con la protección de los recursos y la sostenibilidad ambiental, y donde una economía más limpia y más sostenible tiene un efecto positivo en la calidad del agua.

Las aguas residuales, también conocidas como «aguas servidas» o «efluentes», pueden y han sido definidas de varias maneras diferentes. Por tanto, no existe una única definición universalmente aceptada para el término. Por ejemplo, las aguas residuales han sido definidas como «agua que ha sido utilizada y contiene materiales de desecho disueltos o suspendidos» (US EPA, s.f.a.), o «agua cuya calidad ha sido negativamente afectada por actividad antropogénica» (Culp y Culp, 1971, p. 614). La expresión aguas residuales también ha sido equiparada con aguas negras, lo que implica que la definición se limita al agua usada (proveniente de fuentes domésticas, industriales o institucionales) arrastrada por la red de alcantarillado, excluyendo así la escorrentía no recolectada de los asentamientos urbanos y sistemas agrícolas. Sin embargo, como la escorrentía urbana y agrícola puede estar muy contaminada (y puede posiblemente mezclarse con otros cursos de aguas residuales), también es un elemento importante del ciclo de gestión de aguas residuales.

El presente informe adopta una definición amplia e inclusiva de aguas residuales, adaptada de Raschid-Sally y Jayakody (2008), que se utiliza principalmente en el documento «*Sick Water*» producido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) (Corcoran *et al.*, 2010) y el Informe analítico de ONU-Agua sobre la gestión de aguas residuales (ONU-Agua, 2015a):

Las aguas residuales *se consideran como una combinación de uno o más de los siguientes: efluentes domésticos que consisten en aguas negras (excremento, orina y lodos fecales) y aguas grises (aguas servidas de lavado y baño); agua de establecimientos comerciales e instituciones, incluidos hospitales; efluentes industriales, aguas pluviales y otras escorrentías urbanas; y escorrentías agrícola, hortícola y acuícola* (Raschid-Sally y Jayakody, 2008, p. 1).

Otros términos relacionados son igualmente difíciles de definir. Por ejemplo, en algunos casos los términos «reutilizado», «reciclado» y «regenerado» han sido utilizados como sinónimos, mientras que en otros casos cada uno ha sido definido específicamente, aunque de formas diferentes. Los términos utilizados en este informe reflejan las definiciones adoptadas en el contexto de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (ver Capítulo 2) y en otras diversas «normas» internacionales. Los mismos se describen en el Léxico (ver Anexo 1). Lamentablemente, estos términos no siempre distinguen entre aguas residuales tratadas, parcialmente tratadas o no tratadas, que es información esencial en muchos contextos. Por lo tanto, a lo largo de este informe se ha intentado

2 Definición proporcionada en Léxico (Anexo 1).

especificar explícitamente el «nivel» de tratamiento existente o exigido según corresponda. Sin embargo, es importante reconocer el dilema que existe con respecto a la multiplicidad de términos y reconocer que será necesario realizar esfuerzos para desarrollar un conjunto claro de definiciones a fin de asegurar la coherencia en el monitoreo y la presentación de informes en materia de aguas residuales. Esto es particularmente importante para la selección de indicadores adecuados (ver, por ejemplo, el Cuadro 1.1: Los términos «seguro» y «mejorado» en el contexto de los ODM [WWAP, 2015, p. 15)).

Históricamente, las aguas superficiales han sido utilizadas como un medio para la eliminación directa de aguas residuales y otras formas de desechos, contaminando las masas de agua aguas abajo de ciudades, pueblos y aldeas (ver Cuadro 1.1). Esta prácticaha disminuido en la mayoría de los países desarrollados desde finales del siglo XIX y principios del XX con el desarrollo de sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales (PNUMA, 2015a) y los avances en la gestión de desechos sólidos, lo que dio lugar a importantes beneficios en materia de salud pública. Sin embargo, el vertido de aguas residuales no tratadas en el medio ambiente sigue siendo una práctica

CUADRO 1.1 SISTEMAS ARQUEOLÓGICOS DE AGUAS RESIDUALES: EL CASO DE LA ANTIGUA ROMA

La gestión de aguas residuales ha sido practicada por varios milenios, y ha evolucionado y mejorado a lo largo de la historia humana. Los etruscos, por ejemplo, desarrollaron sistemas de canales para recolectar diferentes flujos de agua, y los romanos posteriormente asimilaron estas técnicas, mejorándolas y adaptándolas a sus necesidades.

Las primeras alcantarillas de la antigua Roma fueron construidas por Tarquinius Superbus alrededor del siglo VII a.C. Consistían en un sistema de canales a cielo abierto que drenaba el agua de los pantanos en el fondo de los valles de las siete colinas (tierra inhabitable en ese entonces) y la transportaba al Tíber. Estos sistemas de drenaje evolucionaron lentamente y los romanos finalmente construyeron un complejo sistema de alcantarillas cubierto por piedras, similar a los drenajes modernos. La evacuación de las letrinas se realizaba hacia el sistema de alcantarillado principal y luego, a través de un canal central, al río o arroyo más cercano.

El segmento más sofisticado del sistema de alcantarillado romano fue la Cloaca Maxima cubierta, el colector más grande entre los diversos colectores de aguas residuales. Construido primero como un canal de agua dulce abierto, alrededor de los siglos II y I a.C. se transformó en un monumental túnel subterráneo con paredes de toba y bóvedas.

Conocida como la «máxima cloaca» de Roma (traducción literal de su nombre), la Cloaca Maxima es una obra maestra de la ingeniería hidráulica y la arquitectura. Es uno de los artefactos sanitarios más impresionantes del mundo antiguo, que proporcionó el drenaje necesario para la creación del Foro Romano y se convirtió en la pieza central de una red de saneamiento que brindó servicios de higiene a las colinas alrededor de Roma. Un grabado de Piranesi muestra el colector, tal como lucía en 1778, donde las aguas residuales se vertían al río Tíber cerca del Ponte Palatino.

Sin embargo, con el tiempo el río Tíber llegó a estar sumamente contaminado, lo que causó graves problemas para los romanos que usaban su agua para beber, cocinar, lavar y otros fines. El vertido de las alcantarillas aguas abajo de la ciudad no fue suficiente para garantizar una adecuada calidad del agua aguas arriba. Además, debido a que el sistema de drenaje transportaba aguas negras y escorrentía urbana (es decir, era un «sistema de alcantarillado combinado»), durante fuertes precipitaciones subía el reflujo por las grandes aberturas a lo largo de las calles, exponiendo así a los romanos a las aguas residuales.

Para drenar el agua de lluvia de las calles hacia la Cloaca, los romanos construyeron drenajes circulares especiales en forma de grandes máscaras, que representaban a los dioses del río tragando agua (la famosa Boca de la Verdad era probablemente una de ellas). Otro rasgo distintivo del sistema de alcantarillado romano fue la tarifa establecida para el uso de las letrinas públicas o el alquiler de orinales, lo que lo convierte en uno de los primeros ejemplos históricos del principio de «usuario-pagador» para los servicios de saneamiento.

Un estudio de 1889 de la Cloaca Máxima y otras alcantarillas llevó a la restauración de ciertas partes que podían ser conectadas al sistema de alcantarillado «moderno» y ser utilizadas en un proyecto que sigue beneficiando a Roma hasta el día de hoy.

Fuentes: Ammerman (1990), Bauer (1993), Narducci (1889), Lanciani (1890) y Bianchi (2014).

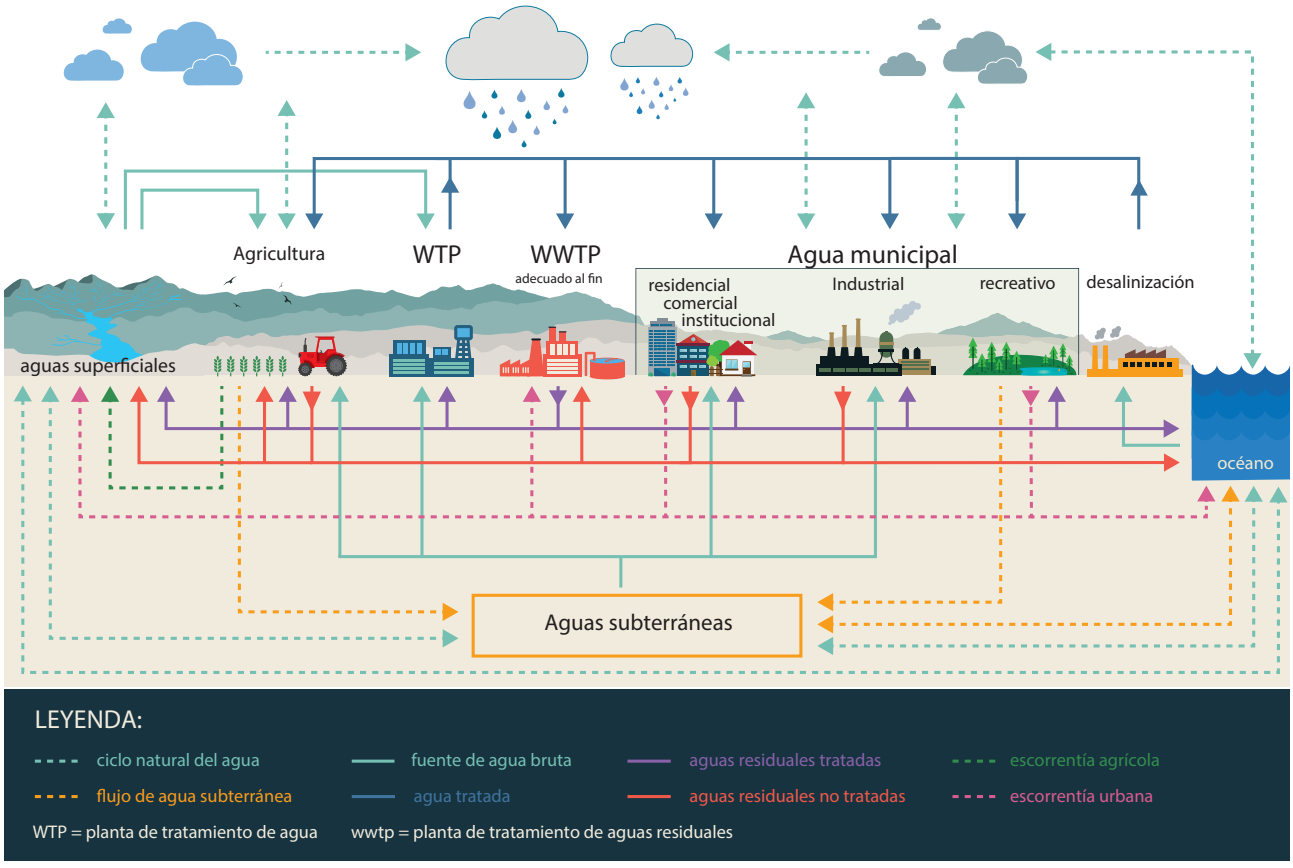
Con los aportes de Chiara Biscarini y Lucio Ubertini (UNESCO-PHI Italia).

Tabla 1.1 Ejemplos de impactos negativos de las aguas residuales no tratadas en la salud humana, el medio ambiente y las actividades productivas

Impactos en	Ejemplos de impactos
Salud	• Aumento de la carga de morbilidad debido a la reducción de la calidad del agua potable • Aumento de la carga de morbilidad debido a la reducción de la calidad del agua de baño • Aumento de la carga de morbilidad debido a alimentos nocivos (pescado contaminado, verduras y otros productos de regadío) • Aumento del riesgo de morbilidad cuando se trabaja o se juega en un área irrigada por aguas residuales
Medio ambiente	• Disminución de la biodiversidad • Degradación de los ecosistemas acuáticos (por ejemplo, eutrofización y zonas muertas) • Olores desagradables • Disminución de oportunidades recreativas • Aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero • Aumento de la temperatura del agua • Bioacumulación de toxinas
Economía	• Reducción de la productividad industrial • Reducción de la productividad agrícola • Reducción del valor de mercado de los cultivos cosechados, si se usan aguas residuales peligrosas para el riego • Reducción de las oportunidades de actividades recreativas acuáticas (reducción del número de turistas o reducción de la disposición a pagar por los servicios recreativos) • Reducción de las capturas de peces y mariscos, o reducción del valor de mercado de pescados y mariscos • Aumento de la carga financiera sobre la asistencia sanitaria • Aumento de las barreras al comercio internacional (exportaciones) • Costos más altos del tratamiento del agua (para el suministro humano y otros usos) • Reducción de precios de propiedades cerca de masas de agua contaminadas

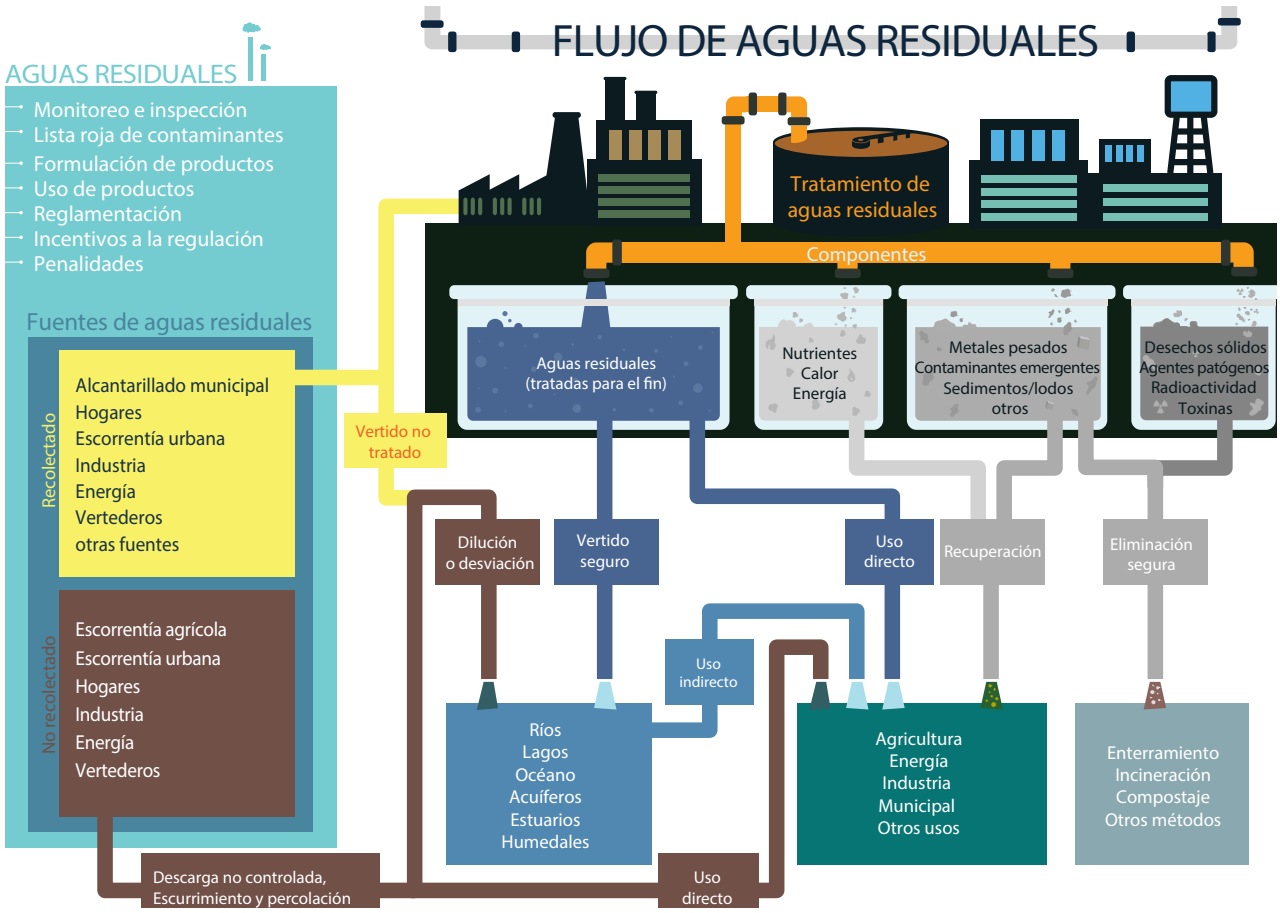
Fuente: Adaptado del PNUMA (2015b, Tabla 1, p. 15).

Figura 1.1 Las aguas residuales en el ciclo del agua



Fuente: WWAP

Figura 1.2 Flujos de aguas residuales



Fuente : WWAP.

común, especialmente en los países en desarrollo, con repercusiones directas en la salud humana (con mayores riesgos para las mujeres, principalmente), el medio ambiente y la productividad económica (ver Tabla 1.1).

Con tan escasa cantidad de aguas residuales sometidas a tratamiento y aún menos utilizadas después del tratamiento, sigue existiendo una enorme oportunidad de reutilizar el agua tratada de manera sostenible y de extraer algunos de los subproductos recuperables que contiene. Siempre que se controle de forma debida, el uso de aguas residuales no tratadas también ofrece un gran potencial para disminuir la carga sobre los suministros de agua dulce superficial y subterránea, especialmente en regiones áridas y semiáridas, y en otros lugares que experimentan escasez de agua crónica o recurrente.

1.1 Flujos de aguas residuales

Los flujos de aguas residuales son tan variados como sus fuentes y los tipos de componentes que contienen, siendo estos últimos una función de los primeros. En la Figura 1.2 se ofrece una visión general de los principales flujos de aguas residuales, desde su generación en la fuente hasta su destino final. Las aguas residuales no recolectadas (y todos sus componentes) terminan en el medio acuático. Esto también ocurre con las aguas residuales que se recogen y se eliminan sin tratamiento, cuya proporción, en algunos casos, puede ser considerable (ver Figuras 4.4 y 4.5). El tratamiento de aguas residuales puede permitir la separación del agua y otros componentes, que luego pueden ser reutilizados o eliminados.

1.1.1 El ciclo de gestión de aguas residuales

Controlar y regular los diversos flujos de aguas residuales es el fin último de la gestión de aguas residuales. El ciclo de gestión de aguas residuales puede desglosarse en cuatro fases o etapas básicas interconectadas:

a) **La prevención o reducción de la contaminación en la fuente, en términos de carga de contaminación y volumen de aguas residuales producidas.** Prohibir o controlar el uso de ciertos contaminantes para eliminar o limitar su entrada en las corrientes de aguas residuales a través de medios regulatorios, técnicos y/o de otro tipo. Esta etapa también incluye medidas para reducir los volúmenes de aguas residuales generadas (por ejemplo, gestión de la demanda y mayor eficiencia en el uso del agua).

b) **La eliminación de contaminantes de las corrientes de aguas residuales.** Sistemas operativos (incluida la infraestructura de recolección) y procesos de tratamiento que eliminan diversos componentes de las aguas residuales (es decir, contaminantes) para que puedan utilizarse o devolverse de forma segura al ciclo del agua con mínimos impactos ambientales. Existen varios tipos y niveles de tratamiento de aguas residuales cuya elección depende de la naturaleza de los contaminantes, de la carga de contaminación y del uso final anticipado del efluente.

c) **El uso de aguas residuales (es decir, reutilización del agua).** Uso seguro de aguas residuales tratadas o no tratadas bajo condiciones controladas para fines beneficiosos. Históricamente utilizadas, en primer lugar, para el riego, las tecnologías de tratamiento de aguas residuales han avanzado para permitir que las aguas residuales tratadas tengan otros usos, siempre que el nivel de tratamiento y la calidad del efluente sean "aptos para el fin".

d) **La recuperación de subproductos útiles.** Se pueden extraer varios componentes de las aguas residuales, ya sea directamente (por ejemplo, calor, nutrientes, materia orgánica y metales) o a través de procesos de transformación adicionales (por ejemplo, biogás procedente de lodos o biocombustibles de microalgas). Existe un número creciente de oportunidades potencialmente rentables para extraer materiales útiles de las aguas residuales, como nitrógeno y fósforo, que pueden transformarse en fertilizantes.

Una función adicional del ciclo de gestión de aguas residuales es mitigar cualquier impacto negativo en la salud humana, la economía y el medio ambiente.

Si se tienen en cuenta los múltiples beneficios de una mejor gestión de las aguas residuales, varios de estos procesos pueden considerarse rentables, lo que agrega valor a lo largo del ciclo de gestión de aguas residuales, al tiempo que apoya el desarrollo de sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento.

Sobre la base de la suposición de que es posible alinear los requisitos de calidad del agua con las ubicaciones de uso del agua, múltiples sistemas de uso con reutilización del agua en cascada, de mayor a menor calidad, pueden hacer que la reutilización del agua sea más asequible que proporcionar un tratamiento generalizado de agua en cada punto de captación a lo largo de una cuenca (PNUMA, 2015c).

1.2 Las aguas residuales como recurso: Aprovechar las oportunidades

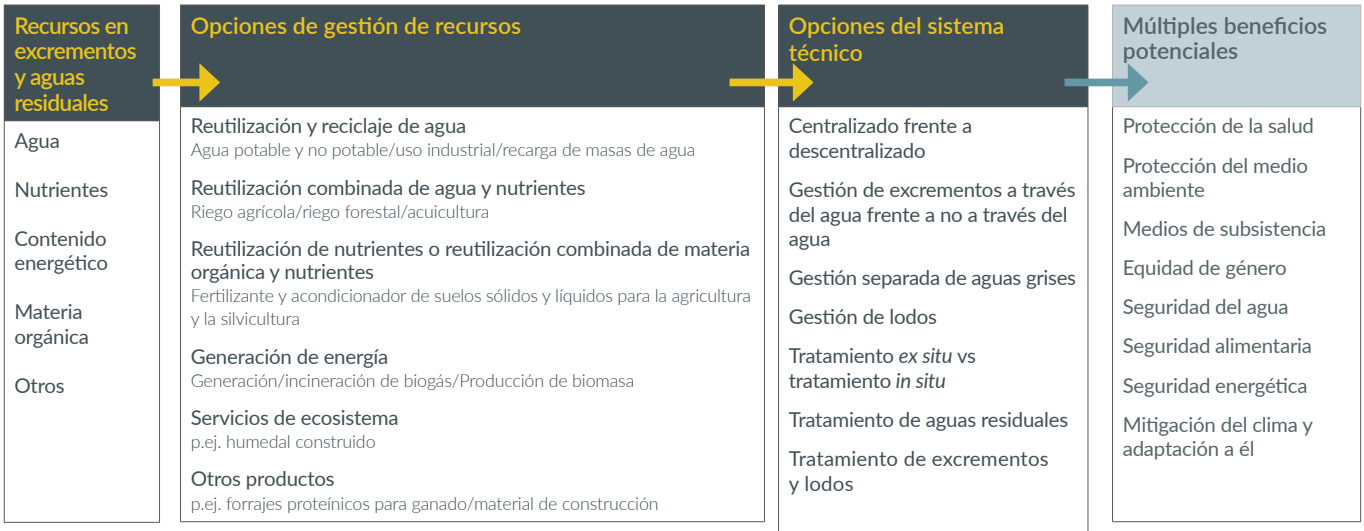
En la práctica, el objetivo es ir más allá de la simple reducción de la contaminación y buscar obtener valor de las aguas residuales, si no por otra razón, como un medio adicional para pagar la gestión de las aguas residuales y para mejorar la sostenibilidad económica del sistema.

Sin embargo, la gestión de las aguas residuales ya es una parte importante de varios ciclos de recursos diferentes y está bien posicionada para desempeñar un papel central en la economía circular. El uso adecuado de agua tratada para la agricultura y la generación de energía aumenta las oportunidades de seguridad alimentaria y energética y puede ayudar a aliviar las tensiones provocadas por el aumento de la demanda de agua. Esto tendrá repercusiones positivas en los suministros de agua dulce, la salud humana y ambiental, la generación de ingresos (medios de subsistencia) y la reducción de la pobreza. Además, la reutilización del agua puede generar nuevas oportunidades comerciales y apoyar el avance de una economía verde.

Los ecosistemas acuáticos (por ejemplo, estanques, humedales y lagos) ofrecen soluciones adicionales y de bajo costo para mejorar la gestión de las aguas residuales, siempre y cuando se gestionen de manera sostenible. Aunque el uso planificado y los mercados funcionales de aguas residuales para los servicios de ecosistemas son fenómenos relativamente recientes, la valoración del uso de aguas residuales tratadas para los servicios de ecosistemas revela beneficios ambientales y económicos favorables.

El uso informal de aguas residuales no tratadas ya está ocurriendo de forma generalizada, ya sea simplemente por conveniencia o por necesidad, y con demasiada frecuencia sin medidas apropiadas de control de la seguridad. Si bien las medidas que promueven el uso directo de ciertos tipos de aguas residuales no tratadas pueden ser relativamente fáciles de implementar, el costo de desarrollar sistemas de tratamiento para la recuperación de aguas residuales de ciertas actividades humanas específicas puede ser prohibitivo en algunos casos. También puede haber un desfasaje entre la ubicación y la elección del momento oportuno de la fuente de aguas residuales, y su uso final. Por lo tanto, los sistemas de gestión de las aguas residuales deben diseñarse en función de sus características (por ejemplo, origen, componentes y nivel de contaminantes) y del uso final previsto de la corriente de efluentes, incluidos los subproductos útiles, ya que estos indicarán cuáles son las fuentes más apropiadas y prácticas de aguas residuales.

Figura 1.3 Marco de gestión de aguas residuales desde una perspectiva de recursos



Fuente: Andersson et al. (2016, Fig. 3.1, p. 27).

Existen fuertes argumentos económicos a favor de la optimización de la eficiencia del uso del agua dulce, la gestión de aguas residuales como recurso y la eliminación (o al menos la reducción) de la contaminación en el punto de uso. La utilización de las aguas residuales en la fuente, o lo más cerca posible de ella, generalmente aumenta la rentabilidad debido a los menores costos de transporte. El hecho de que se esté realizando tan poca gestión de las aguas residuales, particularmente en los países en desarrollo, significa que hay grandes oportunidades para la reutilización del agua y para la recuperación de subproductos útiles, siempre que existan incentivos y modelos empresariales adecuados para ayudar a cubrir los costos sustanciales Estudios de mercado recientes también muestran que hay una tendencia positiva a realizar inversiones en agua y tratamiento de aguas residuales en los países en desarrollo. En todo el mundo, los gastos de capital anuales en infraestructura de agua e infraestructura de aguas residuales por parte de los servicios públicos se han estimado en USD 100.000 millones y USD 104.000 millones, respectivamente (Heymann *et al.*, 2010).

Dado que la gestión de las aguas residuales se lleva a cabo a nivel local, las respuestas y las soluciones técnicas deberán ser específicas según la ubicación (ver Capítulo 3). A este respecto, existen oportunidades para integrar aún más la gestión de aguas residuales, incluido el saneamiento y la gestión de lodos fecales (FSM, por sus siglas en inglés), con recursos hídricos y gestión de desechos sólidos. Esto requiere estructuras de gobierno que fomenten la colaboración a través de las fronteras institucionales, así como la rendición de cuentas y el cumplimiento de las regulaciones para el uso de aguas residuales y la extracción/el uso de subproductos recuperados. Por encima de todo, la gestión de las aguas residuales debe planificarse desde «aguas arriba», en la fuente, para complementar las soluciones de la etapa final «aguas abajo».

Una serie de presiones sobre los recursos hídricos están impulsando la necesidad de un mejor uso de las aguas residuales. El crecimiento de la población, la urbanización, los cambios en los patrones de consumo, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, el crecimiento económico y la industrialización tienen impacto en los recursos hídricos y las corrientes de aguas residuales, con repercusiones en la contaminación atmosférica, terrestre y del agua. Un método mejorado para la gestión de aguas residuales ayudará a aliviar el impacto de algunas de estas presiones.

Desde una perspectiva de recursos (ver Figura 1.3), la gestión sostenible de las aguas residuales requiere: i) políticas propicias que reduzcan la carga de contaminación por adelantado; ii) tecnologías personalizadas que permitan un tratamiento apto para el fin específico para optimizar la utilización de los recursos; y iii) tener en cuenta los beneficios de la recuperación de recursos. Esta perspectiva promueve la aplicación de mecanismos financieros innovadores, al tiempo que se adopta un enfoque de precaución y el principio de que quien contamina paga. Es responsabilidad de los gobiernos nacionales proporcionar el entorno normativo para estructuras tarifarias equitativas que ayuden a asegurar el funcionamiento y mantenimiento de la infraestructura existente y atraigan nuevas inversiones a lo largo del ciclo de gestión de las aguas residuales.

CAPÍTULO 2

WWAP | Angela Renata Cordeiro Ortigara y Richard Connor

Con los aportes de: Birguy M. Lamizana-Diallo (PNUMA),; Marianne Kjellén (PNUD), Carlos Carrión-Crespo y María Teresa Gutiérrez (OIT), Pay Drechsel (IWMI), Manzoor Qadir (UNU-INWEH), Kate Medlicott (OMS) y Shigenori Asai (Foro del Japón sobre el agua)

AGUAS RESIDUALES y la AGENDA DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Jardín en la azotea de la Universidad de Varsovia (Polonia)

En este capítulo se examina la gestión de las aguas residuales en el contexto de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y se presta especial atención a los esfuerzos necesarios para promover sinergias y abordar posibles conflictos entre el objetivo del agua y otros ODS.

2.1 Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible

El 25 de setiembre de 2015, 193 Estados Miembros de la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible con un conjunto de objetivos para poner fin a la pobreza, proteger el medio ambiente y garantizar la prosperidad para todos. La Agenda incluye 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (ver Figura 2.1), cada uno con metas específicas a alcanzar en un período de 15 años (AGNU, 2015a). Los ODS están interrelacionados y son indivisibles, se basan en los progresos y lecciones aprendidas de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM, 2000-2015).

Figura 2.1 Los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Fuente: ONU (s.f.a.).

Dentro del marco de los ODM, la Meta 7c hizo un llamado a los Estados Miembros a reducir a la mitad, para 2015, la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento. Si bien la meta relacionada con el agua potable se notificó como alcanzada tres años antes del plazo (UNICEF/OMS, 2012), no se logró la meta de saneamiento. De hecho, mientras que 2.100 millones han obtenido acceso a instalaciones sanitarias mejoradas desde 1990, 2.400 millones de personas aún no tienen acceso a saneamiento mejorado y casi 1.000 millones de personas en todo el mundo siguen practicando la defecación al aire libre (UNICEF/OMS 2015).

La experiencia de los ODM demostró que se necesitaba un objetivo más amplio, más detallado y adaptado al contexto para el agua, que fuera más allá de las cuestiones de abastecimiento y saneamiento, que el ODS 6 de la Agenda 2030 ha abordado haciendo un llamado a mejorar la gestión de los recursos hídricos de manera amplia, inclusiva e integrada. En este sentido, hace especial hincapié en: el agua potable, saneamiento e higiene; la calidad del agua y aguas residuales; la eficiencia en el uso del agua y escasez; la gestión integrada del agua; la protección de los ecosistemas; la cooperación internacional y creación de capacidades, y la participación de las partes interesadas (ver Tabla 2.1).

Los objetivos y las metas serán monitoreados y revisados mediante un conjunto de indicadores mundiales, pero corresponde a cada país definir sus objetivos nacionales tanto en el tratamiento de aguas residuales como en la calidad del agua (AGNU, 2015a).

La medición del progreso en la Agenda 2030 dependerá de cuán específicos, medibles, alcanzables, pertinentes y limitados en el tiempo (SMART, por sus siglas en inglés) sean los indicadores para esta tarea. Se estableció el Grupo Interinstitucional y de Expertos sobre los Indicadores de los ODS para elaborar un marco de indicadores que permitan cuantificar el progreso para el seguimiento de las metas y objetivos de la Agenda 2030 a nivel mundial y apoyar su aplicación. Es probable que los Estados Miembros también desarrollen sus propios indicadores a nivel nacional y regional para complementar los indicadores propuestos a nivel mundial a ser aprobados por la Asamblea General de las Naciones Unidas.

Se han propuesto dos indicadores globales para monitorear el progreso de la meta 6.3 de los ODS, que es la más estrechamente vinculada a la gestión de aguas residuales (ONU-AGUA, 2016a):

6.3.1 Proporción de aguas residuales tratadas de forma segura: Las aguas residuales generadas por los hogares (lodos residuales y fecales) y las actividades económicas (p. ej., las industrias) tratadas de forma segura en proporción al total de aguas residuales generadas por los hogares y las actividades económicas.

6.3.2 Proporción de las masas de agua con buena calidad del agua ambiental: Proporción de masas de agua (área) en un país con buena calidad de agua ambiental en comparación con todas las masas de agua en el país. «Bueno» indica una calidad de agua ambiental que no daña las funciones del ecosistema ni la salud humana de acuerdo con los indicadores centrales de la calidad del agua ambiental.

El mejoramiento del tratamiento de aguas residuales y el aumento de la reutilización del agua, como se exhorta en la Meta 6.3 de los ODS, apoyarán la transición a una economía circular.

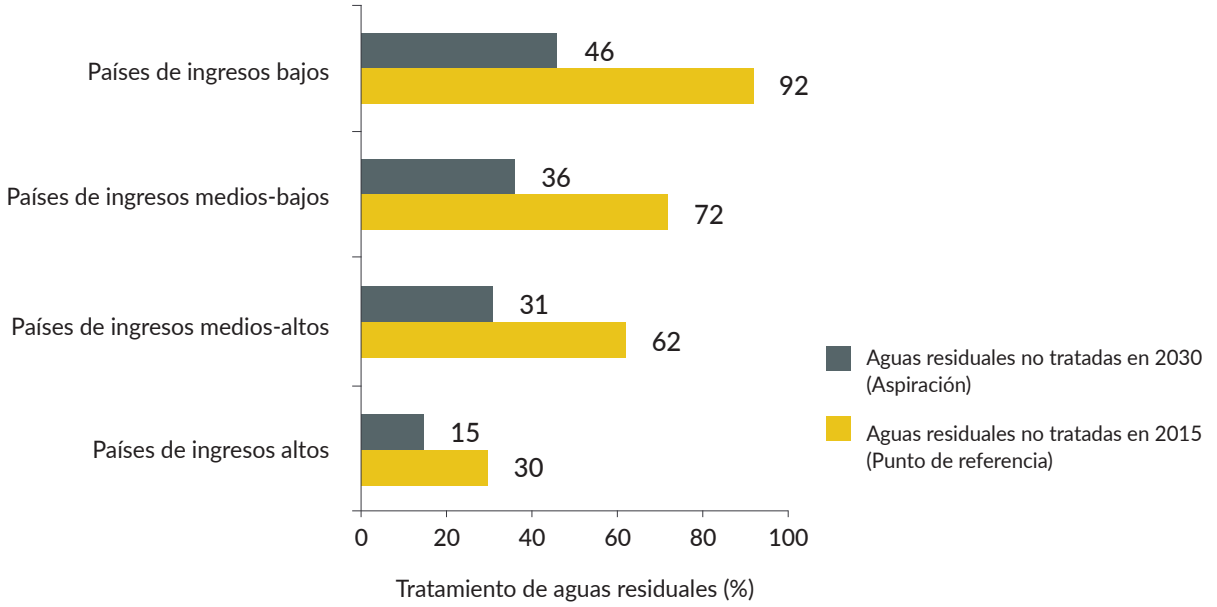
Tabla 2.1 Metas e indicadores del ODS 6

ODS 6 Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos	
META	INDICADORES
6.1 Para 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable, a un precio asequible para todos	6.1.1 Proporción de la población que utiliza servicios de agua potable administrados de forma segura
6.2 Para 2030, lograr el acceso equitativo a servicios de saneamiento e higiene adecuados para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones vulnerable	6.2.1 Proporción de la población que utiliza servicios de saneamiento administrados de forma segura que incluyan instalaciones para lavarse las manos con agua y jabón
6.3 Para 2030, mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, la reducción a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y un aumento sustancial del reciclado y la reutilización en condiciones de seguridad a nivel mundial	6.3.1 Proporción de aguas residuales tratadas de forma segura 6.3.2 Proporción de las masas de agua con buena calidad de agua ambiental
6.4 Para 2030, aumentar sustancialmente la utilización eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir sustancialmente el número de personas que sufren de escasez de agua	6.4.1 Cambio con el tiempo en la eficiencia en el consumo de agua 6.4.2 Nivel de estrés hídrico: extracción de agua dulce en proporción a los recursos de agua dulce disponibles
6.5 Para 2030, poner en práctica la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda	6.5.1 Grado de aplicación de la gestión integrada de los recursos hídricos (0-100) 6.5.2 Proporción de zonas de cuencas transfronterizas para las que existe un acuerdo operacional de cooperación en materia de recursos hídricos
6.6 Para 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos	6.6.1 Cambio con el tiempo en la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua
6.a Para 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, incluidos el acopio y almacenamiento de agua, la desalinización, el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos, el tratamiento de aguas residuales y las tecnologías de reciclaje y reutilización	6.a.1 Cuantía de la asistencia oficial para el desarrollo relacionada con los recursos hídricos y el saneamiento que forma parte de un plan de gastos coordinado por el gobierno
6.b Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento	6.b.1 Proporción de unidades administrativas locales con políticas y procedimientos establecidos y operativos para la participación de las comunidades locales en la gestión de los recursos hídricos y el saneamiento

**Fuente de indicadores: ONU-Agua (2016a).*

Fuente: AGNU (2015a).

Figura 2.2 Porcentaje de aguas residuales no tratadas en 2015 en países con niveles de ingresos y aspiraciones diferentes para 2030 (50% de reducción respecto al punto de referencia de 2015)



Fuente: Basado en datos de Sato et al. *(2013).*

Uno de los retos para el monitoreo de los indicadores de la Meta 6.3 de los ODS es la falta de datos relativos a prácticamente todos los aspectos de la calidad del agua y la gestión de las aguas residuales, particularmente en los países en desarrollo. Los datos fiables generan beneficios sociales, económicos y ambientales tanto en el sector público como en el privado, ya que pueden respaldar la promoción, estimular el compromiso político y las inversiones e informar sobre la toma de decisiones a todos los niveles (ONU-Agua, 2016a).

Para alcanzar la Meta 6.3 de los ODS se requerirán inversiones significativas en nuevas infraestructuras (gris y verde, en combinaciones apropiadas a nivel local) y tecnologías apropiadas para incrementar el tratamiento y uso de aguas residuales. También se necesitan inversiones para mejorar la infraestructura actual, operar y mantener las infraestructuras existentes y nuevas, desarrollar la capacidad en la gestión de los recursos hídricos y monitorear y controlar la calidad del agua y las aguas residuales (ONU-Agua, 2015a). Debido a las diferencias en los niveles actuales de tratamiento de aguas residuales en general, los esfuerzos requeridos para alcanzar la Meta 6.3 de los ODS supondrán una mayor carga financiera para los países de ingresos bajos y medios-bajos (ver Figura 2.2), poniéndolos en una situación de desventaja económica en comparación con los países de ingresos altos y medios-altos (Sato *et al.*, 2013).

2.2 Posibles sinergias y conflictos

Para lograr la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible se requerirán esfuerzos concertados para gestionar los conflictos y sinergias potenciales entre el ODS 6 y otros ODS. Un análisis cuidadoso de los objetivos y las metas puede resaltar condiciones donde el logro de un objetivo puede favorecer el logro de otro. En cambio, las situaciones en las que el logro de un objetivo puede dificultar el logro de otro requerirán que se identifiquen concesiones aceptables (ONU-Agua, 2016b).

2.2.1 Sinergias potenciales

El ODS 6 no se puede lograr completamente si cada meta se aborda de forma independiente. Por ejemplo, «se debe armonizar un mayor acceso a condiciones de saneamiento (6.2) con un aumento del tratamiento de aguas residuales (6.3) para apoyar la buena calidad del agua ambiental (6.3) y garantizar ecosistemas saludables relacionados con el agua (6.6). De manera similar, la buena calidad del agua ambiental (6.3) facilita en gran medida el suministro de agua potable segura (6.1), que debe ser proporcionada de manera sostenible (6.4), sin consecuencias negativas para los ecosistemas relacionados con el agua (6.6). El aumento del reciclado y la reutilización sin riesgos (6.3) y la eficiencia en el uso del agua (6.4) aumentan el agua disponible para beber (6.1) y otros usos (6.4) y pueden reducir los impactos en los ecosistemas relacionados con el agua (6.6). El abastecimiento y uso sostenibles de agua (6.4), la buena calidad del agua ambiental (6.3) y los ecosistemas saludables relacionados con el agua (6.6) son interdependientes» (ONU-Agua, 2016b).

El logro de la meta 6.3 de los ODS es también una condición previa para el logro de otros ODS y el objetivo general de erradicar la pobreza (ver Cuadro 2.1). La recolección y el tratamiento adecuados de las aguas residuales ayudan a proteger la calidad del agua en las cuencas fluviales y los bienes y servicios que estas proporcionan, al tiempo que reducen considerablemente

CUADRO 2.1 POBREZA, GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE – MÚLTIPLES CONEXIONES

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (AGNU, 2015a) reconoce que la erradicación de la pobreza es el mayor de todos los desafíos mundiales. La pobreza es multidimensional e incluye privaciones como mala salud y alimentación, falta de acceso a los servicios, escolaridad deficiente y el trauma psicológico de tener que lidiar con la descortesía y la humillación (Narayan *et al*., 2000; PNUD, 2010). Las poblaciones que viven en las regiones más pobres del mundo son las más afectadas por problemas de salud relacionados con el medio ambiente (OMS, 2016a).

La prevalencia de la enfermedad diarreica está vinculada a problemas relacionados con el agua, el saneamiento y la higiene (Prüss-Üstün *et al*., 2014). El acceso a mejores fuentes de agua y al saneamiento es considerablemente menor entre las comunidades más pobres de los países de bajos ingresos (UNICEF/OMS, 2015; UNICEF/OMS, 2014).

La carga sanitaria de un saneamiento deficiente y una mala gestión de las aguas residuales afecta principalmente a los niños: entre los niños menores de 5 años se podrían haber evitado 361.000 muertes en 2012 mediante la reducción de los riesgos relacionados con la inadecuada higiene de manos, el saneamiento y el agua (Prüss-Üstün *et al*., 2014), mientras que la recolección diaria de agua es realizada principalmente por niñas y mujeres (UNICEF/OMS, 2011). Las tareas domésticas son más onerosas en condiciones de pobreza, lo que implica que el mantenimiento de la salud de la familia recae desproporcionadamente sobre las mujeres.

Los miembros que viven en condiciones de pobreza y más vulnerables de las sociedad son quienes más ganan con la mejora del saneamiento y la gestión de las aguas residuales. Por lo tanto, las inversiones en saneamiento rural y urbano, así como en la recolección y el tratamiento de aguas residuales pueden tener altos rendimientos en términos de desarrollo social y económico. El retorno promedio de las inversiones en saneamiento es de USD 5.5 por cada USD 1 invertido (Hutton y Haller, 2004). Algunas soluciones al problema de las aguas residuales, como el reciclaje de nutrientes o la extracción de energía, también pueden generar nuevas oportunidades de generación de ingresos y ampliar la base de recursos disponibles para los hogares (Winblad y Simpson-Hébert, 2004). Un ejemplo son los inodoros de compostaje, que proporcionan una solución de bajo costo para mejorar la productividad agrícola junto con el aumento de la nutrición y la reducción de los impactos ambientales y de salud de la defecación al aire libre (Kvarnström *et al.*, 2014).

Con aportes de Marianne Kjellén (PNUD) y Johanna Sjödin (Órgano de la gobernabilidad del agua del PNUD en SIWI).

la cantidad de personas expuestas a las enfermedades relacionadas con el agua (Metas 3.3 y 3.9 de los ODS), proporcionan beneficios sanitarios y económicos relacionados y contribuyen al alivio de la pobreza (Metas 1.1 y 1.2 de los ODS).

Las enfermedades relacionadas con el agua y la malnutrición impiden que las personas trabajen y asistan a la escuela, lo que acentúa el ciclo de la pobreza (PNUD, 2006). La inversión en la gestión del agua y de las aguas residuales proporcionaría retornos particularmente altos al romperse el vínculo entre el agua no apta para el consumo y las enfermedades que causan diarrea, particularmente en los países en desarrollo. La diarrea prolongada intensifica la mala salud y la malnutrición en los niños y, a menudo, conduce a un retraso del crecimiento debido a la mala absorción de nutrientes y la pérdida de apetito (UNICEF/OMS, 2009). Por lo tanto, la mejora de las condiciones sanitarias y la gestión de las aguas residuales contribuye al éxito de las estrategias de mejora de la nutrición (Meta 2.2 de los ODS), reduce las muertes evitables de niños (Meta 3.1 de los ODS) y aumenta la asistencia de los niños a la escuela y su desempeño (Meta 4.7 de los ODS).

Reducir la carga de la enfermedad también reduce el tiempo dedicado a cuidar de los miembros de la familia enfermos, deja más tiempo para participar en

CUADRO 2.2 FUNCIONES ASIGNADAS A CADA GÉNERO Y LA INTRODUCCIÓN DEL USO SEGURO DE AGUAS RESIDUALES

Cuando el tratamiento de las aguas residuales es insuficiente y el riego con aguas residuales es común, pueden ponerse en práctica medidas de seguridad en ciertos puntos críticos de control a lo largo de la cadena alimentaria (de la «granja a la mesa»), como lo describe la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006a) y lo ilustran Amoah et al. (2011), entre otros. Debe tenerse cuidado con las funciones asignadas a cada género, que pueden cambiar desde el nivel de granja hasta el comercio mayorista y al minorista (Drechsel *et al.,* 2013). Cuando la conciencia del riesgo es baja y no es fácil de desarrollar, es importante determinar la mejor manera para motivar y fomentar el cambio de comportamiento y alentar la adopción de medidas de mitigación del riesgo sensibles al género (Drechsel y Karg, 2013). En muchas culturas, las mujeres no solo tienen la responsabilidad principal de la higiene y la salud, sino que también se encargan del uso de aguas grises o aguas residuales como se ha visto, por ejemplo, en Jordania (Boufaroua *et al*., 2013), Túnez (Mahjoub, 2013) y Vietnam (Knudsen et al., 2008). Este vínculo brinda amplias posibilidades para que los métodos de formación innovadores mejoren la aceptación social del uso seguro de aguas residuales (Boufaroua *et al.*, 2013).

Con aportes de Carlos Carrión-Crespo y María Teresa Gutiérrez (OIT).

la economía formal (ODS 8) y en la toma de decisiones sociales y políticas. Las mujeres, que suelen ser las principales cuidadoras y responsables del suministro de agua dentro de los hogares, también se beneficiarían de mejores condiciones de saneamiento y gestión de aguas residuales, ya que frecuentemente son responsables de la gestión y el uso de aguas grises o aguas residuales en la agricultura (ver Cuadro 2.2). Las políticas de gestión del agua inclusivas y que tienen en cuenta las cuestiones de género también apoyan el logro de la igualdad entre los géneros (ODS 5).

La mejora del tratamiento de aguas residuales y el aumento de la reutilización del agua, como se exhorta en la Meta 6.3 de los ODS, apoyarán la transición a una economía circular al ayudar a reducir las extracciones de agua y la pérdida de recursos en sistemas de producción y actividades económicas. Los intercambios de energía, agua y flujos de materiales en los subproductos de las aguas residuales pueden permitir a las empresas mejorar su desempeño ambiental y su capacidad competitiva. Estos intercambios suelen ser mutuamente beneficiosos ya que favorecen una reducción en los costos de producción, consumo de agua y/o costos de tratamiento de aguas residuales (Metas 8.2 y 8.4 de los ODS).

La creación de redes de infraestructura de aguas residuales resilientes al clima puede disminuir las pérdidas económicas directas causadas por los desastres (Meta 11.5 de los ODS), al tiempo que aumenta la capacidad de los asentamientos humanos para recuperarse de desastres naturales como inundaciones y sequías (Meta 13.1 de los ODS). La gestión mejorada de las aguas residuales también tiene un gran potencial para reducir las emisiones de GEI (Meta 13.2 de los ODS). Las aguas residuales pueden considerarse una fuente confiable de agua en la planificación y el desarrollo de nuevos asentamientos y proyectos de recursos hídricos (Meta 11.6 de los ODS).

El logro de la Meta 6.3 de los ODS también contribuye a la reducción de la contaminación de origen terrestre en los ecosistemas terrestres y marinos (ODS 14 y 15).

2.2.2 Conflictos potenciales

En los casos en que las interrelaciones entre la Meta 6.3 de los ODS y los demás ODS no sean mutuamente beneficiosas, será importante equilibrar las necesidades en conflicto y evaluar las concesiones.

Poner fin al hambre, aumentar la suficiencia alimentaria (Meta 2.1 de los ODS) y duplicar la productividad y los ingresos de los pequeños agricultores (Meta 2.3 de los ODS) son esenciales para apoyar la erradicación de la pobreza (ODS 1). Sin embargo, el logro del ODS 2 también implica un aumento de la productividad agrícola, lo que puede conducir a un aumento de la demanda de agua y el uso de herbicidas, pesticidas y fertilizantes, con la consecuente disminución de la calidad y cantidad del agua si los recursos no se gestionan adecuadamente. Debe promoverse la utilización de las mejores prácticas agrícolas paralelamente a la reducción de los desperdicios de alimentos (ver Cuadro 2.3).

El mejoramiento de la cobertura de agua potable en los asentamientos formales e informales (ODS 11) es un asunto de fundamental importancia para el cumplimiento del derecho humano al agua y al saneamiento. Esto debe ir junto con la expansión de la recolección y el tratamiento de aguas residuales para evitar impactos en la calidad del agua, la salud humana y el medio ambiente.

El aumento del crecimiento económico (ODS 8) y el desarrollo de pequeñas industrias (Meta 9.3 de los ODS) también presentan potenciales conflictos con el logro de la Meta 6.3 de los ODS en lo que respecta a la contaminación y el vertido de aguas residuales no tratadas. El desarrollo económico o la mejora del «acceso de las pequeñas empresas industriales en los países en desarrollo a los servicios financieros» deben realizarse de conformidad con las reglamentaciones de salud y seguridad relativas al medio ambiente. La creación de un entorno propicio en el que las pequeñas industrias estén obligadas a respetar las reglamentaciones relativas al medio ambiente para acceder a los servicios financieros puede ser un incentivo positivo.

Por último, la reducción de la desigualdad en y entre los países (Meta 10.1 de los ODS) significa asegurar que los servicios adecuados de gestión de aguas residuales están disponibles para todos. Esta es una de las claves para lograr el desarrollo sostenible y garantizar que haya suficiente agua de buena calidad para las generaciones futuras.

CUADRO 2.3 «PÉRDIDA» DE AGUA POR DESPERDICIOS ALIMENTARIOS

La agricultura es el mayor consumidor mundial de agua. Diversos tipos de alimentos, como las verduras, tienen un contenido de agua muy alto (en algunos casos, muy por encima del 90%). En Europa, por ejemplo, la fabricación de productos alimenticios consume, en promedio, unos 5 m^3 de agua por persona por día (Förster, 2014). Al mismo tiempo, con 1.300 millones de toneladas de alimentos desperdiciados anualmente (WWF, 2015), se «pierden» 250 km^3 de agua al año debido a los desperdicios de alimentos en todo el mundo (FAO, 2013a). Los desperdicios de alimentos pueden definirse como el descarte de alimentos que eran aptos para el consumo humano pero se echaron a perder, se vencieron o no se quisieron por algún motivo (FAO, 2015). También pueden incluirse cultivos que no se cosechan (por ejemplo, debido a los bajos precios del mercado). A nivel mundial, la carne y los cereales se destacan claramente en la proporción mundial de desperdicios de alimentos con un 21,7% y 13,4%, respectivamente (Lipinski *et al.*, 2013).

Con aportes de la Universidad de Kassel.

CAPÍTULO 3

PNUD | Marianne Kjellén y Johanna Sjödin

Centro sobre la Legislación, las Políticas y las Ciencias relativas al Agua (con el auspicio de la UNESCO), Universidad de Dundee | Sarah Hendry

Con los aportes de: Erik Brockwell y Anna Forslund (SIWI), Florian Thevenon y Lenka Kruckova (WaterLex) y Nataliya Nikiforova (CEPE)

GOBERNABILIDAD

Reunión regional sobre desarrollo sostenible en Uganda

En este capítulo se describen los marcos de gobernabilidad a través de los cuales se gestiona el agua residual, incluidos los distintos actores y sus funciones, los instrumentos legales y regulatorios, las dificultades económicas y oportunidades de financiamiento y los aspectos sociales y culturales.

La gestión de aguas residuales presenta numerosos desafíos. En los casos en que las aguas residuales se vierten sin tratamiento, las personas afectadas pueden estar geográfica o temporalmente lejos del contaminador. Por esta y otras razones, la sociedad debe actuar de forma colectiva para promover la salud humana y proteger los recursos hídricos de la contaminación. Los desafíos relacionados con la gobernabilidad incluyen cuestiones jurídicas, institucionales, financieras, económicas y culturales.

En este capítulo se profundiza en los procesos de formulación de políticas, regulación y financiamiento, así como en los desafíos socioculturales relacionados con el cumplimiento y la aplicación de políticas.

3.1 Actores y funciones

Para lograr los objetivos de mejora de la calidad del agua y la protección de los recursos hídricos, los individuos y las organizaciones deben cumplir y actuar en el interés colectivo. Las intenciones políticas, o los objetivos de gestión de aguas residuales, se traducen en leyes y reglamentos, con responsabilidades asignadas a diferentes actores. Los resultados de las políticas dependen en gran medida de la forma en que se aplican esas responsabilidades, en todos los niveles, teniendo en cuenta los costos. En la Tabla 3.1 se ofrece una visión general de las funciones de gobernabilidad relacionadas con la gestión de aguas residuales. Desde la formulación de políticas y la legislación hasta la investigación y el desarrollo de capacidades, se describen funciones típicas primarias y secundarias y las colaboraciones cruzadas necesarias para lograr una aplicación coordinada de las políticas. La mayoría de las funciones están vinculadas a las soluciones más centralizadas para la gestión de aguas residuales, mientras el saneamiento y el drenaje alternativo y local pueden involucrar a muchos actores adicionales. Además, en las zonas remotas o de bajos ingresos puede haber una falta de actores responsables o capaces para gestionar el desarrollo y la aplicación de políticas, lo cual exige apoyo y atención especiales por parte de los encargados de formular políticas. En todos lados, la regulación debe estar bien diseñada y los recursos deben estar disponibles para su cumplimiento. Superar las dificultades prácticas de la aplicación de reglamentos sobre la calidad del agua puede suponer un reto particularmente complejo para las organizaciones del sector público, incluso en los países altamente desarrollados.

La coordinación de los actores en todos los sectores es un desafío que va mucho más allá de la gestión de aguas residuales. Existen diversos métodos integrados e intersectoriales que apuntan a la gestión del agua y la tierra (dinámicas aguas arriba-aguas abajo, recursos hídricos urbanos, etc.) que ayudan a superar el pensamiento «aislado», sin los cuales los actores pueden perseguir intereses estrechos o conflictivos (*cf.* DAES, 2004; GWP, 2013). La coordinación de sistemas con múltiples tecnologías o cobertura desigual es un desafío particular que puede resolverse ya sea asegurando que las conexiones de alcantarillado se extiendan a todas partes en un área de servicio o integrando las soluciones reales en el suelo (por ejemplo, MLF por vehículos o letrinas gestionadas por los hogares en un sistema de funcionamiento coherente).

Las asociaciones entre los sectores público y privado en la prestación de servicios de aguas residuales impulsaron una ola de revisión de la reglamentación, especialmente durante los años noventa. En muchos países se instituyeron nuevas formas de autorización y supervisión de las operaciones con el fin de contratar empresas privadas locales o internacionales para prestar los servicios antes realizados por los departamentos del gobierno o paraestatales (Finger y Allouche, 2002). Cada vez se reconoce más el hecho de que es necesario contar con una mejor fiscalización reglamentaria de los proveedores de servicios, tanto públicos como privados (Kjellén, 2006; Gerlach y Franceys, 2010).

Hay importantes diferencias en la escala de las operaciones. La infraestructura a gran escala, que predomina en los países de altos ingresos, se beneficia de economías de escala, pero exige fuertes capacidades técnicas y de gestión centralizadas. En los países de bajos ingresos, los sistemas centralizados a gran escala suelen omitir

Figura 3.1 Niveles institucionales de formulación y ejecución de políticas

Fuente: Desarrollado por los autores; diseño de Johanna Sjödin.

los asentamientos informales o de bajos ingresos. La descentralización puede servir como estrategia para superar la cobertura desigual de servicios de los sistemas centralizados, pero también se produce como respuesta de la comunidad ante la cobertura incompleta del servicio (ver Capítulo 15).

Aproximadamente dos tercios de la población mundial tienen acceso a servicios de saneamiento mejorados (UNICEF/ OMS, 2015). Las conexiones de alcantarillado a los grandes sistemas centralizados son más comunes en los países de ingresos altos, en las zonas urbanas en China y en los países de ingresos medios de América Latina (Kjellén *et al.*, 2012). La mayoría de las personas depende de algún tipo de servicio descentralizado o autogestionado, a veces con apoyo de las ONG, pero comúnmente sin ninguna ayuda de las autoridades centrales (ver Figura 5.1). El ODS 6 (ver Capítulo 2) establece un objetivo de «acceso equitativo a servicios de saneamiento e higiene adecuados para todos» para 2030 (AGNU, 2015a) y reconoce que es poco probable que los sistemas hídricos lleguen a ser universales.

La planificación, la construcción, el financiamiento y la operación de sistemas alternativos deben involucrar especialmente a los propios habitantes, lo cual ayuda al desarrollo del liderazgo local, el emprendimiento y la ingeniería práctica. Los dueños de las propiedades pueden tomar medidas y podrían tener responsabilidades con respecto a la reducción de los volúmenes de escorrentía y los impactos, pero problemas como el drenaje no son fáciles de manejar a nivel local. Las autoridades municipales o los departamentos de obras públicas suelen ser los principales responsables de la escorrentía urbana. Sin embargo, para evitar la contaminación, la basura y el vertido de residuos, es fundamental la colaboración de todos los residentes y las empresas, y esto requiere una combinación de campañas de promoción, incentivos y regulación. El proyecto piloto de Orangi en Karachi, Pakistán, es un ejemplo clásico en el que la comunidad, con la ayuda de filántropos, logró construir un sistema de alcantarillado de condominios asequible pagado por la comunidad local (Hasan, 1988).

3.2 Políticas, legislación y normativa

Los marcos de políticas mundiales para las aguas residuales incluyen la Agenda 2030 (AGNU, 2015a), la cual parte de otros instrumentos de política mundial para el agua, el medio ambiente y el desarrollo, así como principios ambientales como los principios de prevención y precaución y el principio de quien contamina paga (CNUMAD, 1992). El reconocimiento mundial del derecho humano al agua y al saneamiento (AGNU, 2010, AGNU, 2015b) también tiene repercusiones en la política de aguas residuales, al instar a los Estados Miembros a adoptar políticas para aumentar el acceso al saneamiento y asegurar que los recursos hídricos estén protegidos contra la contaminación (AGNU, 2014).

Tabla 3.1 Actores, papeles y funciones para gestionar las aguas residuales

Actores / Funciones	Legislador/político/ responsable de la formulación de políticas	Reguladores (medio ambiente, salud, económicos)	Propietario del sistema (ciudad, ministerio, organismo de cuenca)
Elaboración de leyes	Definir y adoptar leyes a través del proceso consultivo inclusivo	Compartir expectativas en cuanto al papel de la gobernabilidad	Compartir expectativas en cuanto al papel de la gobernabilidad-
Formulación de políticas	Definir y adoptar políticas para aplicar la ley a través de procesos consultivos inclusivos	Compartir información sobre la situación actual y las preferencias de políticas	Compartir información sobre la situación actual y las preferencias de políticas
Planificación, coordinación y presupuestación	Definir modalidades para planificación, coordinación y presupuestación	Compartir preferencias a través de participación constructiva	Dirigir consultas, definir normas para la prestación de servicios; asignar y desembolsar presupuesto
Financiamiento de la gestión de aguas residuales	Decidir sobre subvenciones y modalidades de financiamiento	Regular tarifas y calidad del servicio	Planificación financiera estratégica, decisión sobre tarifas
Desarrollo de infraestructura de aguas residuales y operación de servicios e instalaciones de aguas residuales	Normas/reglamentos guía para la construcción y operación de infraestructura	Regular tarifas y calidad del servicio	Coordinar la planificación espacial, las decisiones de emplazamiento/ zonificación; preparar llamados a licitación dependiendo del tipo deservicios/bienes
Reglamentación - monitoreo y aplicación	Definir marco regulatorio	Aplicar marco regulatorio (incluida la recolección de información de los proveedores de servicios y los titulares de permisos, garantizando el cumplimiento, inspecciones, etc.)	Denunciar acciones sospechosas
Mecanismos de reparación (incluido el Poder Judicial)	Definir las autoridades competentes para la reparación	Responsable o parte en una queja	Responsable o parte en una queja
Cumplimiento y prevención de la contaminación	Desarrollar incentivos para prevención y medidas disuasivas contra la contaminación	Aplicar incentivos (incluidos monitoreo y promoción para prevención de contaminación y eficiencia del uso del agua)	Apoyar la aplicación
Promoción y comunicaciones	Definir objetivos de política y defender el espacio para la comunicación	Promoción de la prevención de la contaminación y la eficiencia del uso del agua	Sensibilización e información al público; solicitar comportamientos conformes de la industria y los hogares
Creación de capacidades	Definir objetivos de política para el sector; crear capacidades	Monitorear las capacidades e incentivar el desarrollo	Apoyar el desarrollo
Investigación e innovación	Destacar las necesidades de investigación, asegurar el apoyo a la investigación y desarrollo (I+D)	Destacar las necesidades de investigación; incentivar I+D	Destacar las necesidades de investigación; guiar y participar en I+D

* El sombreado se refiere al nivel típico de responsabilidad: más oscuro = importante, más claro = menos involucrado

Fuente: Desarrollado por autores y contribuyentes.

Operador/proveedor de servicios	Academia/institutos de políticas/grupos de reflexión	Productor/consumidor (agricultura, industria, hogares)	Sociedad civil, ONG
Compartir expectativas en cuanto al papel de la gobernabilidad	Hacer aportaciones para la elaboración de leyes	Compartir expectativas en cuanto al papel de la gobernabilidad a través de la participación	Compartir opiniones de la sociedad civil sobre los procesos de gobernabilidad para aportar información para la elaboración de leyes
Compartir información sobre la situación actual y las preferencias de políticas	Compartir datos basados en evidencia para el diseño de políticas	Compartir información sobre la situación actual y las preferencias de políticas	Compartir información sobre la situación actual y las preferencias de políticas
Compartir preferencias a través de participación constructiva	Compartir preferencias a través de participación constructiva	Compartir preferencias a través de participación constructiva	Compartir preferencias a través de participación constructiva
Reunir información sobre las necesidades de inversión y los costos de suministro	Puede proporcionar información y asesoramiento	Pagar tarifas y proporcionar información sobre la voluntad y la capacidad de pago	Monitorear la responsabilidad financiera; sensibilizar sobre el costo de los servicios
Construcción; mantenimiento; operación; facturación; recaudación de recolección, relaciones con los clientes	Puede monitorear procesos y actuar como testigo social en pactos de integridad (herramienta de prevención de corrupción)	Debe estar involucrado en asuntos como decisiones de ubicación/zonificación, aceptabilidad, etc.	Puede monitorear procesos y actuar como testigo social en pactos de integridad (herramienta de prevención de corrupción)
Proporcionar información a solicitud	Realizar estudios a largo plazo y analizar procesos	Industria para proporcionar información a solicitud	Denunciar acciones sospechosas a las fuerzas del orden
Responsable o parte en una queja	Experto (*amicus curiae*)	Responsable o parte en una queja	Parte en una queja y/o experto (*amicus curiae*)
Cumplir con la normativa; mejorar la tecnología y la organización	Apoyar la aplicación	Aplicar tecnología de producción y reutilización más limpia; eliminación correcta de desechos; mejorar las prácticas agrícolas	Promoción de la prevención de la contaminación y la eficiencia del uso del agua
Promoción de la prevención de la contaminación y la eficiencia del uso del agua	Estudios y análisis a largo plazo de procesos; sensibilización	Dialogar con los socios y el público en general sobre los mensajes de políticas	Sensibilizar
Desarrollo de habilidades y profesionalización de la gestión de aguas residuales y prestación de servicios	Proporcionar capacitación y educación		
Participar en investigación, desarrollo y prueba de nuevas soluciones tecnológicas	Investigar sobre contaminantes, cargas contaminantes, funciones ecológicas, interacciones del sistema, comportamiento humano	Participar en investigación, desarrollo y prueba de nuevas soluciones tecnológicas	Destacar las necesidades de investigación, participar en investigación

* El sombreado se refiere al nivel típico de responsabilidad: más oscuro = importante, más claro = menos involucrado

Los organismos regionales y los gobiernos nacionales reflejan estas agendas mundiales en sus políticas de gestión de recursos hídricos, el suministro de servicios de agua y la gestión de aguas residuales y residuos sólidos. Los responsables de la formulación de políticas establecen objetivos que abarcan o se relacionan con principios más generales (ver los círculos en la Figura 3.1), que pueden consagrarse en el derecho general y en reglamentaciones detalladas (ver las capas en la Figura 3.1).

3.2.1 Marcos legales

Al igual que las políticas discutidas anteriormente, las leyes aplicables también operan en diferentes niveles.

Las obligaciones internacionales pueden ser pertinentes cuando las aguas residuales (por ejemplo, efluentes o escorrentías agrícolas) fluyen hacia ríos y lagos internacionales o acuíferos. Hay dos tratados mundiales principales que abordan la gestión del agua dulce transfronteriza:

1. La *Convención sobre el Derecho de los Usos de los Cursos de Agua Internacionales para Fines Distintos de la Navegación* (ONU, 1997, entró en vigor en 2014) exige que los Estados adopten todas las medidas apropiadas para evitar causar «daño considerable» a otros Estados que comparten un curso de agua internacional (Art. 7) y que los Estados cooperen para proteger los cursos de agua internacionales (Ar. 8). Muchas convenciones regionales también utilizan estos principios porque reflejan el derecho internacional consuetudinario.

2. El *Convenio sobre la Protección y Utilización de los Cursos de Agua Transfronterizos y de los Lagos Internacionales* (el Convenio del Agua) fue desarrollado como un instrumento regional por la Comisión Económica para Europa (CEPE, 1992). Entró en vigor en 1996 y ha estado abierto a los Estados Miembros de la ONU de todo el mundo desde 2013. La Convención del Agua aborda los impactos transfronterizos, los principios de sostenibilidad, de precaución y de quien contamina paga (Art. 2) e incluye las obligaciones de controlar las emisiones de contaminantes y de autorización previa del vertido de aguas residuales.

Estos convenios han enmarcado el desarrollo de tratados y acuerdos regionales y bilaterales. El derecho ambiental internacional es aplicable a la gestión de residuos sólidos, incluidos los desechos peligrosos, y la gestión de la contaminación del aire que pueden afectar la calidad del agua, a veces lejos del punto de vertido.

CUADRO 3.1 MARCO INSTITUCIONAL INTERNACIONAL PARA LA PROTECCIÓN CONJUNTA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL DANUBIO Y EN EL MAR NEGRO

La cuenca del Danubio, que es el segundo río más largo de Europa, drena el agua de 19 estados al Mar Negro. Históricamente, la Comisión Internacional para la Protección del Río Danubio* se ocupaba de la navegación. La cooperación en el área del Danubio y el Mar Negro es un ejemplo de asociaciones que trabajan a diferentes escalas para alcanzar múltiples objetivos, involucrando a diferentes actores y en el marco de leyes transfronterizas, regionales y nacionales.

La Comisión, que es el grupo de gestión general, elaboró una estrategia de participación para involucrar a las partes interesadas. Una parte considerable de los fondos provinieron de los proyectos de Aguas Internacionales del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM). Esto incluyó el trabajo con los Estados y con la Comisión para identificar y ejecutar una cartera de inversiones de casi 500 proyectos, lo que implica inversiones para la reducción de la contaminación por un total de más de USD 5 mil millones (Hudson, 2012).

La falta de tratamiento de aguas residuales fue un factor importante que motivó este programa de inversiones. En 2010, la Planta Central de Tratamiento de Aguas Residuales de Budapest comenzó a funcionar como parte del proyecto Living Danube, el cual garantiza que el 95% de las aguas residuales de Budapest sean tratadas antes de su retorno al medio ambiente, al tiempo que recupera nutrientes y energía.

**Para más información, ver www.icpdr.org/main/danube-basin*

A nivel regional, la Directiva Marco sobre el Agua de la Unión Europea (UE) (2000/60/EC) (UE, 2000) se aplica a la gestión de la calidad del agua, incluidas las aguas residuales. La Directiva marco sobre residuos utiliza el método de las «3R» –reducir, reciclar, reutilizar–, así como los principios de precaución y de quien contamina paga (2008/98/EC) (UE, 2008). La legislación sobre residuos sólidos es muy importante para el saneamiento no a través del agua y para la gestión de lodos. El Protocolo sobre Agua y Salud del Convenio sobre el Agua (CEPE/OMS, 1999, que entró en vigor en 2005) exige que las Partes fijen objetivos nacionales y locales que cubran todo el ciclo del agua, incluido el saneamiento, con el fin de proteger la salud y el bienestar humanos mediante una mejor gestión del agua; la protección de los ecosistemas hídricos y la prevención, el control y la reducción de las enfermedades relacionadas con el agua.

Otros tratados regionales sobre el agua, como el Protocolo sobre Cursos de Agua Compartidos en la región de África Meridional, firmado por primera vez en 1995 por la Comunidad de África Meridional para el Desarrollo (SADC, por sus siglas en inglés) y revisado en 2000 (SADC, 2000), y el Acuerdo de Cooperación para el Desarrollo Sostenible de la cuenca del río Mekong (MRC, por sus siglas en inglés, 1995) reflejan las disposiciones generales del Convenio de las Naciones Unidas sobre los cursos de agua (ONU, 1997) y el derecho internacional consuetudinario, como la norma de no causar daños y la notificación de las medidas planificadas, pero no tienen el mismo nivel de detalle con respecto a la gestión transfronteriza de aguas residuales.

La mayoría de las leyes de control de la contaminación se elaboran y se aplican a nivel nacional o local. Sin embargo, en una cuenca fluvial transfronteriza, las aguas residuales vertidas en un país pueden tener efectos aguas abajo en otro país.

Los marcos internacionales y regionales pueden ayudar a los Estados a gestionar estos efectos transfronterizos. El Cuadro 3.1 muestra un ejemplo de las medidas adoptadas a nivel regional, nacional y local para gestionar el agua y las aguas residuales.

3.2.2 Normativa

Con respecto a la protección del medio ambiente, la normativa suele contemplar el uso de permisos y licencias, la aplicación de normas de calidad de emisiones o aguas residuales o la zonificación para el uso de la tierra (Sterner, 2003). La normativa también sustenta el establecimiento de sistemas de recolección y de instalaciones de tratamiento al fijar normas adecuadas para el tratamiento y la reutilización con diferentes fines. La normativa «económica» se utiliza en los servicios urbanos, lo que incluye el suministro de agua potable y la gestión de aguas residuales municipales. Esto garantiza que se cumplan las normas técnicas y de servicio y que las tarifas y los niveles de inversión sean suficientes para cubrir los costos del servicio, a la vez que proporcionan una tasa de rendimiento razonable para futuras inversiones (Groom *et al.,* 2006). Las soluciones también deben ser adaptadas de acuerdo al contexto y reflejar los distintos niveles de desarrollo. El control o la prohibición del uso de determinadas sustancias es otro medio para evitar que ingresen en las corrientes de aguas residuales (ver Cuadro 4.2 y Sección 5.4.1).

Las regulaciones pueden abordar el nivel de tratamiento o el proceso en sí al especificar el «tratamiento secundario» o el uso de las «mejores técnicas disponibles» que pueden definirse más adelante. Estos también pueden regular la calidad del efluente mediante el establecimiento de estándares de emisión. Si existen normas ambientales aguas abajo para las aguas receptoras, se puede hacer que estas contemplen las tendencias y los efectos acumulativos.

Cuando un Estado tiene poca o ninguna normativa con respecto a las aguas residuales y sus recursos son limitados, la OMS recomienda que se mida un pequeño número de parámetros clave, aquellos que tengan la mayor relevancia para la calidad del agua, en lugar de un conjunto más amplio de normas que no puedan aplicarse (Helmer y Hespanhol, 1997). Se pueden emitir directrices que incluyan una gama más amplia de parámetros a fin de ayudar a gestionar los impactos aguas abajo.

Los grandes sistemas centralizados se benefician de economías de escala, pero tardan en desarrollarse y son difíciles de adaptar a diferentes circunstancias socioeconómicas (ver Capítulo 12). En los países de bajos ingresos, es frecuente constatar que las prácticas descritas en las intenciones de las políticas y en las instrucciones reglamentarias difieren considerablemente de lo que ocurre realmente en el terreno (Ekane *et al.*, 2012 y 2014).

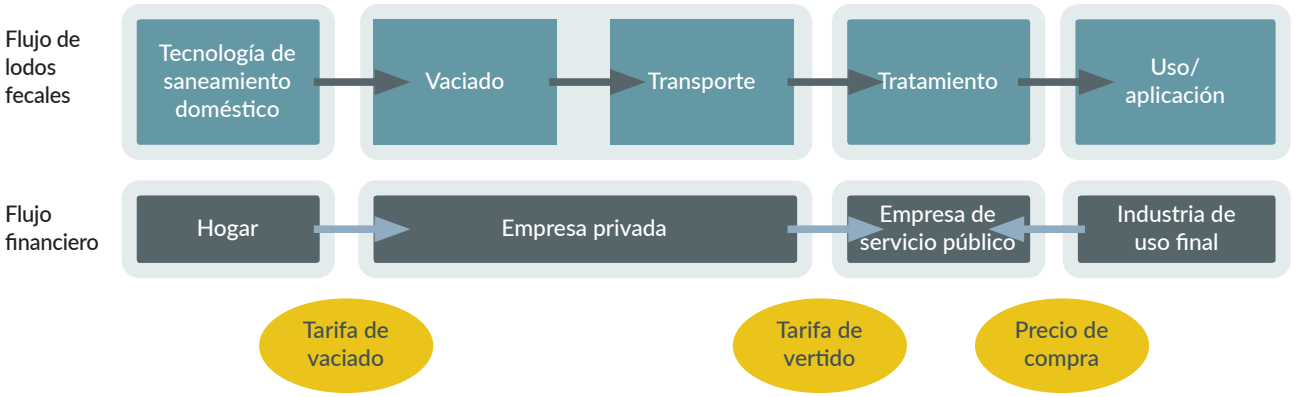
Los asentamientos urbanos informales en todo el mundo también enfrentan desafíos particulares. Los servicios relacionados con las aguas residuales (por ejemplo, las compañías de desagüe de pozos y las de eliminación de lodos) pueden ser prestados por proveedores privados informales sin el control o el apoyo adecuados de las autoridades pertinentes. Si la gestión de la recolección y el transporte, o el reciclaje, de los lodos fecales no es adecuada puede tener repercusiones importantes en la salud humana.

Las aguas residuales industriales pueden ser tratadas *in situ* y recicladas inmediatamente o vertidas en la corriente de aguas residuales municipales (ver Capítulo 6).

La viabilidad de la reutilización del agua depende de su origen y de la reutilización prevista. En Australia, varios estados tienen metas para el uso de aguas residuales y el gobierno del Commonwealth proporciona una guía extensa sobre la reutilización del agua (NRMMC/EPHC/NHMRC, 2009). Algunos estados han desarrollado marcos regulatorios, incluso para el uso directo de agua potable (ATSE, 2013).

Las precauciones de seguridad son particularmente importantes en el caso de la recuperación de aguas residuales para fines de consumo. Esto requiere el uso de barreras múltiples, el despliegue de varias técnicas en serie para asegurar la calidad del agua, así como

Figura 3.2 Modelo de flujo financiero para el manejo de lodos fecales



Fuente: Strande et al. *(2014, Fig. 13.3, p. 279).*

sistemas avanzados de control y, sobre todo, excelentes registros de calidad del agua. En consecuencia, estos sistemas a menudo presentan estándares de calidad de agua más altos que otras fuentes de agua (no tratada). No obstante, se requieren amplias campañas de información y la participación del público para crear confianza en el sistema (ver Capítulo 16).

Las aguas residuales no tratadas se utilizan habitualmente para el riego agrícola y para la acuicultura (ver Capítulos 7 y 16).

Si bien el uso de aguas negras puede proporcionar nutrientes valiosos, también puede presentar peligros, no solo para los trabajadores, sino también para los consumidores de productos alimenticios (OMS, 2006a).

3.3 Financiamiento

La gestión de aguas residuales es costosa y plantea problemas de acción colectiva; el público y las generaciones futuras reciben los beneficios y no directamente quienes invierten en mejorar el tratamiento o reducir la contaminación. Además, los beneficios reales solo se perciben una vez que todos (o un número suficiente de actores) cumplen las normas para proteger los recursos hídricos de la contaminación. En este sentido, el saneamiento y la gestión de aguas residuales son notoriamente más complicados y costosos que el suministro de agua potable (Jackson, 1996; Hophmayer-Tokich, 2006).

Pueden utilizarse instrumentos económicos para incentivar la prevención de la contaminación pero, para ser eficaces, deben combinarse con información, promoción y reglamentación eficaz. Las normas de responsabilidad por el vertido de contaminantes o los impuestos sobre efluentes pueden establecerse de conformidad con el principio de quien contamina paga (Olmstead, 2010).

El financiamiento de la infraestructura centralizada de aguas residuales está dominado por los costos de capital. En la mayoría de los países, la nueva infraestructura ha sido financiada mediante transferencias de dinero público (OCDE, 2010). Varios países de bajos ingresos dependen principalmente de las transferencias de ayuda para financiar sus sectores de agua y saneamiento (OMS, 2014a). Los países de ingresos medios también dependen de las transferencias de ayuda. En Panamá, donde existe una fuerte objeción política contra los aumentos de tarifas, estas no han sido modificadas durante más de dos décadas (OMS, 2014a; Fernández *et al.*, 2009).

La reticencia a asignar recursos directos al saneamiento y las aguas residuales se refleja en la iniciativa TrackFin[3] que se llevó a cabo en Brasil, Ghana y Marruecos. Según se informó en la encuesta de evaluación anual mundial sobre saneamiento y agua potable (GLAAS, por sus siglas en inglés) de ONU-Agua, la mayoría de los fondos estaban dirigidos al suministro de agua potable en el sector urbano, a pesar de que la cobertura del servicio de saneamiento rural era mucho menor (OMS, 2014a). Tanto en las tarifas de suministro de agua como en las de aguas residuales se pueden contemplar políticas favorables o medidas de asequibilidad destinadas a la población en condiciones de pobreza. Según la encuesta de GLAAS, más del 60% de los países indicaron que existen esquemas de asequibilidad para el saneamiento, pero solo en la mitad de los casos se utilizaban en forma generalizada (OMS, 2014a).

Cuando la infraestructura ya ha sido instalada, cada vez es más común que los costos de operación, mantenimiento y capital a futuro se cubran por medio de las tarifas aplicadas a los usuarios. No obstante, la recuperación total de los costos suele ser problemática.

[3] TrackFin: Seguimiento del financiamiento al saneamiento, la higiene y el agua potable. Para más información, ver http://www.who.int/water_sanitation_ health/monitoring/investments/trackfin/en/

En los países de ingresos bajos y medios, es más común que los costos de operación y mantenimiento del saneamiento estén cubiertos por subsidios gubernamentales (OMS, 2014a). Por otro lado, si los subsidios gubernamentales son insuficientes, la falta de financiamiento puede conducir a un mantenimiento diferido, operaciones defectuosas y deterioro del sistema.

La gestión de residuos humanos aporta beneficios considerables a la sociedad, tanto para la salud pública como para el medio ambiente. Por cada USD 1 gastado en saneamiento, el retorno estimado es de USD 5.5 (Hutton y Haller, 2004). Aunque a menudo es difícil de medir en términos monetarios, es importante reconocer e identificar maneras de evaluar estos beneficios sociales y ambientales más amplios y canalizar recursos financieros hacia la realización de dichas inversiones (PNUMA, 2015b).

Los beneficios económicos y ambientales potenciales del uso de aguas residuales son notorios (PNUMA, 2015b), pero puede ser difícil financiar tales proyectos a través de tarifas ya que, en la mayoría de las áreas urbanas, los usuarios pagan el agua potable, el alcantarillado y el tratamiento de aguas residuales en una sola factura (por lo que no es posible pagar solo por un servicio y no por los demás) y los beneficios son difíciles de calcular en términos monetarios. Por lo tanto, la mayoría de los proyectos de reutilización de agua se basan en subsidios financiados por impuestos (Molinos-Senante *et al.*, 2011).

Cuando se trata de la recuperación de nutrientes a través del manejo de lodos fecales, existen varios modelos de negocio viables (ver Capítulo 16). En la figura 3.2 se muestra uno sencillo, en el que una empresa de servicios públicos logra una recuperación total de costos gracias a las tasas de vertido y los ingresos por la venta de lodos fecales tratados (Strande *et al.*, 2014).

El análisis de la relación costo-beneficio es la herramienta más utilizada y aceptada en materia de análisis económico para la evaluación de proyectos. Un análisis del costo de la inacción frente al costo de la acción es útil para evaluar los beneficios económicos de invertir en aguas residuales (PNUMA, 2015b). Guest *et al.* (2009) destacan la importancia de la participación temprana de las partes interesadas en cualquier toma de decisiones para asegurar la aceptación de las propuestas, independientemente de cualquier evidencia de beneficios económicos o ahorros de costos.

3.4 Aspectos socioculturales

La integración de la ciudadanía en la toma de decisiones en todos los niveles fomenta la participación y el sentido de pertenencia. Esto incluye decisiones acerca de qué tipo de instalaciones de saneamiento son deseadas y aceptadas, cómo financiarlas de forma segura y cómo mantenerlas en el futuro (ver Tabla 3.1). Es especialmente importante llegar a grupos marginados, minorías étnicas, personas que viven en extrema pobreza en zonas rurales remotas o en asentamientos urbanos informales, y comprometerse con las mujeres que son quienes sufrirán las consecuencias de salud en caso de una gestión inadecuada de los desechos humanos.

La percepción pública influye en la toma de decisiones y limita lo que es posible poner en práctica, especialmente cuando se trata de la reutilización del agua. Algunas veces, las opciones de reutilización económicamente racionales no son viables, por ejemplo, debido a la percepción de que todavía puede haber rastros de material fecal en aguas residuales que puedan no haber sido suficientemente tratadas. Por lo tanto, es importante considerar cuáles son los usos seguros, apropiados y aceptables con cada tipo de agua. Las percepciones, la sensibilización sobre los riesgos y la división del trabajo en función del género son también factores importantes que determinarán cómo las personas protegerán su propia salud y la de los demás con respecto al uso de aguas residuales en la producción de alimentos (ver Cuadro 2.2).

Además, la aplicación de políticas puede suponer complejos problemas sociopolíticos. La corrupción es común en los servicios relacionados con el agua y las aguas residuales, en parte debido al monopolio de los proveedores y la frecuencia de los proyectos de grandes capitales (Transparencia Internacional, 2008). Las oportunidades para las prácticas corruptas abundan con respecto a los permisos de contaminación, monitoreo y cumplimiento, y el hecho de que se «haga la vista gorda» permite que el problema persista. Cuando la corrupción es prevalente, es importante promover la imparcialidad en el cumplimiento de la normativa (Rothstein y Tannenberg, 2015).

Se puede promover la integridad en el proceso de gestión de los recursos hídricos mediante la construcción de sistemas más resistentes a la corrupción. Al aumentar la transparencia, la rendición de cuentas y la participación en el sector, se pueden reducir las oportunidades de corrupción (Órgano de la Gobernabilidad del Agua del PNUD en SIWI/Cap-Net/ Water- Net/WIN, 2009; WIN, 2016).

CAPÍTULO 4

WWAP | Angela Renata Cordeiro Ortigara y Richard Connor

Con los aportes de: Jack Moss (AquaFed), Kate Heal (IAHS), Birguy M. Lamizana-Diallo (PNUMA), Peter van der Steen y Tineke Hooijmans (UNESCO-IHE), Sarantuyaa Zandaryaa (UNESCO-PHI), Manzoor Qadir (UNU-INWEH) y Kate Medlicott (OMS)

ASPECTOS TÉCNICOS de las AGUAS RESIDUALES

Vista aérea de una planta de biogás para el tratamiento de aguas residuales

En este capítulo se resumen, para quienes no son especialistas en agua, algunos aspectos técnicos básicos sobre las diferentes fuentes de aguas residuales, las posibles repercusiones de un tratamiento inadecuado, las tecnologías de recolección y tratamiento, y las necesidades en materia de datos e información.

4.1 Fuentes y componentes de las aguas residuales

Existe una estadística frecuentemente citada de que las aguas residuales están compuestas aproximadamente en un 99% de agua y en un 1% de sólidos en suspensión, coloidales y disueltos (ver, por ejemplo, ONU-Agua, 2015a). Aunque la composición exacta de las aguas residuales varía, obviamente, según las diferentes fuentes y a lo largo del tiempo, el agua sigue siendo, sin duda, su principal componente. Las distintas fuentes de aguas residuales pueden presentar otros tipos de componentes en concentraciones variables (ver Tabla 4.1).

Es probable que las aguas residuales domésticas y municipales contengan altas cargas bacterianas, si bien la mayoría de las bacterias presentes en las heces humanas no son inherentemente patógenas. No obstante, cuando se produce una infección, un gran número de microorganismos patógenos (como bacterias, virus, protozoos y helmintos) se propagan en el medio ambiente a través de las heces. La eliminación de patógenos es a menudo el objetivo principal de los sistemas de tratamiento de aguas residuales con el fin de reducir la carga de la enfermedad.

Las aguas residuales de las actividades industriales y mineras, así como de la gestión de los desechos sólidos (por ejemplo, lixiviados de vertederos), también pueden contener compuestos orgánicos tóxicos como hidrocarburos, bifenilos policlorados (PCB, por sus siglas en inglés), contaminantes orgánicos persistentes (COP), compuestos orgánicos volátiles (COV) y disolventes clorados. Cantidades muy pequeñas de ciertos compuestos orgánicos pueden contaminar grandes volúmenes de agua. Un litro de gasolina, por ejemplo, es suficiente para contaminar un millón de litros de agua subterránea (Gobierno de Canadá, s.f.).

Los «contaminantes emergentes» (ver Cuadro 4.1) pueden definirse como «cualquier sustancia química sintética o natural o cualquier microorganismo que no se detecte comúnmente en el medio ambiente, pero que pueda entrar en él y causar efectos adversos ecológicos y/o para la salud humana» (USGS, s.f.). Las principales categorías de contaminantes emergentes presentes en las aguas residuales son los productos farmacéuticos (por ejemplo, antibióticos, analgésicos, antiinflamatorios, medicamentos psiquiátricos, etc.), esteroides y hormonas (es decir, anticonceptivos), productos para el cuidado personal (por ejemplo, fragancias, filtros solares, repelentes de insectos, microperlas y antisépticos), pesticidas y herbicidas, agentes tensioactivos y metabolitos tensioactivos, retardantes de llama, aditivos industriales, productos químicos, plastificantes y aditivos de gasolina. Los contaminantes emergentes raramente son controlados o monitoreados y se necesitan más investigaciones para evaluar sus impactos sobre la salud humana y el medio ambiente.

CUADRO 4.1 CONTAMINANTES EMERGENTES

Los contaminantes emergentes se encuentran en concentraciones variables en aguas residuales tratadas y no tratadas, efluentes industriales y escorrentías agrícolas que se infiltran en ríos, lagos y aguas costeras (UNESCO, 2011). También se han detectado en el agua potable (Raghav *et al*., 2013), ya que los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales y de purificación de agua no son eficaces para eliminarlos. Las tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales (filtración por membrana, nanofiltración, ultrafiltración y ósmosis inversa) pueden eliminar parcialmente algunos productos químicos y compuestos farmacéuticamente activos (González *et al*., 2016). Los riesgos potenciales para la salud humana de los contaminantes emergentes por medio de la exposición a través del agua potable y los productos agrícolas continúan siendo una preocupación.

Los efectos de los contaminantes individuales en la salud humana y en los ecosistemas han sido evaluados solo de forma marginal y los efectos acumulativos no han sido estudiados en absoluto. Existen pruebas científicas de que muchos productos químicos reconocidos como contaminantes emergentes podrían causar alteraciones endocrinas en los seres humanos y en la fauna acuática (provocando anomalías congénitas y trastornos del desarrollo, y afectando la fertilidad y la salud reproductiva), incluso en concentraciones muy bajas (Poongothai *et al.*, 2007), así como tumores cancerosos y el desarrollo de resistencia a patógenos bacterianos, incluida resistencia a múltiples fármacos.

Fuente: Adaptado de Muñoz et al. (2009).

Con los aportes de Sarantuyaa Zandaryaa (UNESCO-PHI).

Tabla 4.1 Ventajas y desventajas de determinados tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales

Fuentes de aguas residuales	Componentes típicos
Aguas residuales domésticas	Excrementos humanos (microorganismos patógenos), nutrientes y materia orgánica. También pueden contener contaminantes emergentes (por ejemplo, productos farmacéuticos, fármacos y disruptores endocrinos)
Aguas residuales municipales	Muy amplia gama de contaminantes, tales como microorganismos patógenos, nutrientes y materia orgánica, metales pesados y contaminantes emergentes
Escorrentía urbana	Muy amplia gama de contaminantes, incluidos productos de combustión incompletos (por ejemplo, hidrocarburos aromáticos policíclicos y carbón negro/hollín procedentes de la combustión de combustibles fósiles), caucho, aceite de motor, metales pesados, basura no degradable/orgánica (especialmente plásticos de carreteras y estacionamientos), partículas suspendidas y fertilizantes y pesticidas (de césped)
Escorrentía agrícola (flujo superficial)	Microorganismos patógenos, nutrientes de los fertilizantes aplicados a los suelos y pesticidas e insecticidas derivados de las prácticas agrícolas
Acuicultura terrestre	Los efluentes de los estanques de asentamiento son típicamente ricos en materia orgánica, sólidos en suspensión (partículas), nutrientes disueltos, y metales pesados y contaminantes emergentes
Aguas residuales industriales	Los contaminantes dependen del tipo de industria (ver Tabla 6.4 para más detalles)
Actividades mineras	El drenaje de relaves, a menudo contiene sólidos en suspensión, alcalinidad, acidez (necesita ajuste de pH) sales disueltas, cianuro y metales pesados. Puede contener también elementos radiactivos, dependiendo de la actividad de la mina (ver Tabla 6.4 para más detalles)
Generación de energía	El agua generada en el sector energético suele ser una fuente de contaminación térmica (agua caliente) y normalmente contiene nitrógeno (por ejemplo, amoníaco, nitrato), total de sólidos disueltos, sulfatos y metales pesados (ver Tabla 6.4 para más detalles)
Lixiviados de vertedero	Contaminantes orgánicos e inorgánicos, con concentraciones potencialmente altas de metales y químicos orgánicos peligrosos
Lixiviados de vertedero	Contaminantes orgánicos e inorgánicos, con concentraciones potencialmente altas de metales y químicos orgánicos peligrosos

Fuente: Basado en EPA EUA (2015 y s.f.b.), ONU (s.f.b.), Akcil y Koldas (2006), Gobierno de Columbia Británica (1992) y Tchobanoglous et al. *(2003).*

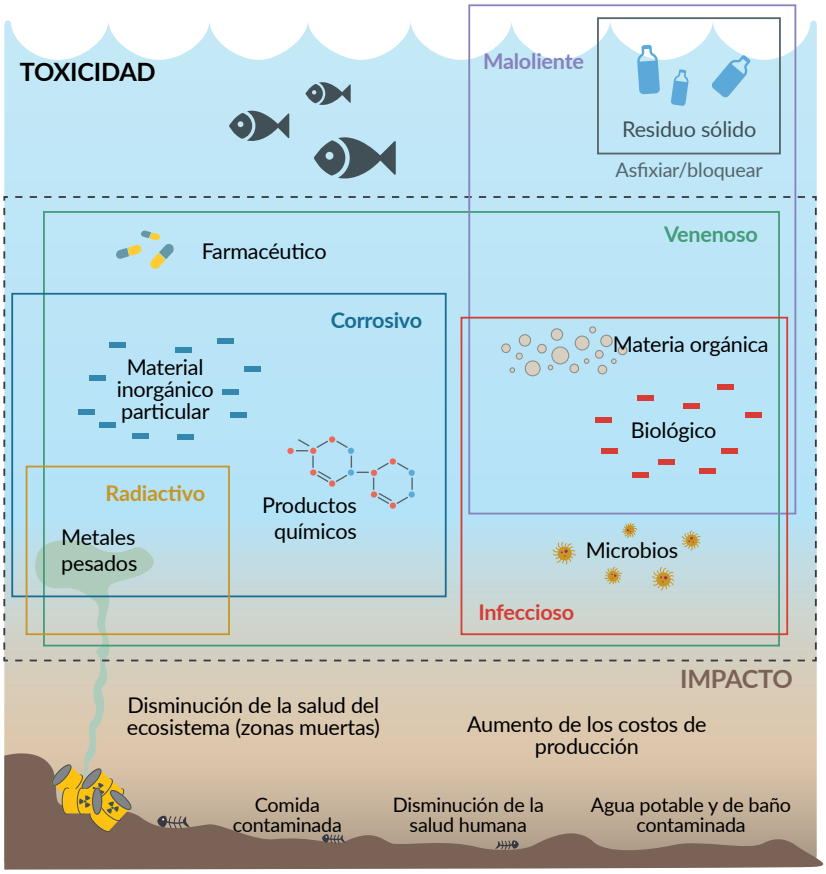
CUADRO 4.2 PROHIBIR CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES: EL EJEMPLO DE LAS MICROPERLAS

Las microperlas se encuentran en ciertos productos de consumo, tales como limpiadores faciales y pasta de dientes. Después de su uso, estas partículas esféricas hechas de polietileno o polipropileno terminan en aguas residuales. Una vez que las microperlas entran en el sistema de aguas residuales pocas instalaciones de tratamiento de aguas residuales son capaces de eliminarlas de las corrientes de agua. Aún no se conocen bien los riesgos para la vida acuática y la salud pública, pero las propias partículas pueden contener toxinas o atraer a otras toxinas en el agua (Copeland, 2015).

En diciembre de 2015, el Gobierno de los Estados Unidos exigió a los fabricantes estadounidenses que dejaran de utilizar microperlas en los productos antes del 1 de julio de 2017, y que suspendieran la venta de productos que contuvieran microperlas antes del 1 de julio de 2018. En junio de 2016, Canadá añadió las microperlas a la lista de sustancias tóxicas en virtud de la Ley Canadiense de Protección del Medio Ambiente (CEPA, por sus siglas en inglés), lo que permitió al gobierno regular y prohibir el uso de microperlas (Gobierno de Canadá, 2016). En setiembre de 2016, el Gobierno del Reino Unido anunció planes para prohibir las microperlas en cosméticos y productos de cuidado personal (DEFRA, por sus siglas en inglés, 2016).

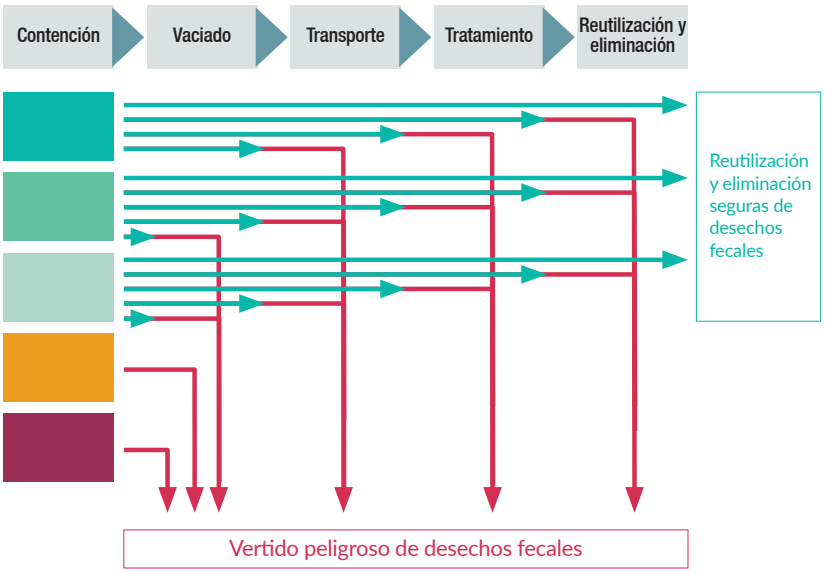
Las microperlas pueden sustituirse fácilmente por ingredientes naturales como cáscara de almendras y carozo de damascos, muchas de las grandes empresas ya han anunciado que van a poner fin al uso de estos productos microplásticos. La acción conjunta entre los sectores público y privado eliminó de forma efectiva los argumentos económicos para retrasar la prohibición de estas sustancias.

Figura 4.1 Componentes de aguas residuales y sus efectos



Fuente: Adaptado de Corcoran et al. (2010, Fig. 5, p. 21).

Figura 4.2 Marco de residuos fecales para estimar la proporción de saneamiento y aguas residuales gestionada de forma segura



Fuente: Adaptado de UNICEF/OMS (2015, Fig. 39, p. 44).

Es posible reducir/mitigar el uso y el vertido de ciertos tipos de contaminantes emergentes mediante la normativa gubernamental (ver Cuadro 4.2) y la participación del sector privado.

4.2 Consecuencias del vertido de aguas residuales no tratadas o con tratamiento inadecuado

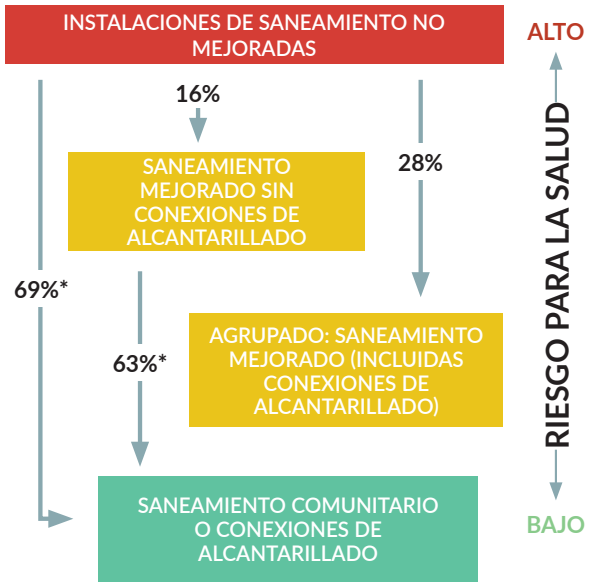
El vertido de aguas residuales no tratadas o parcialmente tratadas en el medio ambiente provoca la contaminación de las aguas superficiales, el suelo y las aguas subterráneas. Una vez vertidas en las masas de agua, las aguas residuales se diluyen y son transportadas aguas abajo, o se infiltran en los acuíferos, donde pueden afectar la calidad (y, por lo tanto, la disponibilidad) de los suministros de agua dulce. El destino final de las aguas residuales vertidas en ríos y lagos es, a menudo, el océano.

El vertido de aguas residuales sin tratar o con tratamiento inadecuado tendrá consecuencias que se clasifican en tres grupos, según tengan: efectos adversos para la salud humana por la reducción de la calidad del agua; efectos ambientales negativos debido a la degradación de las masas de agua y de los ecosistemas; y posibles efectos en las actividades económicas (PNUMA, 2015b). En la Figura 4.1 se muestran los componentes de aguas residuales y sus efectos.

4.2.1 Efectos en la salud humana

A pesar de que las instalaciones de saneamiento de los hogares se han mejorado cada vez más desde 1990, los riesgos para la salud pública permanecen debido a la mala contención, las fugas durante el vaciado y el transporte y el tratamiento ineficaz de las aguas residuales (ver Figura 4.2). Se estima que solo el 26% de los servicios urbanos de saneamiento y de gestión de aguas residuales y el 34% de los servicios rurales previenen el contacto de los humanos con excrementos en forma efectiva a lo largo de la cadena de saneamiento y son considerados como una gestión eficiente (Hutton y Varughese, 2016).

Figura 4.3 Transiciones de saneamiento y reducciones asociadas de las enfermedades diarreicas



**Estas estimaciones se basan en pruebas limitadas, por lo que deben considerarse preliminares y no se han utilizado en la estimación actual de la carga de enfermedad.*

Fuente: OMS (2014b, Fig. 11, p. 12).

Las enfermedades asociadas al saneamiento y aguas residuales siguen siendo comunes en los países donde la cobertura de estos servicios es baja, donde el uso informal de aguas residuales no tratadas para la producción de alimentos es alto y donde la dependencia del agua superficial contaminada para consumo y uso recreativo es habitual. Se estima que en 2012 842.000 muertes en países de ingresos medios y bajos fueron causadas por agua potable contaminada, instalaciones para el lavado de manos y servicios de saneamiento inadecuados (OMS, 2014b).

Mejorar el saneamiento y el tratamiento de aguas residuales es también una estrategia de intervención clave para controlar y eliminar muchas otras enfermedades, como el cólera y algunas enfermedades tropicales desatendidas, como el dengue, la dracunculiasis, la filariasis linfática, la esquistosomiasis, los helmintos transmitidos por el suelo y el tracoma (Aagaard-Hansen y Chaignat, 2010).

El acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas puede ayudar a reducir notoriamente los riesgos para la salud (ver Figura 4.3) y se pueden obtener aún mayores beneficios para la salud a través de la provisión de servicios de saneamiento gestionados de forma eficiente y aguas residuales tratadas de forma segura.

4.2.2 Efectos ambientales

El vertido de aguas residuales no tratadas en el medio ambiente tiene un impacto en la calidad del agua que, a su vez, afecta la cantidad de recursos hídricos disponibles para uso directo. Las preocupaciones por la calidad del agua están aumentando como una dimensión importante de la seguridad del agua en todo el mundo (ver Prólogo). Desde 1990, la contaminación del agua ha aumentado en la mayoría de los ríos de África, Asia y América Latina, debido a la creciente cantidad de aguas residuales como resultado del crecimiento demográfico, el aumento de la actividad económica y la expansión de la agricultura, así como el vertido de aguas residuales sin tratamiento (o apenas con niveles mínimos) (PNUMA, 2016). La gestión inadecuada de las aguas residuales también tiene un impacto directo en los ecosistemas y los servicios que prestan (Corcoran *et al.*, 2010) (ver Capítulo 8).

La eutrofización, impulsada por el exceso de nitrógeno y fósforo, puede provocar floraciones de algas potencialmente tóxicas y disminución de la biodiversidad. El vertido de aguas residuales sin tratar en mares y océanos explica en parte por qué cada vez son más las zonas muertas desoxigenadas: se estima que 245.000 km^2 de ecosistemas marinos están afectados, con repercusiones en la industria pesquera, medios de vida y cadenas alimenticias (Corcoran *et al.*, 2010).

> Cuando el vertido de aguas residuales causa daños ambientales, se generan costos externos (externalidades) y se pierden los beneficios potenciales del uso de aguas residuales

4.2.3 Efectos económicos

Dado que la disponibilidad de agua dulce es fundamental para mantener el bienestar económico de cualquier comunidad humana, la mala calidad del agua constituye un obstáculo adicional al desarrollo económico. La mala calidad del agua dificulta la productividad agrícola en entornos rurales y periurbanos. El agua contaminada puede afectar directamente a las actividades económicas que utilizan el agua, como la producción industrial, la pesca, la acuicultura y el turismo (PNUMA, 2015b), y puede limitar indirectamente la exportación de ciertas mercancías debido a restricciones, e incluso prohibiciones, de productos contaminados.

Por ejemplo, en el Caribe, muchas pequeñas economías insulares dependen casi totalmente de la salud de sus arrecifes para el turismo, la pesca y la protección de la costa (Corcoran *et al.*, 2010), pero estos arrecifes están amenazados por el vertido de aguas residuales no tratadas. Si bien la contaminación de los entornos naturales puede obstaculizar las actividades económicas, el turismo en sí y la creciente demanda de instalaciones favorables al medio ambiente pueden proporcionar apalancamiento para las inversiones en el mantenimiento de entornos naturales y, por lo tanto, actuar como un factor motivador adicional para mejorar la gestión de las aguas residuales.

Cuando el vertido de aguas residuales causa daños ambientales, se generan costos externos (externalidades) y se pierden los beneficios potenciales del uso de aguas residuales. Puede contemplarse un argumento económico para mejorar la gestión de las aguas residuales con el fin de minimizar los impactos negativos que puede causar y maximizar los beneficios que puede generar. Si las aguas residuales son reconocidas como un bien económico, adecuadamente tratadas pueden tener un valor positivo tanto para quienes las producen como para quienes las consumen (PNUMA, 2015b).

4.3 Recolección y tratamiento de aguas residuales

Aunque en el Capítulo 15 se examinan las oportunidades de mejorar los sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales, en esta sección se describen los procesos básicos desde un punto de vista más técnico. Existen fundamentalmente dos tipos de sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales:

– Sistemas *ex situ*, donde los residuos son transportados a través de una red de alcantarillado a una planta de tratamiento o punto de eliminación.

– Sistemas *in situ*, donde los residuos se acumulan en una letrina o fosa séptica. Esta fosa puede vaciarse periódicamente o puede abrirse una nueva letrina/fosa séptica en otro lugar. Ciertos sistemas *in situ* tienen lechos de lixiviación que infiltran el agua parcialmente tratada de las fosas sépticas en el suelo (los sistemas viejos y sobreexigidos son una causa importante de contaminación en algunas zonas). En caso de vaciado, los desechos se transportan para su tratamiento y/o eliminación. Los sistemas *in situ* también pueden incluir sistemas de alcantarillado a pequeña escala que transportan las aguas residuales a las plantas de tratamiento situadas cerca.

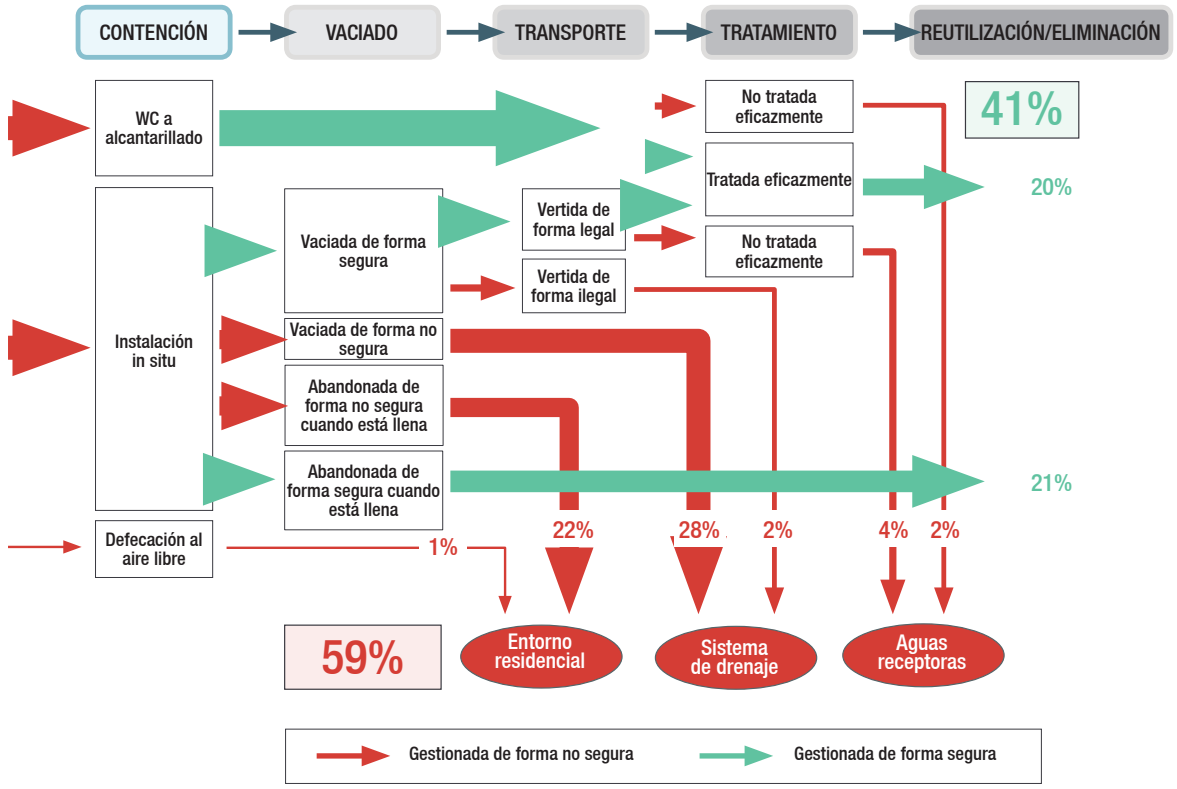
Las aguas residuales generadas en las industrias pueden ser tratadas *in situ* o vertidas a los sistemas municipales, pero deben otorgarse permisos de descarga y respetarse los límites de calidad. Las aguas residuales generadas en el sector agrícola (por ejemplo, la producción ganadera, los invernaderos), si son recolectadas y tratadas, pueden utilizarse en el mismo establecimiento para riego u otros fines.

En las figuras 4.4 y 4.5 se muestran sistemas de gestión de aguas residuales en Kampala (Uganda) y Dhaka (Bangladesh), respectivamente, que ilustran cómo pueden diferir según los países. Las ilustraciones también revelan la necesidad urgente de mejorar la eficiencia de los sistemas de gestión de aguas residuales con el fin de aumentar la proporción de aguas residuales gestionadas de forma segura.

4.3.1 Recolección de aguas residuales

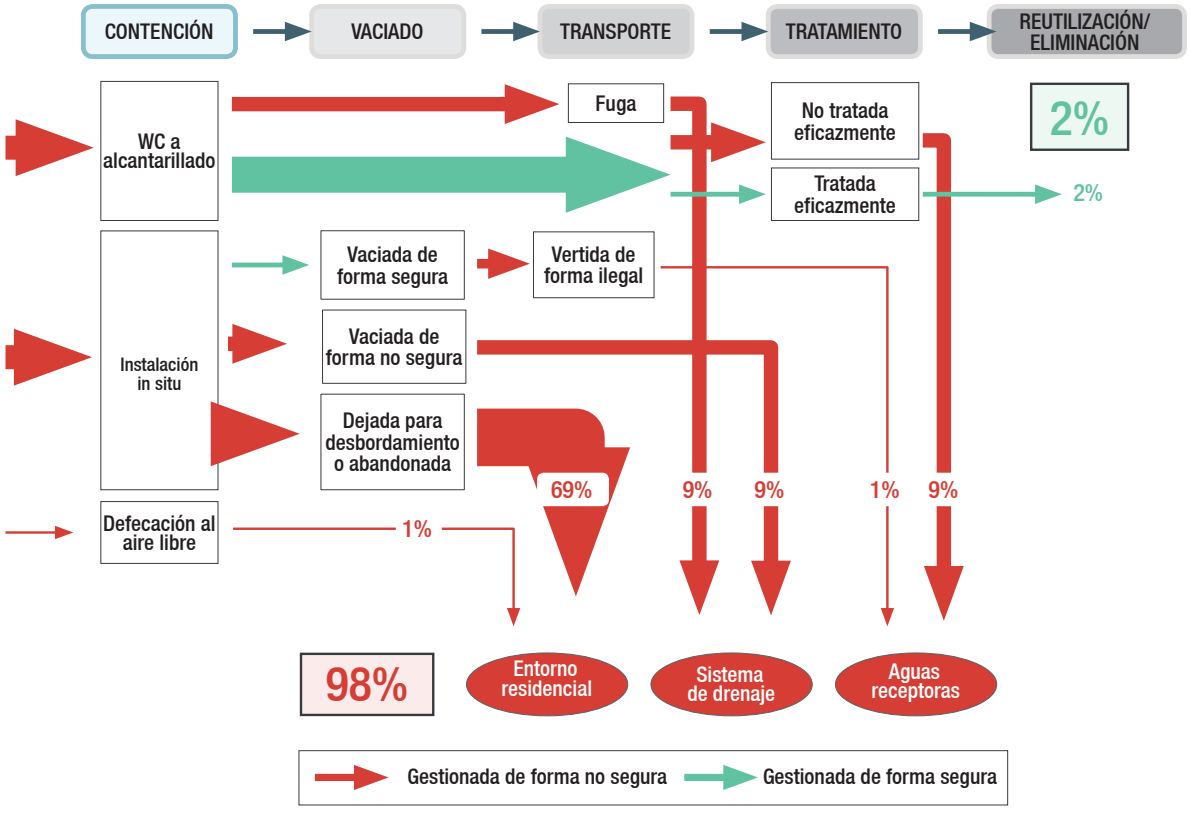
La red de alcantarillado utilizada para el transporte de aguas residuales puede ser separada o combinada. En los sistemas separados se utilizan diferentes conjuntos de tuberías para transportar las aguas residuales y la escorrentía urbana,

Figura 4.4 Sistema de gestión de agua en Kampala (Uganda)



Fuente: Peal et al. (2014, Fig. 6, p. 571).

Figura 4.5 Sistema de gestión de agua en Dhaka (Bangladesh)



Fuente: Peal et al. (2014, Fig. 4, p. 570).

mientras que en los sistemas combinados ambos flujos se transportan juntos. Se espera que los sistemas separados instalados, operados y controlados de manera adecuada reduzcan la cantidad de aguas residuales a tratar, para así evitar desbordamientos y hacer frente de manera más eficaz a los volúmenes periódicos y potencialmente grandes de escorrentía urbana que se producen en condiciones de tormenta. Sin embargo, las alcantarillas separadas no siempre funcionan tan eficientemente como se espera, por ejemplo, cuando los controles no son suficientes y se favorecen conexiones cloacales ilegales a las tuberías de escorrentía.

El punto final de una red de alcantarillado debe ser una planta de tratamiento, cuyo objetivo es eliminar los contaminantes de las aguas residuales para que puedan volver a usarse de forma segura (tratamiento adecuado a los fines) o devolverse al ciclo del agua con mínimos impactos ambientales.

El tratamiento de aguas residuales puede seguir un método centralizado o descentralizado. En los sistemas centralizados, las aguas residuales se recolectan de un gran número de usuarios, como una zona urbana, y se tratan en uno o más sitios. Los costos de recolección representan más del 60% del presupuesto total para la gestión de aguas residuales en un sistema centralizado, particularmente en comunidades con baja densidad de población (Massoud *et al.*, 2009).

Los sistemas descentralizados emplean una combinación de sistemas *in situ* y/o en grupo para el tratamiento de aguas residuales, y se usan a menudo para viviendas individuales, comunidades dispersas y de baja densidad y zonas rurales. Si bien los sistemas de tratamiento descentralizados frecuentemente reducen los costos de recolección, pueden no proporcionar el mismo nivel de beneficios y aún requerir un nivel de funcionamiento y mantenimiento tan efectivo como los sistemas centralizados.

4.3.2 Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales consiste en una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar los componentes de las aguas residuales.

Los procesos físicos permiten la eliminación de sustancias mediante el uso de fuerzas naturales (por ejemplo, la gravedad), así como de barreras físicas, tales como filtros y membranas o radiación ultravioleta (UV), que se utilizan principalmente para la desinfección. El uso de membranas está aumentando debido a la alta calidad de los efluentes después del tratamiento y para la eliminación efectiva de microcontaminantes orgánicos, desde pesticidas hasta productos farmacéuticos y de cuidado personal

CUADRO 4.3 EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA GESTIÓN DE SISTEMAS DE AGUAS RESIDUALES

Un sistema de tratamiento de aguas residuales gestionado constituye a menudo una cadena larga y multifacética de componentes interconectados (tuberías, bombas, instalaciones de tratamiento, etc.). Evaluar y gestionar los riesgos involucrados en estos componentes requiere técnicas similares a las empleadas en las evaluaciones de impacto ambiental, las evaluaciones de salud y seguridad y la gestión de activos. El objetivo es identificar riesgos potenciales (que pueden clasificarse de acuerdo con la naturaleza, gravedad, probabilidad de ocurrencia, consecuencias, etc.) y aplicar medidas de control para cada uno.

Un proceso de «seguimiento del flujo» suele ser una buena manera de proceder. Comienza con la elaboración de un inventario del tipo de contaminantes (composición física/química/bacteriológica, etc.), su concentración y la frecuencia probable de su ocurrencia/vertido, que puede verse afectada por las condiciones meteorológicas y el comportamiento del contaminador. Este paso es fundamental para identificar y predecir impactos y eventos en toda la cadena de componentes.

Cada eslabón de la cadena (tanto activos como procesos) debe entonces ser examinado para determinar cómo debe funcionar, cómo podría funcionar mal, cómo podría interactuar con el contaminante, cuáles serían los impactos de la falla, cuánto tiempo llevaría solucionar una falla, y así sucesivamente. Algunas fallas pueden ocurrir por las interacciones entre el contaminante y la infraestructura. Por ejemplo, muchos contaminantes pueden causar corrosión de tuberías y equipos o bloquear y atascar bombas. Otros pueden surgir de eventos «externos», como fallas eléctricas, daños por tráfico o vandalismo.

También hay un número considerable de riesgos para la salud y la seguridad que pueden afectar tanto al personal operativo como al público en general. Estos van desde riesgos de ahogamiento hasta la liberación de gases peligrosos, desde lesiones físicas hasta enfermedades a largo plazo. Al final de la cadena están los puntos de vertido, más allá de los cuales también se debe evaluar la sensibilidad de los usuarios aguas abajo, ya sea el medio ambiente natural u otros usuarios de agua. La eficacia y la imagen de la gestión de las aguas residuales pueden verse gravemente afectadas si los intereses de estos usuarios aguas abajo no se tienen debidamente en cuenta en el proceso de evaluación de riesgos.

Un proceso de evaluación de riesgos efectivo normalmente exige una puesta en práctica eficiente de competencias distintas y complementarias entre sí.

Con los aportes de Jack Moss (AquaFed).

Tabla 4.2 Ventajas y desventajas de determinados sistemas de tratamiento de aguas residuales

Tipo	Naturaleza de las aguas residuales	Ventajas	Desventajas	Componentes eliminados
Sistemas sépticos	Aguas residuales domésticas	Simple, duradero, de fácil mantenimiento, requiere un espacio pequeño	Baja eficiencia de tratamiento; necesidad de un tratamiento secundario; efluente no inodoro; el contenido debe eliminarse a intervalos frecuentes	DQO, DBO, TSS; grasa
Sanitarios de compostaje	Excrementos humanos, papel higiénico, aditivo de carbono, residuos de alimentos	Reducir el consumo de desechos y apoyar el reciclaje de nutrientes (por ejemplo, el uso de lodos resultantes en la agricultura)	Necesidad de diseño y mantenimiento adecuados para proteger el medio ambiente y la salud humana	Volumen reducido de 10 a 30%; patógenos
Filtro anaeróbico	Aguas residuales domésticas e industriales depositadas previamente de relación DQO/DBO estrecha	Simple y bastante duradero, si está bien construido y las aguas residuales han sido tratadas previamente de forma adecuada; alta eficiencia de tratamiento; se requiere poca superficie	El material del filtro puede causar altos costos de construcción; se puede obstruir el filtro; efluente no inodoro	DBO, total de sólidos disueltos, TSS
Tratamiento anaeróbico (por ejemplo, biodigestor, RAFA, etc.)	Excrementos humanos, desechos animales y agrícolas	Reciclado del recurso; el gas producido se puede utilizar para generación de energía, cocina e iluminación	Funcionamiento y mantenimiento complejos, que pueden llevar a fugas de gas o a una reducción de la producción y bloqueo del tanque digestor con sólidos; el tratamiento anaeróbico a menudo proporciona poca eliminación de nutrientes	DQO, DBO, TSS; grasa
Estanques de estabilización Estanques anaeróbicos, facultativos y de maduración	Aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas; buenas para ciudades pequeñas y medianas	Los estanques de maduración pueden lograr una buena eliminación bacteriana; necesitan ser desenlodados a intervalos regulares –no hacerlo puede tener consecuencias graves–; el biogás puede ser recuperado como fuente de energía	Uso intensivo de tierra; a veces DBO y SS altos en efluentes de algas pero relativamente inofensivos; vistos a veces como proceso del clima cálido pero puede ser utilizado en climas moderados	DBO, SS, TN, TP
Estanques de estabilización de aguas residuales a base de lentejas de agua	Aguas residuales domésticas y agrícolas	No hay riesgo de obstrucción; altas tasas de eliminación de nutrientes	Uso intensivo de tierra; necesidad de cosecha constante; inadecuado en regiones muy ventosas	DBO, SS, TN, TP, metales
Humedales artificiales	Aguas residuales domésticas y agrícolas; pequeñas comunidades; tratamiento terciario para industrias	Baja o ninguna necesidad de energía; bajos costos de mantenimiento; proporciona valor estético, comercial y para el hábitat	Uso intensivo de tierra; se puede obstruir el sistema	TSS, DQO, TN, TP
Tratamiento biológico aeróbico (es decir, lodos residuales activados) Aguas residuales domésticas e industriales	Los aireadores de acero inoxidable son resistentes a las aguas residuales corrosivas y las hacen adecuadas para las plantas industriales de pulpa y papel, la industria química y otros entornos extremos Buena eliminación de la DBO y la planta se puede operar para facilitar la eliminación de nitrógeno y fósforo	Rápido, económico comparado con otros métodos, libre de olores Requisitos de mantenimiento altos; ineficaces en aguas profundas (por lo tanto, las cuencas son generalmente poco profundas)y en condiciones climáticas de congelación	Poca eliminación de cargas bacterianas y alta producción de lodos	DBO, SS, TN, TP
Sistema de membrana Microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, RO	Aguas residuales depositadas previamente; pueden utilizarse en combinación con procesos biológicos (MBR, MBBR)	Procesos que cierran el ciclo del agua y producen agua de alta pureza para su reutilización	Costos más altos y mayores requisitos en funcionamiento, mantenimiento y consumo de energía	La microfiltración y la ultrafiltración eliminan todos los agentes biológicos y las macromoléculas; la nanofiltración elimina las moléculas orgánicas simples; la ósmosis inversa elimina los iones inorgánicos

DBO Demanda biológica de oxígeno - **DQO** Demanda química de oxígeno - **MBBR** (por sus siglas en inglés) Reactor de lecho móvil con biofilm - **MBR** (por sus siglas en inglés) Reactores biológicos de membrana -**RO** (por sus siglas en inglés) Osmosis inversa - **SS** Sólidos en suspensión - **TDS** (por sus siglas en inglés) Total de sólidos disueltos - **TN** (por sus siglas en inglés) Nitrógeno total - **TP** (por sus siglas en inglés) Fósforo total - **TSS** Total de sólidos en suspensión -**RAFA** Reactor anaerobio de flujo ascendente

Fuente: Compilado por Birguy M. Lamizana-Diallo(PNUMA) y Angela Renata Cordeiro Ortigara (WWAP), basado en OMS (2006) y ONU-Agua (2015a).

> **Los contaminantes emergentes rara vez son controlados o monitoreados y se necesitan más investigaciones para evaluar sus impactos sobre la salud humana y el medio ambiente**

(Liu *et al.*, 2009). Los sistemas de membrana se caracterizan por un alto consumo energético y altos niveles de funcionamiento y mantenimiento (Visvanathan *et al.*, 2000).

Los procesos químicos se usan a menudo para la desinfección y la eliminación de metales pesados. El tratamiento primario químicamente asistido, por ejemplo mediante el uso de sales férricas o polielectrolito, puede eliminar la DBO y los sólidos, pero el lodo generado es frecuentemente difícil de tratar y eliminar (ONU-Agua, 2015a). Se ha demostrado que la oxidación químicamente avanzada elimina los compuestos perturbadores endocrinos (EDC) (Liu *et al.*, 2009).

Los procesos biológicos en el tratamiento de aguas residuales reproducen la degradación que ocurre naturalmente en ríos, lagos y arroyos. Estos procesos se utilizan en plantas de tratamiento de aguas residuales donde los reactores biológicos están diseñados para potenciar la degradación bioquímica en condiciones cuidadosamente controladas, aumentando así la eliminación de contaminantes y la estabilización de los lodos.

Los procesos que tienen lugar en los biorreactores pueden ser aeróbicos o anaeróbicos. Los primeros a menudo necesitan más energía para mantener las condiciones aeróbicas dentro del reactor, y los desechos orgánicos se convierten en biomasa (lodo) y dióxido de carbono (CO_2). Sin embargo, impide la formación de metano (CH_4), que tiene un mayor potencial de calentamiento climático que el CO_2 (Cakir and Stenstrom, 2005). Los procesos de tratamiento anaeróbico generalmente requieren menos energía y tienen una menor producción de lodos y generan CH_4, pero esto puede ser capturado y usado como una fuente de energía.

Los procesos físicos, químicos y biológicos se combinan para lograr diferentes «niveles» de aguas residuales: preliminares, primarios, secundarios, terciarios y cuaternarios (ver Léxico para una descripción más detallada).

La selección de las tecnologías más adecuadas depende del tipo de componentes, de la carga contaminante, del uso anticipado de las aguas residuales tratadas y de la asequibilidad económica. En la Tabla 4.2 se ofrecen algunos ejemplos de tecnologías, el tipo de aguas residuales para las que se usan generalmente y sus ventajas y desventajas.

Uno de los subproductos del tratamiento de aguas residuales es el lodo residual. El lodo generado es rico en nutrientes y materia orgánica, lo que le confiere un potencial considerable como acondicionador del suelo y fertilizante (ver Capítulo 16). En muchos casos, sin embargo, no se percibe el valor beneficioso de los lodos residuales debido a las preocupaciones acerca de los patógenos, metales pesados y otros compuestos que puedan contener. Otros subproductos útiles de las aguas residuales incluyen biogás (es decir, CH_4) y calor, que pueden recuperarse para un uso beneficioso en la planta de tratamiento o en la comunidad adyacente.

La gestión y el funcionamiento reales de los sistemas de tratamiento de aguas residuales son actividades complejas que pueden beneficiarse de un método de evaluación de riesgos que analiza la cadena de componentes que conforman el sistema. Dichas evaluaciones pueden ayudar a garantizar su correcto funcionamiento con los niveles de eficiencia esperados y poner de relieve los eslabones débiles en la cadena que podrían causar problemas de salud y seguridad (ver Cuadro 4.3).

4.4 Necesidades en materia de datos e información

Los datos sobre recolección y tratamiento de aguas residuales son escasos, en particular (pero no únicamente) en los países en desarrollo. De acuerdo con Sato *et al.* (2013), solo 55 de los 181 países analizados contaban con información estadística fidedigna sobre la generación, el tratamiento y el uso de aguas residuales, 69 países tenían datos sobre uno o dos aspectos y 57 países no tenían ninguna información. Además, los datos de aproximadamente dos tercios (63%) de los países tenían más de cinco años. La principal base de datos de AQUASTAT de la FAO contiene una sección sobre aguas residuales municipales en la

que se puede encontrar información relacionada con las aguas residuales en las secciones «recursos hídricos» y «uso del agua» de cada perfil de país. Sin embargo, algunos de estos datos pueden tener más de cinco años de antigüedad.

El desafío clave de la recopilación de datos tiene que ver con la necesidad de generar datos a nivel nacional que sean suficientemente detallados, coherentes y comparables con otros países.

El GLAAS (por sus siglas en inglés), una iniciativa de ONU-Agua puesta en práctica por la OMS, proporciona perfiles de países sobre saneamiento y cobertura de agua potable. El GLAAS también contiene información sobre temas relacionados con la gobernabilidad, el monitoreo de datos sobre el agua y los recursos humanos. A partir del ciclo de presentación de informes 2016/2017, también se incluirá el financiamiento, que podría revelar información adicional sobre algunos aspectos de la gestión de aguas residuales.

La División de Estadística de las Naciones Unidas (UNSD, por sus siglas en inglés) es responsable del desarrollo de los principios fundamentales de las estadísticas oficiales para guiar el trabajo de los organismos nacionales de estadística. En 2012 adoptó el Marco Central del Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica (SCAE), que incluye el Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica para el Agua (SCAEA). El SCAEA propone un marco conceptual para entender las interacciones entre la economía y el medio ambiente, y aborda las necesidades de datos sobre el agua (UNSD, 2012). El SCAEA contiene tablas estandarizadas sobre los gastos financieros para la gestión de aguas residuales, incluida la medición de los flujos de aguas residuales dentro de la economía, que los países deben completar.

Existen otras iniciativas mundiales para mejorar la recolección de datos en materia de las aguas residuales a nivel regional. La OCDE y Eurostat llevaron a cabo una encuesta conjunta sobre aguas continentales que incluía preguntas sobre la capacidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales, la producción de lodos y las emisiones químicas de la industria, la agricultura y los asentamientos humanos (Eurostat, 2014). La UNSD y el PNUMA realizan una campaña bienal de recolección de datos ambientales en todos los países, excepto los que están cubiertos por la encuesta conjunta de la OCDE y Eurostat. La encuesta de la UNSD y el PNUMA obtiene estadísticas sobre recursos de agua dulce renovables, extracción y uso de agua dulce, generación y tratamiento de aguas residuales y la población que cuenta con tratamiento de aguas residuales (UNSD, s.f.). Los datos sobre las características generales y la calidad de los desechos industriales y las aguas residuales se pueden encontrar en los registros de emisiones y transferencias de contaminantes (PRTR, por sus siglas en inglés) de los países (ver Capítulo 14).

Además de la información sobre la generación, el tratamiento y el uso de aguas residuales, un análisis de los estudios sobre la gestión de aguas residuales de ONU-Agua (2015a) reveló otras brechas de datos importantes, incluida información sobre la condición de la infraestructura existente de aguas residuales, el rendimiento del tratamiento de aguas residuales, el destino de los lodos fecales y el volumen, la calidad y la ubicación de las aguas residuales utilizadas en el riego. AQUASTAT (s.f.a.) está desarrollando un conjunto de datos mundiales precisos para la producción de aguas residuales.

PARTE

EJE TEMÁTICO

Capítulo 5 | Aguas residuales municipales y urbanas

Capítulo 6 | Industria

Capítulo 7 | Agricultura

Capítulo 8 | Ecosistemas

CAPÍTULO 5

ONU-Habitat | Graham Alabaster, Andre Dzikus y Pireh Otieno

AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y URBANAS

Aguas residuales en el canal Ong Khlong Ang en Bangkok (Tailandia)

En este capítulo se examinan las fuentes y las consecuencias de las aguas residuales municipales y urbanas, y se destacan las perspectivas futuras para la generación de aguas residuales. Además, se establecen las oportunidades para la reutilización y el reciclaje de aguas.

Las aguas residuales municipales provienen de fuentes domésticas, industriales, comerciales e institucionales dentro de un asentamiento o comunidad de humanos. Las aguas residuales incluyen las aguas residuales municipales y la escorrentía urbana.

Como la generación de aguas residuales municipales y urbanas depende en gran medida de la forma y función de los sistemas urbanos, es necesario analizar con ojo crítico los patrones actuales y futuros de urbanización para elaborar métodos más sostenibles en la gestión de aguas residuales en las décadas venideras.

En la Figura 5.1 se presenta el desglose de la cobertura del saneamiento por región y, por ende, de la recolección formal de aguas residuales. Es claro que la primera opción para la recolección de aguas residuales de la mayor parte de los países desarrollados es el alcantarillado, si bien se utilizan servicios *in situ* en muchas áreas rurales y en zonas de urbanización no planificada (ver Capítulo 15).

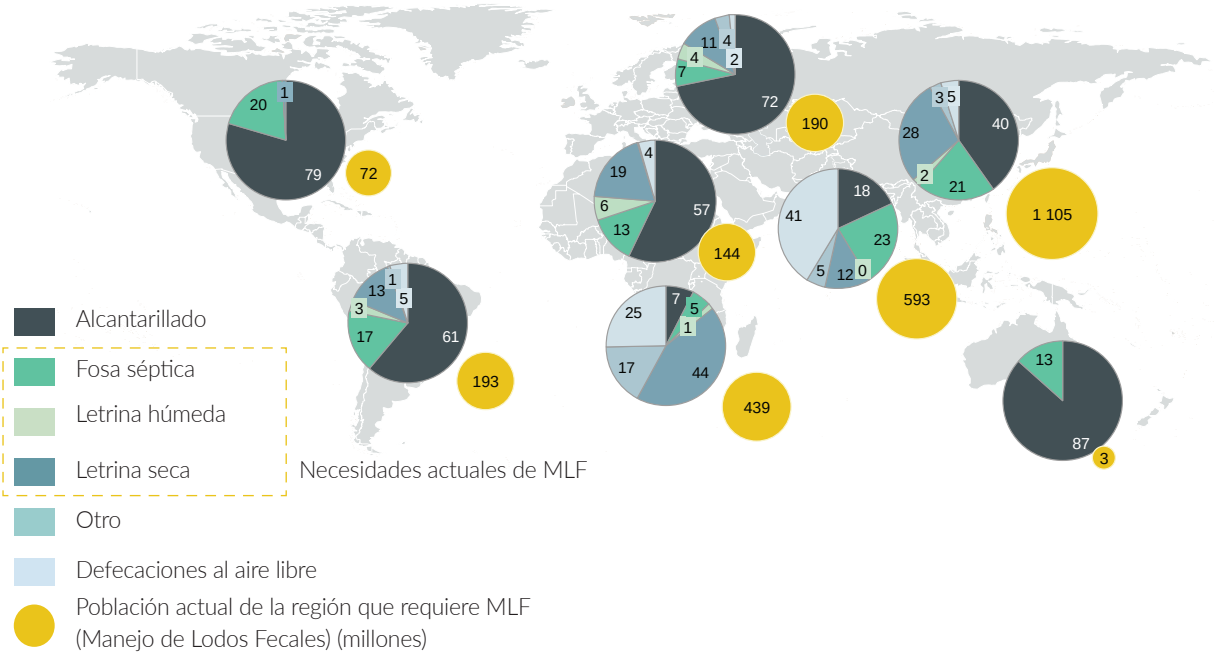
5.1 La urbanización y sus consecuencias en la generación de aguas residuales

En todo el mundo las áreas urbanas enfrentan enormes desafíos. La aceleración del crecimiento urbano, los cambios en las prácticas familiares y laborales, y la proliferación de asentamientos informales implicarán un reto cada vez mayor para la prestación de servicios. Esto se suma al impacto de los eventos extremos, el cambio climático y la migración en zonas en conflicto. La modificación de los patrones de urbanización produjo una mayor inequidad ya que las personas que viven en condiciones de pobreza en algunas regiones desarrolladas enfrentan los mismos desafíos que aquellas en regiones en desarrollo. Para el año 2030 se espera que la demanda mundial de energía y agua aumente 40% y 50%, respectivamente (ONU-Hábitat, 2016). Dicho crecimiento tendrá lugar sobre todo en las ciudades, lo cual implicará la aplicación de nuevos métodos para la gestión de aguas residuales. A su vez, la gestión de aguas residuales puede también brindar algunas de las respuestas necesarias para resolver otros desafíos, como la producción de alimentos y el desarrollo industrial.

5.2 Tipos urbanos

La definición de rural y urbano suele basarse en definiciones técnicas nacionales relativas a límites geográficos y no a la densidad de la población u otras características distintivas. Sin embargo, para comprender la generación de aguas residuales municipales es necesario analizar el concepto de

Figura 5.1 Porcentaje de la población que cuenta con diferentes sistemas de saneamiento



Fuente: Cairns-Smith et al. (2014, Fig. 8, p. 25, basado en datos de OMS/UNICEF JMP). Cortesía de Boston Consulting Group.

«urbano» como tipos urbanos diferentes que no solo generan aguas residuales de maneras distintas, sino que determinan las posibles opciones para la recolección, tratamiento y utilización de aguas residuales (ver Tabla 5.1). Según un análisis de los tipos urbanos habituales, se observa que las siguientes tipologías cubren la mayoría de los casos en los países desarrollados y en desarrollo:

- Los **grandes centros urbanos** incluyen megaciudades, áreas urbanas con un distrito comercial central (DCC) y zonas residenciales desarrolladas con diferentes niveles de población que disminuye progresivamente y se encuentra a mayor distancia del DCC. El centro de mayor tamaño puede estar conectado (o no) con centros satélites más pequeños por medio de corredores de transporte. Por lo general, estas ciudades cuentan con amplias redes de alcantarillado, pero algunas de ellas, como Lagos, Nigeria, prácticamente no reciben el servicio (ver Cuadro 5.1).

- Grandes **centros urbanos formados a partir de aglomeraciones urbanas**, donde dos o más centros urbanos definidos crecen paulatinamente, junto con su densidad de población, hasta que se fusionan, de cierta forma, en una única área metropolitana. Dichas áreas cuentan con amplias redes de alcantarillado en las zonas desarrolladas de lo que antes era el centro de cada ciudad, cuya conformación pudo ser variada, y suelen tener instalaciones de tratamiento y administraciones municipales independientes. Estos tipos de centros urbanos también cuentan con extensas áreas sin alcantarillado. Algunos ejemplos: la aglomeración urbana Accra-Tema en Ghana o la aglomeración urbana de pequeños centros en Metro Manila.

- Los **centros urbanos más pequeños** suelen ser ciudades con un pequeño DCC, quizás algunos satélites y una expansión radial lineal en las principales rutas. Generalmente, estos centros urbanos más pequeños cuentan con redes de alcantarillado muy limitadas y suelen depender de un sistema de saneamiento *in situ*. Pueden estar cerca de otros centros, pero tienen administraciones municipales diferentes y, por lo tanto, responsabilidad institucional independiente.

- Las **grandes aldeas y las pequeñas ciudades** suelen ser compactas, pero prácticamente no presentan expansión periférica. Podría ser también el caso de asentamientos establecidos en torno a actividades industriales o comerciales. Algunos ejemplos: campus universitarios, aeropuertos y minas.

CUADRO 5.1 ALCANTARILLADO Y ELIMINACIÓN DE DESECHOS EN LAGOS, NIGERIA

Si bien en el Estado de Lagos se genera 1,5 millones de m^3 de aguas residuales por día (aproximadamente 550 millones m^3 anualmente), la megaciudad no cuenta con un sistema central de alcantarillado. Menos del 2% de la población cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales externas y solo las aguas residuales de inodoros están conectadas a fosas sépticas y pozos de infiltración. Otros desechos líquidos del hogar se vierten directamente en las canaletas, casi todas abiertas, frente a las casas o en la calle. A la larga, las aguas residuales se filtran o son arrastradas por la lluvia hacia las masas de agua. Las fosas sépticas y los pozos de infiltración que se utilizan en la recolección de aguas residuales de inodoros suelen contaminar las aguas subterráneas poco profundas, que constituyen una fuente hídrica vital para la mayoría de los residentes de ingresos bajos y medios. Además, la megaciudad no cuenta con una planta de tratamiento de lodos fecales, que, en su mayoría se evacúa en la Laguna de Lagos, especialmente en áreas como Iddo, Makoko, Ajegunle y otros. La contaminación fecal del sistema hídrico y el ambiente de la megaciudad a causa de la gestión deficiente de las aguas residuales constituye un problema sanitario de magnitud. La negligencia de las autoridades, la corrupción y la extrema pobreza, junto con una población que crece rápidamente y sin control, deterioraron la infraestructura actual de Lagos. Con una población actual de aproximadamente 18 millones y una tasa de crecimiento anual del 3%, se estima que el Estado de Lagos superará los 23 millones de personas para el año 2020. Es necesario aunar esfuerzos de forma urgente para evitar que se sigan contaminando los recursos hídricos.

Fuente: Major et al. *(2011) y Nlé (2012).*

- Las **zonas rurales** suelen contar únicamente con sistemas *in situ*, sin ningún tipo de sistema de alcantarillado formal. Es posible que se realicen algunas tareas de gestión de la escorrentía urbana.

La clasificación de los centros se realiza según la región. En China, por ejemplo, un centro urbano con una población de cinco millones se puede considerar una ciudad «pequeña». Además, las categorías mencionadas anteriormente pueden incluir poblaciones de barrios marginales. La proporción de barrios marginales suele ser mayor en grandes ciudades porque hay mayores oportunidades de conseguir empleo y es necesario contar con viviendas sociales (ONU-Hábitat, 2016) pero, a su vez, estos barrios representan un desafío para los centros urbanos más pequeños.

En los próximos diez o veinte años, las mayores tasas de urbanización se darán en centros urbanos más pequeños de entre 500.000 y un millón de habitantes (ONU-Hábitat,

Tabla 5.1 Tipologías urbanas y aguas residuales, y drenaje urbano sostenible

Tipología urbana	Probabilidad de amplias redes de alcantarillado	Presencia de sistemas *in situ*	Poblaciones barrios marginales	Tipo de tratamiento	SUDS*	Nivel generación aguas residuales	Potencial reutilización/ recuperación
Grandes centros urbanos	Sí	Improbable	Generalizados	Centralizado/ descentralizado	Óptimo		Alto
Grandes centros urbanos a partir de aglomeraciones urbanas	Sí, pero no hay una para cada centro	Improbable	Considerable	Centralizado	Óptimo	Alto	Alto
Centros urbanos urbanos	Improbable	Probable	Posible	Descentralizado o fosa séptica		Medio	Alto/ localizada
Grandes aldeas y pequeñas ciudades	Muy poco probable	Muy probable	Posible	Fosa séptica		Reducido	Posible
Zonas rurales	Inexistente	Muy probable	Improbable	Centralizado		Insignificante	Insignificante/ reutilización doméstica

* *SUDS: Sistema de alcantarillado sostenible*

Fuente: Autor.

2016). Esto tendrá un impacto notable en la generación de aguas residuales y el potencial del tratamiento y utilización descentralizados.

5.3 Fuentes de las aguas residuales en los sistemas municipales y urbanos

La composición de las aguas residuales municipales varía considerablemente ya que refleja la gama de contaminantes liberados por las diferentes combinaciones de fuentes domésticas, industriales, comerciales e institucionales.

A través del tipo urbano específico y el entorno legislativo o institucional se suele establecer la forma en que se recolectan y tratan estas aguas residuales (ver Capítulos 3, 4 y 15). Sin embargo, en la mayoría de los países, solo se recolecta formalmente una parte de las aguas residuales. Un porcentaje elevado de estas aguas, que provienen sobre todo de entornos de bajos ingresos, se elimina en el drenaje de agua superficial o el canal de drenaje informal más próximo.

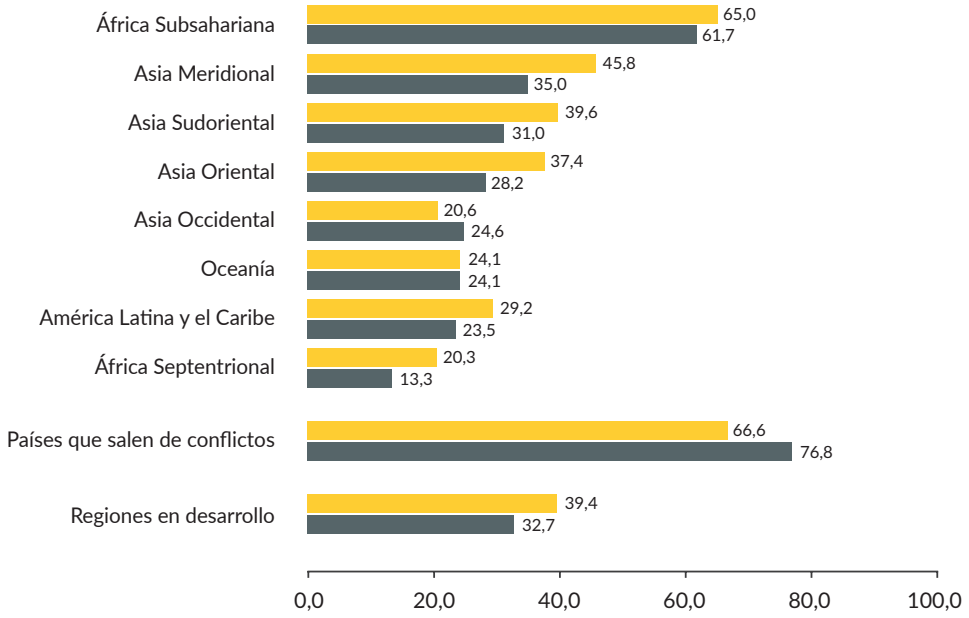
En aquellas economías altamente industrializadas o en vías de desarrollo, y donde los sistemas legislativos no son fuertes, gran parte de las aguas residuales se mezcla antes de su tratamiento y vertido. Donde el saneamiento hídrico es la norma, el llamado «alcantarillado combinado» sigue siendo habitual. Se trata de un método perfectamente lógico cuando se utilizan grandes volúmenes de agua para activar la cisterna, lo cual genera lodos residuales diluidos que se mezclan con otras fuentes de aguas residuales (ONU-Hábitat, s.f.).

Es importante señalar que, en muchos casos, los grandes volúmenes de aguas residuales que se vierten lícitamente en redes de saneamiento deterioradas y operadas deficientemente, tanto redes combinadas como separadas, nunca llegan a una planta de tratamiento. Un gran porcentaje se pierde en el camino por daños en las tuberías o termina en drenajes de agua superficial, lo cual contamina cursos de agua subterráneos y superficiales. Existen también muchos casos de comunidades que reutilizan el agua de forma ilegal, al modificar intencionalmente los sistemas de colectores principales.

5.3.1 Saneamiento y generación de aguas residuales en barrios marginales

La generación de aguas residuales implica uno de los mayores retos asociados con el crecimiento de asentamientos informales (barrios marginales) en los países en desarrollo. Si bien la proporción de habitantes de barrios marginales en las zonas urbanas disminuyó levemente a partir de 2000 en porcentaje (ver Figura 5.2), hay más habitantes en dichos barrios en 2012 que en 2000. En el África Subsahariana, el 62% de la población urbana vive en barrios marginales. Los datos estadísticos más inquietantes provienen de países que salen de conflictos y de Asia Occidental, donde la proporción

Figura 5.2 Proporción de población urbana en barrios marginales 2000-2012



Nota: Países que salen de conflictos incluidos en las cifras totales: Angola, Camboya, República Centroafricana, Chad, República Democrática del Congo, Guinea-Bisáu, Iraq, República Democrática Popular Lao, el Líbano, Mozambique, Sierra Leona, Somalia y Sudán.

Fuente: Basado en datos de ONU-Hábitat (2012, Tabla 3, p. 127).

de habitantes que viven en barrios marginales pasó de 67% a 77%, y de 21% a 25%, respectivamente (ONU-Hábitat, 2012).

Los barrios marginales varían según tipo, formato y densidad de población. Sin embargo, la mayoría carece de carreteras pavimentadas, vivienda sostenible, infraestructura hídrica y de saneamiento y drenaje. En estas situaciones, los altos niveles de materia fecal y desechos sólidos se eliminan en los canales y cunetas de drenaje de agua superficial. La precaria eliminación de desechos sólidos provoca obstrucciones en los sistemas de drenaje, lo cual causa inundaciones. Los flujos de aguas residuales y escorrentía urbana que no son recolectados suelen conllevar los mismos niveles de toxicidad y riesgos para la salud que las aguas residuales de alcantarillado. Si bien numerosos barrios marginales dependen del saneamiento *in situ,* habitualmente no se logra contener la materia fecal y las aguas residuales se generan de todas formas, ya que los residentes suelen utilizar letrinas como baños para higiene personal con las llamadas «duchas con balde».

Los habitantes de los barrios marginales generalmente deben utilizar sanitarios comunales que no están conectados a una red de saneamiento, espacios abiertos, o recurren a eliminar las heces en bolsas de polietileno (es decir, inodoros voladores). Los sanitarios comunales no son muy utilizados por la falta de agua, mantenimiento y el costo que le implica al usuario. Según un estudio realizado en los barrios marginales de Nueva Delhi, una familia promedio de bajos ingresos con cinco integrantes llegaba a destinar el 37% de sus ingresos en instalaciones sanitarias comunales (Sheikh, 2008). Poder encontrar un lugar adecuado para ir al baño resulta particularmente problemático para las mujeres, implica riesgos en materia de seguridad personal e higiene y es un motivo de vergüenza.

5.4 Composición de las aguas residuales municipales y urbanas

La composición exacta de las aguas residuales varía en el mundo y está determinada por un amplio conjunto de factores, entre ellos el uso doméstico del agua y el nivel de comercialización/industrialización. En la Tabla 5.2 se muestran parámetros seleccionados (ONU-Agua, 2015a). En las regiones desarrolladas, es probable que la relación DBO:DQO[4] sea menor que en el mundo en desarrollo, por una mayor proporción de aguas residuales industriales. Esto implicará una menor idoneidad del agua para

[4] La **demanda bioquímica de oxígeno** (DBO) es la cantidad de oxígeno disuelto que necesitan (es decir, requieren) los organismos aerobios para descomponer el material orgánico presente en determinada muestra de agua a determinada temperatura en un periodo específico.

La **demanda química de oxígeno** (DQB) es un parámetro estándar que mide el grado de contaminación (que no puede ser oxidada por medios biológicos) en una muestra de agua. A mayor demanda química de oxígeno, mayor contaminación (sobre todo inorgánica) en la muestra.

Si la **relación DBO:DQO** de las aguas residuales es igual o mayor a 0,5, se considera que el agua puede ser tratada fácilmente con medios biológicos. Si la relación es menor a 0,3 aproximadamente, quizás los desechos tengan componentes tóxicos, o tal vez se necesiten microorganismos aclimatados para lograr su estabilización.

Tabla 5.2 Composición de las aguas residuales sin tratar en determinados países

Parámetros	EE. UU.	Francia	Marruecos	Pakistán	Jordania
Demanda bioquímica de oxígeno	110-400	100-400	45	193-762	152
Demanda química de oxígeno	250-1000	300-1000	200	83-103	386
Sólidos suspendidos	100-350	150-500	160	76-658	nd
Potasa y nitrógeno totales	20-85	30-100	29	nd	28
Fósforo total	4-15	1-25	4–5	nd	36

Fuente: ONU-Agua (2015a, Tabla 5, p. 28, basado en Hanjra et al., *2012).*

Tabla 5.3 Principales contaminantes de las aguas residuales, su fuente y efectos

Contaminante	Parámetros representativos principales	Fuente				Posibles efectos del contaminante
		Aguas residuales		Escorrentía		
		Domésticas	Industriales	Urbana	Agrícola y de pastoreo	
Sólidos suspendidos	Total de sólidos suspendidos	xxx	← →	xx	x	• Problemas estéticos • Depósitos de lodos • Adsorción del contaminante • Protección de patógenos
Materia orgánica biodegradable	Demanda bioquímica de oxígeno	xxx	← →	xx	x	• Consumo de oxígeno • Muerte de peces • Condiciones sépticas
Nutrientes	Nitrógeno, fósforo	xxx	← →	xx	x	• Crecimiento excesivo de algas • Toxicidad para los peces (amoníaco) • Enfermedades en recién nacidos (nitrato) • Contaminación del agua subterránea
Patógenos	Coliformes	xxx	← →	xx	x	• Enfermedades transmitidas por el agua
Materia orgánica no biodegradable	Pesticidas, algunos detergentes, otros	x	← →	x	xx	• Toxicidad (varios) • Espuma (detergentes) • Reducción de la transferencia de oxígeno (detergentes) • No biodegradabilidad • Mal olor (es decir, fenoles)
Metales	Elementos específicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, etc.)	x	← →	x		• Toxicidad • Inhibición del tratamiento biológico de lodos residuales • Problemas con el uso agrícola de lodos • Contaminación de las aguas subterráneas
Sólidos inorgánicos disueltos	Total de sólidos disueltos, conductividad	xx	← →		x	• Salinidad excesiva – daño a las plantaciones (riego) • Toxicidad para las plantas (algunos iones) • Problemas con la permeabilidad del suelo (sodio)

x: pequeño xx: medio xxx: alto flechas: variable vacío: por lo general, sin importancia

Fuente: Von Sperling (2007, Tabla 1.2, p. 7).

Tabla 5.4 Lista roja de sustancias

1	1.2-dicloroetano [1.2-DCA o EDC]
2	Aldrina
3	Atrazina
4	Metil azinfos
5	Cadmio
6	Isómeros DDT
7	Diclorvós
8	Dieldrina
9	Endrina
10	Fenitrotión
11	Hexaclorobenceno [HCB]
12	Hexaclorobutadieno [HCBD]
13	Hexaclorociclohexano [HCH]
14	Malatión
15	Mercurio
16	Pentaclorofenol [PCP]
17	Bifenilo policlorado [PCB]
18	Simazina
19	Tributilestaño [TBT]
20	Triclorobenceno [TCB]
21	Trifluralina
22	Trifenilitina [TPT]

Fuente: Environment Agency (2009, p. 4).

recibir tratamiento biológico. En algunas zonas, los altos niveles de sustancias inorgánicas, sulfatos y alcalinidad, por ejemplo, pueden afectar la idoneidad de las aguas residuales para usos postratamiento. Generalmente, los sulfatos suelen producir sulfuro de hidrógeno, que puede corroer el alcantarillado. Es probable que por una alta alcalinidad o la dureza del agua se formen depósitos de cal y afecten la idoneidad del agua para su reutilización como agua de proceso, por ejemplo. En la Tabla 5.3 se presentan algunos de los principales contaminantes probablemente presentes en diferentes fuentes de agua residuales (ver también Tabla 4.1).

5.4.1 Aguas residuales de fuentes especialmente peligrosas

Si bien las aguas residuales de fuentes domésticas no suelen contener sustancias peligrosas, preocupa cada vez más la posibilidad de que algunos medicamentos que se utilizan habitualmente, aun en bajas concentraciones, puedan tener consecuencias a largo plazo, especialmente los alteradores (Falconer, 2006).

Aquellas industrias que utilizan sustancias de la «Lista Roja» (ver Tabla 5.4) en sus procesos productivos deben garantizar el cumplimiento de las normas de vertido, lo cual no siempre sucede. Los entornos normativos varían de forma apreciable. En este sentido, cobran especial importancia las industrias artesanales y los negocios de pequeña escala, a los que les está «permitido» operar o lo hacen de forma ilegal. En contextos informales, actividades como la recuperación de plomo de baterías, la minería y el procesamiento de minerales a pequeña escala y el funcionamiento de talleres automotrices, estaciones de lavado de vehículos pueden conllevar graves riesgos. No se ha publicado suficiente información sobre estas industrias informales.

Existen pequeños hospitales y clínicas (y algunos establecimientos de mayor tamaño), sobre todo en países en desarrollo, donde se vierten residuos hospitalarios sin tratar. Los métodos de cultivo intensivo y el uso excesivo de antibióticos en la cría de animales han provocado altas concentraciones de estos desechos en las aguas residuales municipales cuando dichos establecimientos vierten sus aguas en el alcantarillado municipal. Es así que aumenta el riesgo de resistencia a los antimicrobianos (RAM) (Harris *et al.*, 2013).

Otras fuentes incluyen las unidades de agricultura intensiva y los grandes desagües de aguas pluviales en zonas peligrosas e industriales. En la Tabla 5.5 se aprecian cifras aproximadas de la generación de aguas residuales en establecimientos comerciales e industrias. Si bien no hay datos en esta tabla, cabe destacar que las aguas residuales que provienen de establecimientos donde se procesan bebidas y alimentos también suele contener concentraciones relativamente altas de DBO. No es fácil tratar este tipo de desechos, lo cual representa una excelente oportunidad para las actividades de recuperación del energía (ver Capítulo 6).

5.5 Tipos urbanos y el potencial de uso de las aguas residuales municipales y urbanas

Diferentes aspectos determinan el potencial de utilización de aguas residuales municipales y urbanas: en primer lugar, el nivel de contaminación cruzada de las aguas residuales y, en segundo lugar, la aplicación y su ubicación. La escasez de agua y el costo y disponibilidad de nuevas fuentes de agua también constituyen factores importantes. Es claro que es preferible limitar el vertido de sustancias peligrosas al alcantarillado, especialmente aquellas que hacen que el agua sea difícil de tratar. La escorrentía urbana, por ejemplo, se podría reutilizar directamente para determinados fines, pero cuando se mezcla con aguas negras necesita tratamiento adicional.

CUADRO 5.2 REUTILIZACIÓN POTABLE INDIRECTA EN FUNCIONAMIENTO, SAN DIEGO, CALIFORNIA

En San Diego se bebe agua reciclada porque la ciudad importa el 85% de su agua de California del Norte y del Río Colorado, donde las comunidades aguas arriba, tales como Las Vegas, vierten aguas residuales que son luego tratadas para transformarse en agua para el consumo. San Diego, donde se reciclan las aguas residuales para destinarlas al riego, invirtió USD 11,8 millones para investigar la posibilidad de aplicar la reutilización potable indirecta (RPI) debido a las restricciones recientes sobre el agua de California del Norte y por la sequía del Río Colorado. El proyecto piloto realizado en la planta de recuperación de agua North City Water Reclamation Plant finalizó en 2013. En su momento, en su establecimiento para la purificación avanzada del agua se generaban casi 3,8 millones de litros de agua purificada por día, si bien no se enviaba agua al depósito.

En San Diego resulta más económico recurrir a la RPI que reciclar aguas residuales para el riego, porque el agua para riego debería transportarse a través de tuberías de color morado para separarla del agua potable, y ampliar la infraestructura de dichas tuberías sería más costoso que la RPI. A su vez, reciclar agua es menos costoso que desalinizar el agua del mar. Por ejemplo, en el condado de Orange, la RPI tiene un costo de USD 800-850 para generar agua potable suficiente para dos familias de cuatro integrantes durante un año. La desalinización de la misma cantidad de agua de mar costaría USD 1.200-1.800 debido al consumo energético que se necesita.

Para hacer frente a su creciente población y a la intrusión salina en las aguas subterráneas, en enero de 2008 el Distrito de Recursos Hídricos del Condado de Orange, en California, abrió una planta de recuperación de agua con tecnología de punta con un valor de USD 480 millones, la mayor de su clase en los Estados Unidos. Su funcionamiento insume USD 29 millones al año. Luego del tratamiento avanzado de aguas, la mitad del agua reciclada se inyecta en el acuífero para crear una barrera contra la intrusión salina. La otra mitad se destina a un estanque de percolación para que continúe el proceso de filtración en los suelos y, luego de aproximadamente seis meses, el agua potable se deposita en los pozos correspondientes. En 2011 se estimaba que la producción era de más de 300 millones de litros por día.

Fuente: Fragmento de Cho (2011).

Tabla 5.5 Ejemplos de datos de aguas residuales industriales

Tipo de industria	Generación de aguas residuales (m3/tn)	Rango (m/tn)	DQB (kg/m)	Rango de DQB (kg/m)
Refinado de alcohol	24	16-32	11	5-22
Cerveza y malta	6,3	5-9	2,9	2-7
Café	n/d	n/d	9	3-15
Productos lácteos	7	3-10	2,7	1,5-5,2
Procesado de pescados	n/d	8-18	2,5	
Carne y aves	13	8-18	4,1	2-7
Químicos orgánicos	67	0-400	3	0,8-5
Refinerías de petróleo	0,6	0,3-1,2	1,0	0,4-1,6
Plástico y resinas	0,6	0,3-1,2	3,7	0,8-5
Pulpa y papel (combinados)	162	85-240	9	1-15
Jabón y detergentes	n/d	1-5	n/d	0,5-1,2
Producción de almidón	9	4-18	10	1,5-42
Refinado de azúcar	n/d	4-18	3,2	1-6
Aceites vegetales	3,1	1-5	n/d	0,5-1,2
Verduras, frutas y jugos	20	7-35	5,0	2-10
Vino y vinagre	23	11-46	1,5	0,7-3,0

n/d: No disponible

Fuente: Doorn et al. (2006, Tabla 6.9, p. 622, basado en Doorn et al., 1997).

CUADRO 5.3 USO DE AGUAS RESIDUALES EN SISTEMAS DE ACUICULTURA EN CALCUTA: UNA INNOVACIÓN CENTENARIA DE LOS AGRICULTORES

Hace ya casi cien años, los agricultores cercanos a la ciudad de Calcuta crearon una técnica de utilización de las aguas residuales para la piscicultura y otras actividades agrícolas. Es una técnica muy utilizada para cubrir la demanda creciente de pescado en esta ciudad de la India, tan densamente poblada. Se trata de una técnica única, que conforma el mayor sistema operativo del mundo donde se convierten los desechos en productos consumibles. Las aguas residuales y la escorrentía urbana generadas en el área metropolitana de Calcuta (más de 13 millones de habitantes) representan aproximadamente 600 millones de litros de efluentes al día. En la década de los años 30 comenzó la utilización de aguas residuales a gran escala para la piscicultura. Tras el éxito de las actividades de piscicultura en estanques de aguas residuales estabilizados, que se utilizaban como fuente de agua para cultivar verduras, se impulsó la ampliación a gran escala de un sistema de piscicultura con aguas residuales. El área donde se aplica este sistema de cultivo único llegó a tener 12.000 ha, pero en los últimos años se registró una fuerte disminución por el aumento de la presión que representa la urbanización. En la actualidad, el área que se destina a esta práctica cuenta con menos de 4.000 ha, y se han visto gravemente afectadas las personas que viven en condiciones de pobreza que dependen de estos humedales para tener un medio de subsistencia. Sin embargo, incluso en la actualidad, una proporción importante del pescado que se consume en la ciudad de Calcuta proviene de este sistema. Se ha llamado al gobierno a declarar santuario el área actual de acuicultura con aguas residuales, y a protegerla de la invasión de la creciente población de la ciudad de Calcuta. Además, también se destinan 12.000 ha al cultivo de verduras.

Fuente: Fragmento de Nandeesha (2002, p. 28).

Las motivaciones para la reutilización son legislativas y tienen un trasfondo sobre todo de carácter económico. Si se dispone de agua previamente utilizada a un precio menor o similar (incluido el costo del transporte), esta será considerada por sobre las fuentes tradicionales de agua dulce. En algunos países o regiones donde escasea el agua, la necesidad se impone y propicia un alto nivel de reutilización.

La reutilización de agua en la agricultura constituye una de las áreas con gran potencial. Ya se realiza formal e informalmente en muchos países (ver Capítulos 6 y 16). En las zonas periurbanas, la reutilización permite producir alimentos cerca del área de consumo.

5.5.1 Reutilización como agua potable

Si bien se realiza en algunos lugares (ver Sección 16.1.2), la utilización de aguas residuales municipales tratadas para el consumo no es una práctica demasiado habitual. La población de algunos países, a saber Australia, Namibia y Singapur, ya bebe aguas residuales tratadas, así como también lo hacen personas en los Estados Unidos, inclusive en California, Virginia y Nuevo México. Por lo general es agua segura, pero la opinión pública se ve influenciada por aquellos que hablan de la reutilización «del inodoro al grifo» para desalentar este uso.

Cada vez es más común la reutilización potable indirecta (RPI), en la que las aguas residuales tratadas se suman a las fuentes subterráneas o superficiales (donde son tratadas nuevamente) y donde se transforman en agua potable (ver Cuadro 5.2). Luego del tratamiento terciario, el agua se vierte en un depósito de almacenamiento donde permanece durante seis meses o más. Con este nivel de tratamiento se puede apaciguar el miedo del público con respecto al agua «del inodoro al grifo». En la práctica, un gran porcentaje de las aguas residuales tratadas y no tratadas se vierte en cursos de agua y se utiliza aguas abajo como suministro de agua.

5.5.2 Reutilización como agua no potable: industrial, comercial, recreativa y en la agricultura periurbana.

La reutilización local presenta una mejor viabilidad económica si el lugar de la reutilización se encuentra cerca del sitio de producción. Muchos establecimientos industriales y comerciales necesitan agua de proceso y pueden instaurar mejores procedimientos internos para reducir su dependencia del consumo de agua y de la generación de aguas residuales, así como también los costos asociados. Las empresas pueden reutilizar directamente parte de las aguas residuales sin tratar, siempre que las mismas tengan la calidad necesaria. Entre las fuentes aceptables se encuentran el agua de proceso para refrigeración o calefacción, y las aguas pluviales de la recolección de techos de industrias y comercios o de plataformas y pistas de aeropuertos.

Se suele recurrir a la simbiosis industrial (ver Capítulo 6) para describir las asociaciones y la cooperación entre dos o más industrias diferentes para mejorar tanto el rendimiento ambiental como la capacidad competitiva al intercambiar y optimizar recíprocamente material, energía y flujos de agua. En el caso de la reutilización de aguas, a menudo sucede algo similar a escala local.

Los subproductos de una industria se transforman en materias primas en otras. De forma análoga, el agua de refrigeración se puede utilizar para la recuperación del calor o en la producción (Industrial Symbiosis Institute,

2008). Algunas veces las asociaciones comparten la gestión de los servicios principales o auxiliares (ver Cuadro 6.4).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, 2004) explica claramente los sistemas urbanos de reutilización que proporcionan aguas residuales parcialmente tratadas (tratamiento «adecuado a los fines») para diversos usos no potables, inclusive:

- riego de parques y centros de recreación públicos, campos de deportes y atletismo y patios de escuelas, islas y banquinas en carreteras, y zonas ajardinadas circundantes a edificios y servicios;
- riego de zonas ajardinadas circundantes a residencias de una o varias familias, lavado en general y otras actividades de mantenimiento;
- riego de zonas ajardinadas circundantes a establecimientos comerciales, de oficinas e industriales;
- riego de campos de golf;
- usos comerciales, como locales de lavado de vehículos, lavaderos, lavado de ventanas, y la mezcla de agua para pesticidas, herbicidas y fertilizantes líquidos;
- usos paisajísticos ornamentales y usos decorativos del agua, como fuentes, piscinas reflectoras y cascadas.

En los sistemas de distribución dual, las aguas residuales parcialmente tratadas llegan a los clientes a través de una red paralela de cañería de distribución, independiente del sistema de distribución de agua potable de la comunidad. El sistema de distribución de agua recuperada pasa a ser un tercer servicio hídrico, junto con las aguas residuales y el agua potable. Los sistemas de agua recuperada se operan, mantienen y gestionan de forma similar al sistema de agua potable (US EPA, 2012). Hace ya un tiempo que se practica el uso directo de aguas residuales municipales, por ejemplo, en San Petersburgo, Florida, donde se suministra agua recuperada a diferentes propiedades residenciales, locales comerciales y parques industriales, y también a una central eléctrica de recuperación de recursos, un estadio de béisbol y algunas escuelas (US EPA, 2004).

El suministro de alimentos seguros y con valor nutricional a los habitantes de las ciudades representa un verdadero desafío. La agricultura periurbana constituye una solución pero, a su vez, necesita agua adecuada. Las aguas residuales municipales, si bien informalmente, suelen usarse sin tratamiento, lo cual presenta graves riesgos tanto para los agricultores como para los consumidores del alimento. Las costumbres sociales y los hábitos alimenticios destacan el riesgo que implica dicha práctica. Un ejemplo de reutilización directa de aguas residuales lo constituyen los estanques que se utilizan en Calcuta, India (ver Cuadro 5.3).

5.6 Gestión de la escorrentía urbana

La adaptación al cambio climático intenta reducir los riesgos de inundación asociados con tormentas intensas. Sin embargo, cuando se realiza conjuntamente con el desarrollo urbano, se pueden atender algunos de los problemas relacionados con la gestión de aguas residuales urbanas. En las ciudades existe cada vez más preocupación sobre los efectos del cambio climático, que incluyen un riesgo mayor de sufrir inundaciones y temperaturas altas, sumado a una mayor demanda de agua potable segura (State of Green, 2015).

Las aguas pluviales en forma de escorrentía superficial aportan el equilibrio hídrico que necesitan las ciudades y también pueden recolectarse, para crear así áreas de recreación atractivas. En Dinamarca hallamos un buen ejemplo (ver Cuadro 5.4) que ilustra la posibilidad de utilizar aguas pluviales como recurso para crear ciudades más resilientes y habitables.

CUADRO 5.4 TRATAMIENTO DE ESCORRENTÍA DE AGUAS PLUVIALES EN ZONA INDUSTRIAL, KOLDING, DINAMARCA

El servicio público de aguas residuales de la ciudad de Kolding debía limpiar la escorrentía en un área altamente contaminada para proteger el ecosistema de un riachuelo cercano. El río estaba contaminado con aceites y sustancias peligrosas que provenían de una zona industrial donde se cargaban camiones y se almacenaban materiales en el exterior, en el patio de almacenamiento. Para resolver el problema, aplicaron HydroSeparator®, una solución automatizada y efectiva para mejorar la calidad del agua en varios recipientes y a la vez minimizar la necesidad de contar con cuencas de retención, todo lo cual implicaba un costo total mucho menor para los propietarios. Se estableció la capacidad máxima del HydroSeparator® a partir del requisito de un flujo máximo de vertidos de 200 l/s en el riachuelo. Cuenta con dos HydroSeparators estándar de 100 l/s cada uno, que funcionan de forma paralela o independiente. En la actualidad, la planta funciona automáticamente con costos operativos muy bajos. Se puede monitorear y controlar desde internet y con el sistema SRO conectado desde el servicio de aguas residuales de Kolding Spildevand.

Fuente: Fragmento de State of Green (2015, p. 18).

CAPÍTULO 6

ONUDI | Unidad de Eficiencia Industrial de Recursos y John Payne, John G. Payne & Associates Ltd.

INDUSTRIA

Canal de tratamiento de aguas residuales en una planta de energía

En este capítulo se explica el alcance y la naturaleza de la generación de aguas residuales industriales. También se destacan las oportunidades de uso y reciclaje de aguas residuales y la recuperación de energía y subproductos útiles al abordar desafíos sobre los recursos naturales en el contexto del desarrollo industrial sostenible.

Los albores de la revolución industrial del siglo XVIII, en los países actualmente desarrollados, marcó el comienzo del dilema de las aguas residuales industriales que enfrenta la sociedad. En ese entonces y ahora, como suele ser el caso, se vertían en cauces naturales creyendo erróneamente que «la solución a la contaminación es la dilución» y que las aguas pluviales eran los purgantes de la naturaleza.

La presión social y medioambiental, con el tiempo, dio lugar a un creciente movimiento que instó a la industria a reducir la cantidad de aguas residuales que produce y a tratarla antes de su eliminación. Esto se ha convertido en un cambio de paradigma importante. Ahora se ve a las aguas residuales como un potencial recurso y a su uso o reciclaje, después de un tratamiento adecuado, como una posibilidad de beneficiar tanto a la industria financiera y como económicamente. A su vez, esto complementa el panorama general de la industria verde, la responsabilidad social corporativa (RSC), la administración del agua y el desarrollo sostenible, que incluyen los ODS y específicamente las Metas 6.3 y 6.a, que tratan sobre las aguas residuales (ver Capítulo 2).

Estas consideraciones se aplican principalmente a las grandes industrias, algunas de las cuales tienen un alcance mundial en los países en desarrollo: muchas se están trasladando de los países de altos ingresos a mercados emergentes (WWAP, s.f.). Estas industrias tienen el tamaño y los recursos necesarios para aprovechar oportunidades e ingresar en la economía circular. Por el contrario, al carecer de este impulso, las pequeñas y medianas empresas (PYMES) y los sectores informales a menudo vierten sus aguas residuales en los sistemas municipales o directamente en el medio ambiente, lo cual conlleva diversos desafíos y oportunidades potencialmente perdidas (ver Capítulo 5).

6.1 Magnitud de la generación de aguas residuales industriales

Ya que se informa sobre el volumen de aguas residuales industriales en forma limitada y esporádica, el alcance real del potencial de este se desconoce en gran medida. A nivel mundial, los datos y la información relativos al volumen de aguas residuales producidas por la industria son muy escasos. Por otra parte, se debe distinguir entre el volumen total de generación de aguas residuales producidas y el volumen que en realidad se elimina, que suele ser más bajo debido al reciclaje. Se estima que el volumen de aguas residuales industriales se duplicará para el año 2025 (PNUMA IF, 2007).[5]

Sí se dispone de parte de la información consolidada sobre países desarrollados. En la UE, por ejemplo, datos limitados indican que la generación de aguas residuales ha disminuido en general (Eurostat, s.f.). Los datos también muestran que el sector manufacturero es el mayor generador de aguas residuales en los principales sectores industriales (ver Tabla 6.1). Por otra parte, los datos de algunos países indican que la industria es un contaminante importante, ya que solo parte de aguas residuales recibieron tratamiento antes de su eliminación (ver Tabla 6.2).

Un ejemplo atípico de información detallada a nivel de país (ver Tabla 6.3) es Canadá, que realiza encuestas bienales de aguas industriales que incluyen datos de las industrias de manufactura, minería y generación termoeléctrica (ver Cuadro 6.1).

Statistics Canada (2014) informa que la industria del papel genera casi el 40% del volumen de descargas de efluentes en el sector manufacturero, de las cuales casi el 80% recibe tratamiento secundario o biológico. Estos representaron el 32% del volumen de agua recirculada, mientras los metales primarios representaron casi el 50%. En general, en el sector manufacturero la tasa de recirculación (agua recirculada como un porcentaje de entrada) fue de casi 51%. En materia de gastos de agua relacionados con el sector manufacturero, alrededor del 38% se destinó al tratamiento de efluentes y casi el 10% a su recirculación. El sector de la energía termoeléctrica fue claramente el mayor consumidor y vertedor de agua, de la cual casi el 58% se vertió principalmente a cuerpos de aguas superficiales sin ser tratada. Su tasa de recirculación fue baja, aunque el volumen fue aproximadamente el doble del volumen del sector manufacturero.

La minería fue un poco diferente, con una tasa de recirculación superior al 100% (se utiliza principalmente para el procesamiento) y los volúmenes de descarga fueron superiores a los de entrada por la deshidratación.

[5] Es de suponer que se refiere a 2007, cuando se publicó el informe.

Tabla 6.1 Generación de aguas residuales por tipo de industria, 2011 (millones de m^3)

	Total industria	Minas y canteras	Sector manufacturero*	Producción y distribución de electricidad (excepto agua de enfriamiento) **	Construcción
Alemania[1]	1 534,6	227,6	1 180,6	75,4	0,6
Austria[1]	1 487,2	n/d	889,6	363,3	n/d
Bélgica[2]	530,0	42,0	239,9	7,9	0,4
Bosnia y Herzegovina	9,5	n/d	9,5	n/d	n/d
Bulgaria	153,6	12,5	91,3	37,9	0,6
Chipre[5]	1,9	n/d	1,9	0,0	n/d
Croacia	84,7	1,7	81,4	0,5	n/d
España[1]	6 335,2	47,2	602,0	n/d	n/d
Ex República Yugoslava[2]	687,7	9,2	408,1	251,6	n/d
Finlandia	n/d	n/d	14,4	26,5	14,7
Hungría[4]	154,3	17,8	129,7	3,9	0,0
Letonia[3]	45,5	5,5	20,2	6,1	1,3
Lituania	40,4	0,6	33,9	2,6	0,7
Polonia	n/d	342,9	484,6	79,8	6,6
Rumania	n/d	47,3	n/d	n/d	3,6
Serbia	76,8	10,3	36,3	30,2	n/d
Eslovaquia	192,2	20,5	163,0	7,9	0,1
Eslovenia	n/d	0,1	42,8	n/d	0,1
Suecia[1]	878,0	26,0	839,0	14,0	n/d
Turquía[1]	528,7	41,9	460,8	26,1	n/d

n/d: No disponible

[1] 2010
[2] 2009
[3] 2007
[4] 2006
[5] 2005

Notas:
*El sector manufacturero incluye: productos alimenticios; textiles; papel y productos de papel; productos refinados de petróleo, químicos y productos químicos; metales básicos; vehículos de motor, remolques, semirremolques y otros equipos de transporte; otros tipos de manufactura.
** La producción y distribución de energía eléctrica incluye la actividad de suministro de energía eléctrica, gas natural, vapor, agua caliente y similares a través de una infraestructura permanente (red) de líneas, cañerías y tuberías.

Fuente: Eurostat (n./d., Tabla 7). © Unión Europea, 1995-2016.

Tabla 6.2 Descarga de aguas residuales industriales después del tratamiento (como % del total de descargas), 2007-2011

	2007	2008	2009	2010	2011
Alemania	46,7	n/d	n/d	46,5	n/d
Bosnia y Herzegovina	0,0	56,0	62,5	65,4	58,5
Bulgaria	59,7	57,1	49,6	50,8	46,8
Croacia	0,0	17,0	16,8	25,7	8,5
Ex República Yugoslava de Macedonia	4,4	25,9	7,2	n/d	n/d
Lituania	0,0	73,5	72,5	60,4	51,8
República Checa	47,7	44,3	45,7	52,4	60,2
Rumania	0,0	12,7	9,7	14,1	5,6
Turquía	0,0	38,1	n/d	71,9	n/d

n/d: No disponible

Fuente: Eurostat (n./d., Fig. 5). © Unión Europea, 1995-2016.

CUADRO 6.1 ENCUESTAS SOBRE AGUA INDUSTRIAL EN CANADÁ

Tres sectores participan en la Encuesta sobre Agua Industrial en Canadá: manufactura, extracción de minerales y combustibles fósiles y plantas nucleares generadoras de energía eléctrica.

Cada sector tiene su propio cuestionario donde se recogen datos sobre el volumen de agua que va al establecimiento, incluida información sobre el origen, el propósito, el tratamiento y la posible recirculación del agua, y también los volúmenes y niveles de tratamiento antes de su eliminación.

Los cuestionarios se elaboran en colaboración con los usuarios de datos para satisfacer sus necesidades de información estadística. También se consultó a los encuestados en reuniones individuales para garantizar que la información solicitada estuviera disponible y que el cuestionario se podía llenar en un plazo razonable. Los datos se recogen directamente de los encuestados por medio de cuestionarios impresos enviados por correspondencia. La correspondencia se realiza en el año siguiente al año de referencia y se dirige a un «gestor o coordinador ambiental». Responder a la encuesta I es obligatorio y se pide a los encuestados que envíen las respuestas dentro de los 30 días siguientes a la recepción. En el paquete enviado por correo y los recordatorios por fax que se envían 45 días después del envío del correo se incluye una carta que explica el propósito de la encuesta, la fecha de devolución solicitada y la obligación legal de responder.

Los cuestionarios y guías de informes se pueden encontrar en: www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV. pl?Function=getSurvInstrumentList&Id=253674

Fuente: Adaptado de Statistics Canada (s.f.).

Si bien muchas compañías recaban y, de hecho, proporcionan datos sobre aguas residuales según la reglamentación, con algunas excepciones, en todos los sectores hay grandes vacíos en la recopilación de datos a escala nacional y mundial. Será necesario subsanar dichos vacíos antes de que la política de gestión de agua pueda avanzar para coordinar la utilización y consumo de agua con la generación de aguas residuales y vertidos, siendo esto último a menudo desestimado.

6.2 Naturaleza de las aguas residuales industriales

Existe una mayor disponibilidad de datos relativos a las características generales y la calidad de las aguas residuales industriales. La toxicidad, movilidad y carga de contaminantes industriales pueden tener mayores consecuencias que los volúmenes reales de agua en los recursos hídricos, la salud humana y el medio ambiente. Esto se refleja en los Registros de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (PRTR, por sus siglas en inglés) (ver Capítulo 14), que contienen información de los países desarrollados sobre las cantidades de sustancias contaminantes seleccionados (por encima de ciertos umbrales) emitidas por la industria en agua, tierra y aire (OCDE, s.f.). Se pueden analizar estas bases de datos para obtener una idea integral del nivel general de los posibles recursos recuperables entre los muchos contaminantes indeseables.

Diversas actividades industriales generan aguas residuales que se caracterizan por tener un amplio espectro de contaminantes (ver Tabla 6.4). Ya existe la tecnología necesaria para eliminar (o «minar»)

Tabla 6.3 Entrada de agua, descarga y recirculación en la industria canadiense, 2011 (millones de m3)

	Total	Sector manufacturero	Energía termoeléctrica (inclusive nuclear)	Minería
Entrada total	27.600	3.677,5	23. 497,2	429,2
% volumen total	100	13,3	85,1	1,6
Vertido total[1]	26.900	3.226,8	23.082,6	587,9
% volumen total	100	12,0	85,8	2,2
Tratamiento de vertido (%)				
Sin tratar		34,0	57,9	43,8
Primario		17,9	n/d	47,6
Secundario		36,2	<<1	n/d
Terciario		12,0	n/d	n/d
Recirculación	6.000	1.870,0	3.711,2	465,1
% volumen total	100	30,9	61,4	7,7
Tasa de recirculación [2] (como % de entrada)		50,8	15,8	108,4
Uso de recirculación (%)				
Agua de proceso		49,7		90,8
Enfriamiento, condensación, vapor		50,0	98,1	n/d
Control de contaminación			0,1	
Otros		0,3	<<1,7	n/d

[1] El volumen de vertido es mayor al volumen de entrada debido a la deshidratación de las aguas subterráneas en algunas minas.

[2] Tasa de recirculación = Cantidad de agua recirculada como porcentaje de la entrada. La misma agua puede dejar un subsistema y volver a ingresar en él, o se utiliza en otro subsistema muchas veces, lo que genera una tasa de recirculación superior al 100%.

n/d: No disponible

Fuente: Statistics Canada (2014).

estos contaminantes, cuya utilización se explica únicamente por su coste-efectividad en determinadas situaciones industriales. Se crean así dos productos: el agua tratada y los materiales recuperados. El agua se puede reciclar dentro de una planta u otra industria vinculada o simplemente eliminarse, volviendo así al ciclo hidrológico para uso de otros. En los EE.UU., se ha estimado que para algunos grandes ríos el agua se ha utilizado y reutilizado más de 20 veces antes de llegar al mar (TSG, 2014). Se pueden recuperar materiales útiles, tales como minerales (fosfatos) y metales (ver Capítulo 16). El agua de enfriamiento puede proporcionar calor. Los lodos residuales podrían producir biogás o quizás solo puedan ser eliminados.

6.3 El abordaje de las dificultades que implica el recurso

Si se aceptan a las aguas residuales como un insumo positivo en lugar de un producto no deseado de la actividad industrial que requiere eliminación, hay un proceso lógico y preferido que transforma la eliminación en un uso proactivo y el reciclaje.

6.3.1 Reducción y prevención de la contaminación

Al igual que con muchos problemas ambientales, el primer paso es prevenir o minimizar la contaminación. El objetivo es mantener el volumen y la toxicidad de la contaminación al mínimo en el punto de origen. Esto es fundamental en la nueva ingeniería industrial verde, donde la eliminación de la contaminación y aguas residuales es parte de la ecuación desde su concepción hasta el diseño para las operaciones y el mantenimiento. Sin embargo, si bien es posible rediseñar las plantas ya establecidas, quizás la contaminación sea la única opción. Esto incluye la utilización de materiales sin tratar y procesos químicos biodegradables más ecológicos, así como la educación y formación del personal para identificar los problemas de contaminación y así mitigarlos.

Tabla 6.4 Contenido de aguas residuales típicas en algunas industrias importantes

Industria	Contenido típico de los efluentes
Pulpa y papel	• Ácidos lignosulfónicos clorados, ácidos de resina clorados, fenoles clorados e hidrocarburos clorados. Alrededor de 500 compuestos orgánicos clorados identificados • Compuestos coloreados y halógenos orgánicos absorbibles (AOX) • Contaminantes que se caracterizan por DBO, DQO, sólidos en suspensión (SS), toxicidad y color
Hierro y acero	• Agua de enfriamiento que contiene amoníaco y cianuro • Productos de gasificación: benceno, naftaleno, antraceno, cianuro, amoníaco, fenoles, cresolese hidrocarburos aromáticos policíclicos • Aceites hidráulicos, sebo y sólidos en partículas • Agua ácida de enjuague y residuos de ácidos (clorhídrico y sulfúrico)
Minas y canteras	• Mezcla de partículas de roca • Tensioactivos • Aceites y aceites hidráulicos • Minerales no deseados, i.e., arsénico • Limos con partículas muy finas
Industria de alimentos	• Altos niveles de concentraciones de DBO y SS • DBO y pH variable según la verdura, fruta o carne y la estación • Procesamiento de verduras: partículas altas, algunos compuestos orgánicos disueltos, tensioactivos • Carne: orgánicos fuertes, antibióticos, hormonas de crecimiento, pesticidas e insecticidas • Gastronomía: material orgánico vegetal, sal, saborizantes, materia colorante, ácidos, álcalis, aceite y grasa
Destilación	• DBO, DQO, SS, nitrógeno, fósforo, variable por procesos individuales • Variable de pH debido a agentes de limpieza ácidos y alcalinos • Temperatura alta
Productos lácteos	• Azúcares disueltos, proteínas, grasas y residuos de aditivos • DBO, DQO, SS, nitrógeno, fósforo
Químicos orgánicos	• Pesticidas, productos farmacéuticos, pinturas y tintes, productos petroquímicos, detergentes, plásticos, etc. • Materiales de productos base, subproductos, material de producto en forma soluble o en partículas, agentes de lavado y limpieza, disolventes y productos de valor agregado tales como plastificantes
Textiles	• DBO, DQO, metales, sólidos en suspensión, urea, sal, sulfuro, H_2O_2, NaOH • Desinfectantes, biocidas, residuos de insecticidas, detergentes, aceites, lubricantes de tejer, acabados para hilar, solventes usados, compuestos antiestáticos, estabilizantes, agentes tensioactivos, auxiliares orgánicos de procesamiento, materiales catiónicos, color • Acidez o alcalinidad alta • Calor, espuma • Materiales tóxicos, residuos de limpieza, tamaño
Energía	• Producción de combustibles fósiles: Contaminación de pozos de petróleo y gas y *fracking* • Agua de calefacción/enfriamiento

Fuentes: Basado en IWA Publishing (s.f.), PNUMA (2010) y Moussa (2008).

6.3.2 Eliminación de contaminantes

Las industrias que descargan efluentes en los sistemas municipales o en aguas superficiales deben cumplir con ordenanzas de descarga u otras normativas para evitar multas, por lo que en muchos casos se requiere un tratamiento en la etapa final en la planta antes de su eliminación. En algunas situaciones, a las industrias les resulta también más económico pagar multas que invertir en el tratamiento para cumplir con la normativa (WWAP, 2015).

Los efluentes mixtos requieren complejos procesos de tratamiento y generan una calidad de vertido de aguas residuales que debe cumplir con la normativa local. Esta agua, como a menudo debe cumplir con una normativa muy estricta, puede ser innecesariamente de mayor calidad de la que se requiere para otros propósitos, como el reciclaje. Como suele ser más difícil y costoso tratar aguas residuales que contienen muchos contaminantes que aquellas con una sola de estas sustancias, frecuentemente es conveniente separar los flujos. También se debe evitar la mezcla de aguas residuales más concentradas con flujos que podrían ser adecuados para la descarga directa o el reciclaje (WWAP, 2006). Sin embargo, en algunos casos específicos, la mezcla apropiada de flujos de aguas residuales procedentes de diversas fuentes podría tener efectos beneficiosos en el tratamiento. De cualquier manera, el tratamiento adecuado a los fines puede optimizar la calidad del agua para su próximo uso.

Existe una gran variedad de posibles opciones de tratamiento, incluyendo las lagunas de estabilización, la digestión anaeróbica y los biorreactores para la producción de biogás, lodos residuales activados, diferentes tipos de membranas, radiación ultravioleta, ozonización, oxidación avanzada y el uso de los humedales de varios tipos (ver Tabla 4.2). En 2015, se esperaba que las industrias del petróleo y gas, alimentos y bebidas, y la minería dieran cuenta de más de la mitad de todos los gastos en tecnologías de tratamiento de aguas residuales y se esperaba un mayor crecimiento de la tecnología para cumplir con los estrictos requisitos de descarga, por ejemplo, en el sector de la minería (ver Cuadro 6.2). Para 2020, se prevé que el mercado de las tecnologías de tratamiento de aguas industriales crezca 50% (GWI, 2015).

Para 2020, se prevé que el mercado de las tecnologías de tratamiento de aguas industriales crezca un 50%

6.3.3 Reciclaje de aguas residuales y recuperación de subproductos

Con respecto al reciclaje dentro de una planta, en general, la industria está en buenas condiciones para utilizar o reciclar sus aguas residuales internamente. Esto podría implicar el uso directo de aguas residuales sin tratar, siempre que su calidad sea lo suficientemente buena para el propósito previsto. El agua de enfriamiento y calefacción, así como las aguas pluviales, pueden ser adecuadas para el lavado, ajuste del pH y protección contra incendios. Sin embargo, el agua de procesos que no se trata lo suficiente para que su calidad sirva para los fines previstos tiene más potencial para reciclaje, por ejemplo en materiales de transporte, agua de enjuague, torres de enfriamiento de agua, alimentación de calderas, necesidades de línea de producción, supresión de polvo y lavado (ver Cuadro 6.3). Esta calidad se logra mediante sistemas de tratamiento descentralizados. Si bien generalmente la tecnología está disponible, como se indica en el cuadro 6.2, y hay una tendencia a reducir la brecha entre el tratamiento y el reciclaje (GE Reports, 2015), los obstáculos pueden incluir su aplicación, costos que no superen los beneficios, períodos prolongados de recuperación, mantenimiento y aumento de consumo de energía. Por otra parte, la ubicación y la disponibilidad (intermitente, por lotes o producción continua) del flujo de aguas residuales deben coincidir con el uso previsto.

El uso de aguas residuales o aguas residuales tratadas por reciclaje es un proceso que se puede realizar muchas veces. No solo permite reducir los costos para la industria de la adquisición de agua dulce debido a la disminución de entrada de agua, en particular en áreas o tiempos de escasez, sino que también tiene la ventaja añadida de reducir las descargas. De esta manera, la necesidad de cumplir con las normas reglamentarias y el riesgo de multas se reducen al mínimo. Por otra parte, la práctica beneficia el medio ambiente y añade peso para que cualquier licencia social pueda operar.

CUADRO 6.2 PROYECTO DE ANGLO AMERICAN DE RECUPERACIÓN DE AGUA EN EMALAHLENI, MPUMALANGA, SUDÁFRICA

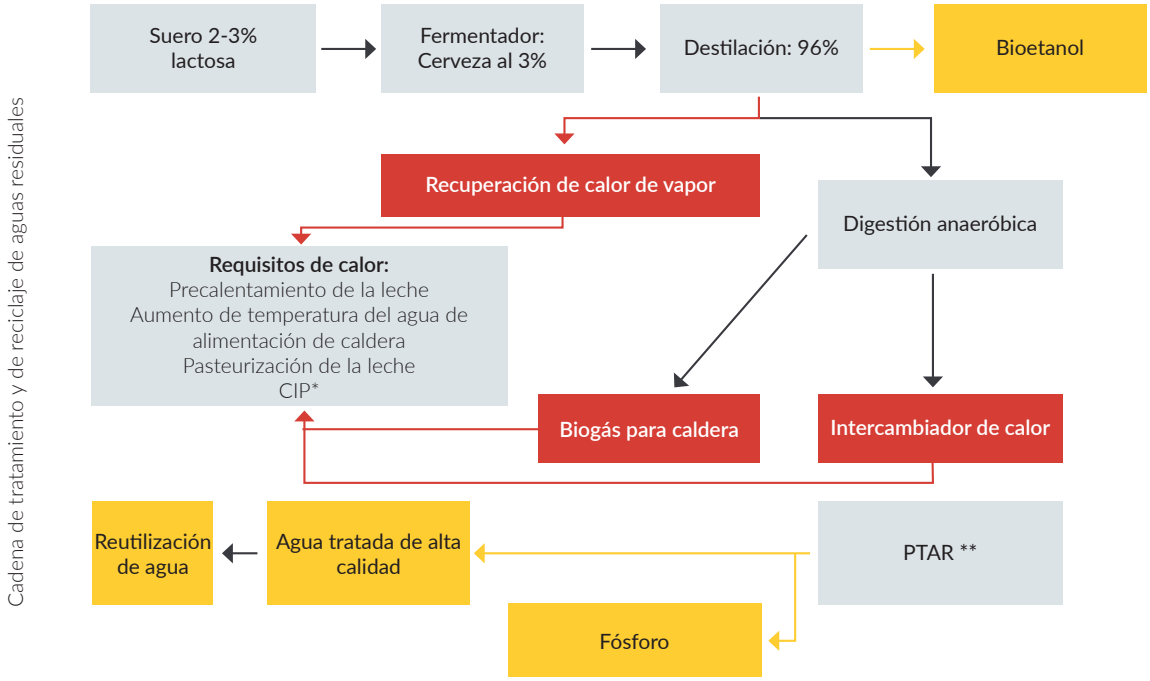
Los yacimientos de carbón de Witbank se encuentran alrededor de Emalahleni, una ciudad de medio millón de habitantes en el noreste de Sudáfrica. La región sufre de escasez de agua que se espera empeorará en el futuro, a su vez que Emalahleni ya tiene dificultades para cubrir las demandas de suministro de agua de su creciente población. La iniciativa de recuperación de agua se estableció para asegurar una gestión ambientalmente responsable del exceso de agua en las minas y un suministro continuo de agua tratada para actividades mineras, al tiempo que elimina la necesidad de importar agua y la consiguiente competencia con otras partes interesadas por un recurso escaso.

La planta de recuperación de agua de Emalahleni trata el agua de las tres operaciones de carbón térmico de Anglo American y utiliza la tecnología de desalinización. El agua de la mina se convierte en agua potable, agua de procesos/industrial y agua que puede evacuarse con seguridad en el ambiente. En el proceso de tratamiento, el yeso se separa del agua y se utiliza como material de construcción.

Parte de esta agua tratada se utiliza directamente en operaciones mineras, pero la mayoría es para uso social y cubre el 12% de la demanda diaria de agua de Emalahleni, a la vez que ofrece un suministro de agua fiable y potable. Anglo American está minimizando su huella hídrica e impacto ambiental al tiempo que ofrece beneficios a largo plazo de acceso seguro e ininterrumpido a las reservas de carbón de las minas en funcionamiento, y elimina tanto la necesidad de importar agua como el vertido sin control de agua de las minas participantes.

Fuente: Adaptado de WBCSD/IWA (s.f.).

CUADRO 6.3 USO CREATIVO DE AGUAS RESIDUALES EN CARBERY MILK PRODUCTS EN CORK, IRLANDA



*CIP: Limpieza *in situ* (por sus siglas en inglés)
**PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales

La industria láctea en los EE.UU. genera grandes cantidades de aguas residuales: por cada litro de leche se utilizan 1,5-3 litros de agua. Por lo general, el agua residual tiene aproximadamente 10 veces la carga orgánica de las aguas residuales municipales. El suero constituye un subproducto de la fabricación del queso y se usa habitualmente para alimentar cerdos o para la fabricación de otros productos. Sin embargo, hay un gran excedente cuyo tratamiento como aguas residuales es de alto consumo energético. El ingrediente principal del suero es la lactosa, la cual se puede fermentar y así transformar en etanol en un proceso creativo de reciclaje de aguas residuales. Carbery Milk Products de Cork, Irlanda, fue el primer productor lácteo en el mundo que hizo esto.

El suero se somete a una microfiltración y ósmosis inversa, y la lactosa pasa a un fermentador en donde se convierte en cerveza antes de pasar a un sistema de destilación para generar así un producto 96% etanol para el mercado de combustible bioetanol. Todo el bioetanol en Irlanda proviene de esta fábrica y este es el único país europeo que no utiliza el etanol en base a caña de azúcar de Brasil.

El vapor del proceso de destilación se recupera y utiliza para precalentar el agua de la caldera, el agua para la limpieza *in situ* (CIP) y para la pasteurización, con el consiguiente ahorro de energía.

El flujo de residuos de la fermentación se envía a un digestor anaeróbico y produce biogás que se utiliza para generar calentamiento adicional.

El agua caliente residual del digestor anaeróbico pasa a través de un intercambiador de calor para precalentar la leche entrante enfriada. Por lo tanto, el agua residual se enfría a una temperatura adecuada para luego ser vertida en el río local sin afectar el medio ambiente.

Al mismo tiempo, las aguas residuales tienen una gran concentración de fósforo del cual 99% se debe retirar antes de la descarga. El fósforo se recicla y vuelve a la tierra agrícola.

La compañía desea ampliar la planta, y el efluente tratado resultante de alta calidad puede servir para el reciclaje *insitu*, especialmente como agua de alimentación de la caldera, ya que la cantidad de agua que la planta puede extraer del río local es limitada. Por otra parte, el reciclaje reduciría el volumen de vertido al río, especialmente en el flujo bajo estacional, cuando la capacidad de dilución es menor. Se está investigando la opción de depurar el efluente de alta calidad utilizando oxidación avanzada, ya que es más económico que comprar agua potable. El agua entraría en la planta de ósmosis inversa, que desmineraliza el agua. Esto tiene el beneficio añadido de reducir el ensuciamiento de la membrana y la contaminación cruzada ya que no tiene contacto directo con los productos alimenticios.

Fuente: Adaptado de Blue Tech Research (s.f.).

CUADRO 6.4 SIMBIOSIS DE KALUNDBORG EN KALUNDBORG, DINAMARCA

La simbiosis industrial de Kalundborg es un «ecosistema industrial» donde se utilizan los subproductos de una empresa como recurso de otras empresas, en un ciclo cerrado. Se inició en 1961 con la creación de un nuevo proyecto con el fin de utilizar las aguas superficiales del lago Tissø para una nueva refinería de petróleo con el objetivo de aprovechar los limitados suministros de agua subterránea. La ciudad de Kalundborg estuvo a cargo de la construcción de la tubería mientras la refinería fue responsable de la financiación.

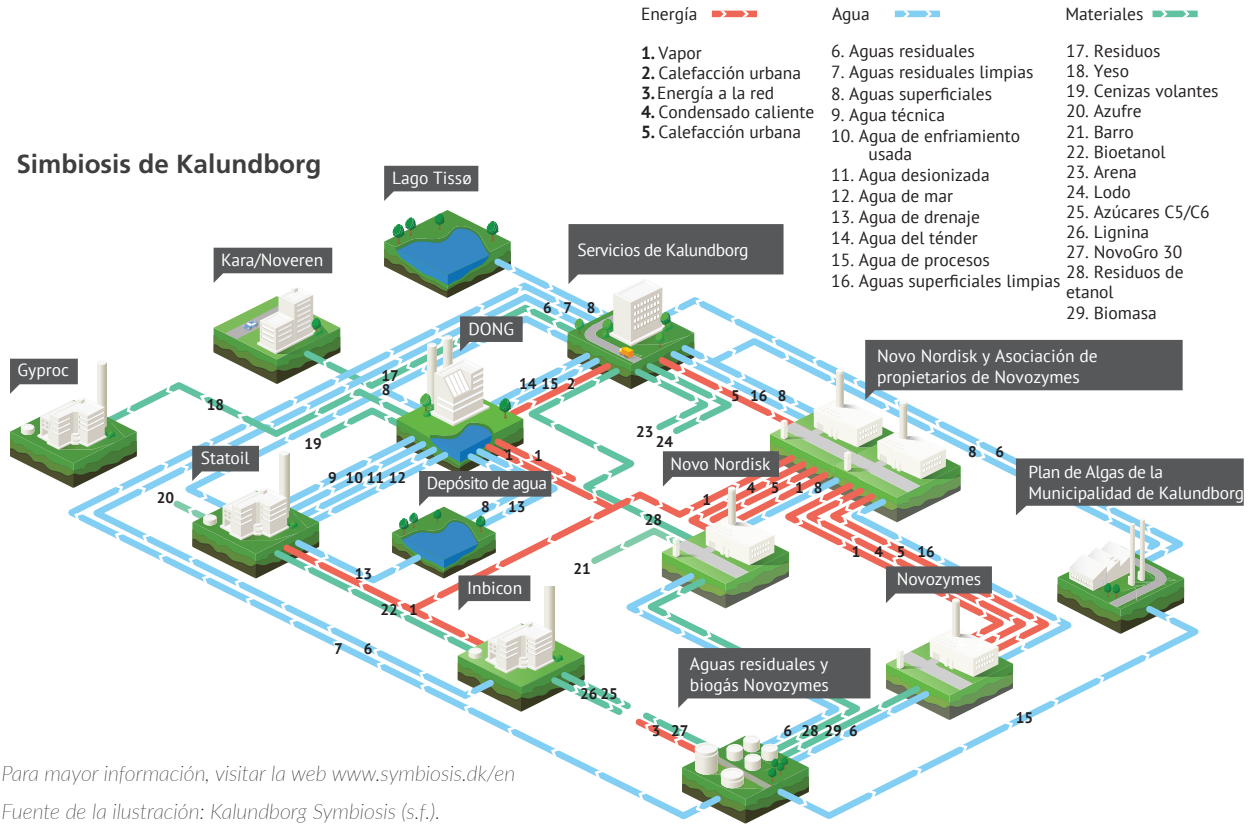
La simbiosis industrial de Kalundborg se estableció durante varias décadas de iniciativas y cooperación individual entre empresas de diferentes sectores impulsadas por ventajas económicas, con el apoyo del Municipio de Kalundborg. Hoy en día, se trata de un proyecto financiado principalmente por los socios de simbiosis.

La simbiosis implica el intercambio de todo tipo de materiales, inclusive aguas residuales, como se muestra en el diagrama de flujo a continuación.

Iniciativas de agua en cascada: La Central Eléctrica de Asnæs recibe 700.000 m³ de agua de enfriamiento de Statoil cada año, que trata para su utilización como agua de alimentación de calderas. También utiliza alrededor de 200.000 m³ al año de aguas residuales tratadas de Statoil para limpieza. El agua de enfriamiento se convierte en vapor de agua, que vuelve a Statoil, así como a otras empresas, como una granja de peces locales. El ahorro de los recursos hídricos locales es notorio: casi 3 millones de m³ de agua subterránea y 1 millón de m³ de aguas superficiales por año (Domenech y Davis, 2011).

La planta de energía utiliza agua salada del fiordo para cubrir algunas de sus necesidades de enfriamiento. Como resultado, reduce las extracciones de agua dulce del lago Tissø. El subproducto generado es agua salada caliente, parte de la cual se deriva a 57 estanques de la granja de peces.

Iniciativas de calentamiento en cascada: En 1981, Asnæs comenzó a suministrar vapor de agua a la ciudad para su nuevo sistema de calefacción urbana. Luego, Novo Nordisk y Statoil se sumaron a los clientes para consumo de vapor. Este sistema de calefacción urbana contó con el respaldo de la ciudad y del gobierno danés, por lo que se sustituyeron cerca de 3.500 hornos de aceite.



Para mayor información, visitar la web www.symbiosis.dk/en

Fuente de la ilustración: Kalundborg Symbiosis (s.f.).

Fuentes: Adaptado de la CE (2016, Cuadro 9, p. 25) e Industrial Ecology (s.f.).

Simbiosis industrial. Una oportunidad notable para el uso de aguas residuales industriales y el reciclaje es la cooperación entre plantas en la simbiosis industrial (SSWM, s.f.). Esto puede implicar el intercambio de agua de procesos o el reciclaje de aguas residuales tratadas para fines similares a los del reciclaje dentro de la planta. Los ejemplos incluyen vapor o agua residual caliente, o agua residual que contiene material orgánico y nutrientes, y materias primas no convertidas que pueden tener una recuperación económica: aceite, solventes usados, almidón y otras sustancias que pueden ser comercializadas o recicladas, tal vez a través de registros de desechos entre industrias (WWAP, 2006). Las opciones de la tecnología de tratamiento son similares a aquellas para propósitos internos de planta y pueden emplear sistemas descentralizados. Estos pueden incluir el uso de una planta de tratamiento de aguas residuales centralizada específica que atiende a todas las industrias.

Parques eco-industriales. La simbiosis industrial se considera más en parques industriales ecológicos que localizan estratégicamente industrias adyacentes entre sí para aprovechar de mejor manera la gestión y el reciclaje de aguas residuales (ver Cuadro 6.4). Para las PYMES, esto puede implicar grandes ahorros en el tratamiento de aguas residuales. Los factores importantes son el intercambio de información que contemple las necesidades, la proximidad razonable y la fiabilidad de la oferta en términos de cantidad y calidad. Las plantas de producción combinada de electricidad y calor (CHP por sus siglas en inglés, o cogeneración), que requieren mucha menos agua de enfriamiento que la generación convencional, son más eficientes cuando se encuentran cerca de la demanda de calor y electricidad, tal como un complejo industrial, y como fuente de abastecimiento descentralizada (Rodríguez *et al.*, 2013). Se encuentran ejemplos interesantes de parques ecoindustriales en muchos países, por ejemplo el Parque Industrial Químico de Shanghai en China (WWAP, 2015).

La simbiosis industrial de Kalundborg es un «ecosistema industrial» donde se utilizan los subproductos de una empresa como recurso de otras empresas, en un ciclo cerrado. Se inició en 1961 con la creación de un nuevo proyecto para utilizar las aguas superficiales del lago Tissø para una nueva refinería de petróleo con el objetivo de aprovechar los limitados suministros de agua subterránea. La ciudad de Kalundborg estuvo a cargo de la construcción de la tubería mientras la refinería fue responsable de la financiación.

El lado positivo de la disposición de los residuos de parques ecoindustriales es similar al de los de reciclaje interno (SSWM, s.f.). La desventaja incluye la necesidad de compromisos a largo plazo para justificar los gastos iniciales de capital y la necesidad de realizar un tratamiento adicional para satisfacer algunas necesidades de la industria y posiblemente para sortear obstáculos normativos de aprobación.

CUADRO 6.5 USO INDUSTRIAL Y ENERGÉTICO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

La **unidad de Tarragona** de depuración de agua en el sur de Cataluña, España, utiliza efluentes secundarios de dos plantas de aguas residuales municipales y los trata para usuarios industriales. La zona de Tarragona sufre de escasez de agua: dicha falta de disponibilidad retrasa el crecimiento de la región. El reciclaje de agua en un parque industrial (un complejo petroquímico) liberará los derechos de agua sin tratar existentes para satisfacer la futura demanda local (municipal y de turismo). El objetivo final es satisfacer 90% de la demanda de agua del parque industrial con agua reciclada (DEMOWARE, s.f.).

Terneuzen está ubicado en el suroeste de los Países Bajos. El complejo industrial de Dow Terneuzen fue previsto inicialmente para utilizar agua de mar desalinizada, pero el aumento del costo resultó ser problemático por inconvenientes de calidad, corrosión, etc. Como resultado, se rediseñó una planta de tratamiento de aguas residuales municipales en las inmediaciones para proporcionar agua depurada al complejo industrial (10.000 m^3 por día). El agua se utiliza para generar vapor de agua y así abastecer las plantas de fabricación. Después de utilizar el vapor en los procesos de producción, el agua se utiliza nuevamente en torres de enfriamiento hasta que finalmente se evapora en la atmósfera (por lo que se «recicla» una segunda vez). En comparación con el costo de la energía necesaria para la desalinización convencional del agua de mar para el mismo uso, Dow Terneuzen redujo su consumo de energía 95% con la recuperación de aguas residuales urbanas, el equivalente a reducir sus emisiones de dióxido de carbono en 60.000 toneladas cada año. Dow aplica en la actualidad la experiencia adquirida en Europa en Freeport, Texas, EE.UU. (World Water, 2013).

El **proyecto LIFE WIRE** es un proyecto LIFE12 que se realiza en Barcelona, España, cuyo objetivo es impulsar el reciclaje industrial de aguas residuales tratadas, demostrando así la viabilidad del reciclaje de agua mediante el uso de tratamientos satélites capaces de producir calidad del agua apta para su uso. El proyecto estudia la viabilidad de configuraciones tecnológicas con base en la combinación de ultrafiltración, filtración de material nanoestructurado de carbono y ósmosis inversa para utilizar aguas residuales urbanas tratadas en las industrias. El proyecto evalúa técnica y económicamente los beneficios de utilizar el esquema de tratamiento propuesto en comparación con los tratamientos convencionales actuales en tres sectores industriales: electrorrevestimiento, químico y de eliminación de residuos líquidos.

Fuentes: Fragmento de CE (2016, Cuadro 8, p. 25).

> La industria necesita «producir más con menos», que en el caso del agua significa usar menos cantidad

Los sistemas de uso múltiple (MUS, por sus siglas en inglés) que implican la reutilización en cascada de agua de mayor a menor calidad dentro de una cuenca hidrográfica pueden tener componentes industriales, por ejemplo, donde las aguas residuales domésticas pueden recuperarse para lavado y enfriamiento (PNUMA, 2015c).

Recuperación de aguas residuales. La industria puede ayudar en la otra cara de la ecuación de aguas residuales al utilizar aguas residuales urbanas recuperadas de municipios (ver Cuadro 6.5): esta reutilización del agua entre sectores crece rápidamente en muchos países (WBCSD, s.f.). Es una medida de sostenibilidad fundamental, ya que reduce los requisitos de consumo de agua dulce, de particular importancia en regiones con escasez de agua y, además, reduce los vertidos municipales generales. Quedan por resolver cuestiones de tiempos de disponibilidad de aguas residuales y su transporte hasta las plantas industriales de destino. En algunos casos, los municipios adaptarán el tratamiento de aguas residuales para industrias específicas que pueden no necesitar agua potable perfectamente limpia. En California, por ejemplo, los distritos municipales Central y de la Rivera Occidental ofrecen agua recuperada de diferentes calidades y costos, inclusive agua de procesos para la refinación de petróleo. La Junta Estatal de Control de Recursos Hídricos también promueve el uso de aguas residuales para el enfriamiento de plantas de energía (Departamento de Recursos Hídricos de California, 2013).

6.4 Las aguas residuales y el desarrollo industrial sostenible

El agua no es solo un reto operativo y un elemento costo en la industria, sino que también es una oportunidad de crecimiento ya que los incentivos para minimizar su uso (que incluye el uso y reciclaje de aguas residuales) reducen los costos y la dependencia del agua (WBCSD, s.f.). La industria necesita «producir más con menos», que en el caso del agua significa usar menos cantidad (ONUDI, 2010).

Ya que la reducción del consumo de agua dulce lleva a menos vertidos de aguas residuales, las iniciativas de producción más limpia que se centran en la reducción del uso del agua en general, y que cierran el ciclo del agua, eliminan el vertido de aguas residuales (vertido cero), y reducen o eliminan solventes y productos químicos tóxicos, pueden desempeñar un papel importante (PNUMA, 2010). La producción más limpia a través de la industria verde crea valor al reducir costos operativos ya que se eliminan ineficiencias mediante la estrategia 3R (reducir, reciclar, reutilizar), lo que también ayuda a limitar los impactos ambientales (ONUDI, 2010). Por ejemplo, el programa de Transferencia de Tecnologías Ambientalmente Racionales (TEST, por sus siglas en inglés) de la ONUDI se ha centrado en la contaminación de aguas residuales de la industria en el río Danubio para mejorar la eficiencia del agua y reducir el vertido de aguas residuales mediante el análisis de situaciones y problemas y la introducción de soluciones de producción más limpia y nueva tecnología (ONUDI, 2011). Incluso se ha demostrado que la eficiencia de los recursos y el mejor desempeño ambiental generan beneficios económicos para determinadas PYMES (ver Cuadro 14.3).

En términos más generales, la producción más limpia ocupa un lugar importante en la ecología industrial, que también incluye el control de la contaminación, la eficiencia ecológica, el concepto de ciclo de vida y la producción de circuito cerrado. Estos permiten identificar oportunidades para tener una mayor eficiencia de los recursos y contar con actividades de valor añadido. El objetivo final es el vertido cero, situación en la que se recicla toda el agua dentro de una planta o se la comercializa a otra, y el único consumo es a través de la evaporación, que en teoría significa que todas las aguas residuales se utilizan o se reciclan y no hay vertido alguno (excepto pérdidas menores). En ese momento, la extracción de agua (entrada) es igual al consumo (WWAP, 2006). Sin embargo, puede surgir la paradoja de Jevons[6]: a medida que la eficiencia del agua mejora, su uso total puede de hecho aumentar, con un menor costo de producción y el correspondiente aumento de la producción industrial.

Una vez que la industria conoce su huella hídrica y pedigrí, puede enfocarse en su generación de aguas residuales para buscar posibilidades de reutilización y reciclado del agua. Por otra parte, puede ampliar sus esfuerzos en la neutralidad del agua (Hoekstra, 2008), lo que significa que después de que la industria ha tomado medidas para utilizar o reciclar sus aguas residuales, los efectos negativos de la contaminación del agua restante pueden compensarse al invertir en proyectos que promuevan el manejo sostenible del agua (es decir, tratamiento de aguas residuales) en entornos locales. Por lo tanto, las aguas residuales también podrían constituir recursos para promover la inversión.

[6] En el siglo XIX, William Stanley Jevons sostuvo que los avances en eficiencia tecnológica no redujeron el uso de carbón y otros recursos, sino que en realidad aumentaron su consumo y producción (Alcott, 2005).