



De residuo a recurso

Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes
para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe

Diego J. Rodriguez, Hector Alexander Serrano, Anna Delgado, Daniel Nolasco y Gustavo Saltiel



Reconocimientos

Este informe es producto de “[Aguas residuales: de residuo a recurso](http://www.worldbank.org/wastetoresource)”, una iniciativa de la Práctica Mundial del Agua del Banco Mundial, que tiene como objetivo promover un cambio de paradigma en el sector, considerando las aguas residuales como un recurso y no como un residuo. El informe fue preparado por un equipo liderado por Diego J. Rodríguez y Héctor Alexander Serrano y que incluyó a Anna Delgado, Daniel Nolasco y a Gustavo Salties. En la página de la iniciativa puede consultarse información adicional sobre la iniciativa y otros materiales relacionados: www.worldbank.org/wastetoresource

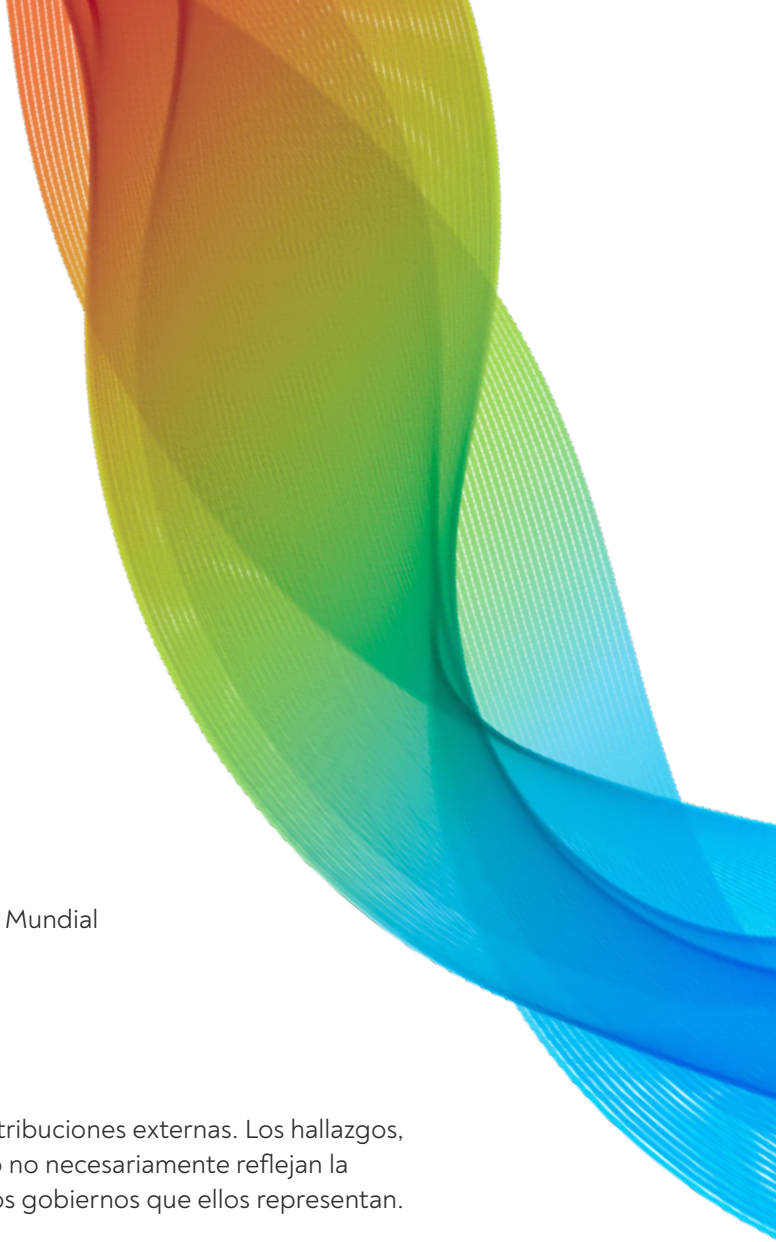
El informe se ha beneficiado de la orientación estratégica y dirección general de Rita Cestti y Jennifer Sara. El equipo también agradece a Jorge Familiar, J. Humberto López y Anna Wellenstein su liderazgo y apoyo, y a David Michaud y María Angélica Sotomayor por su apoyo en las etapas iniciales de este trabajo.

Los autores agradecen los consejos y comentarios recibidos por parte de compañeros del Banco Mundial: Iris Marmanillo, Víctor Vázquez, Jean-Martin Brault y Alfonso Alvestegui; y por parte de socios de CAF – Banco de Desarrollo de América Latina: Franz Rojas y Carlota Real. El equipo también agradece a Carmen Yee-Batista, Martin Gambrell, Ari Skromme, Ernesto Sánchez Triana y Gonzalo Delacamara por sus comentarios constructivos durante la revisión del documento. Un especial agradecimiento para AySa (la empresa pública de agua y saneamiento de Buenos Aires, Argentina) por ayudarnos a organizar un evento regional con actores importantes del sector.

Además de la investigación realizada por los autores, las conclusiones de este trabajo se basan en documentos técnicos preparados por LimnoTech, ITAC Consulting, Economic Consulting Associates (ECA) y Daniel Nolasco, y en los estudios de caso desarrollados por CAF.

Finalmente, el equipo también agradece a las siguientes personas por sus contribuciones: Alexandra Wilson y Andrew Tanabe por su apoyo para desarrollar estudios de casos, Steven Kennedy por la edición, Gretel Ippisch por la traducción, Alejandro Scaff por diseñar el documento y la portada, Pascal Saura y Erin Ann Barrett por su apoyo para la publicación, Meriem Gray y Li Lou por su apoyo con las comunicaciones, Maye Rueda por su apoyo administrativo y a todos los actores que participaron en nuestros talleres y ofrecieron sugerencias y comentarios.

Este trabajo fue posible gracias a las contribuciones financieras de la [Alianza Global para la Seguridad y Saneamiento del Agua](#) (GWSP en inglés) y del [Servicio de Asesoría en Infraestructura Público-Privada](#) (PPIAF en inglés).



© 2020 Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial

1818 H Street NW, Washington, DC 20433

Teléfono: 202-473-1000; Internet: www.worldbank.org

Este trabajo es producto del personal del Banco Mundial con contribuciones externas. Los hallazgos, las interpretaciones, y las conclusiones expresadas en este trabajo no necesariamente reflejan la opinión del Banco Mundial, su Junta de Directores Ejecutivos, o los gobiernos que ellos representan.

El Banco Mundial no garantiza la exactitud de los datos incluidos en este trabajo. Los límites, colores, denominaciones y otra información que se muestra en cualquier mapa en este trabajo no implican juicio por parte del Banco Mundial sobre el estado jurídico de cualquier territorio o el aval o aceptación de dichos límites.

Derechos y permisos

El material contenido en este trabajo está sujeto a derechos de autor. El Banco Mundial alienta la diseminación de su conocimiento y por ello, este trabajo puede reproducirse, total o parcialmente para propósitos no comerciales, siempre que otorgue atribución completa a este trabajo.

Por favor cite el trabajo de la siguiente manera: Rodríguez, Diego J.; Serrano, Héctor Alexander; Delgado, Anna; Nolasco, Daniel y Saltiel, Gustavo. 2020: De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe” Banco Mundial, Washington, DC.

Cualquier consulta sobre derechos y licencias, incluidos derechos subsidiarios, se deben dirigir a: Publicaciones del Banco Mundial, Grupo del Banco Mundial, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, USA; fax: 202-522-2625; e-mail: pubrights@worldbank.org

Diseño de la portada y del informe: Alejandro Scaff Herrera. Fotos de la portada: Material de Adobe. Fotos en el interior: página 10, material de Adobe; página 14, Banco Mundial Water; páginas 21, 26, 34, 44 y 49: Freepik.



De residuo a recurso

Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes
para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe

Contenido

Resumen ejecutivo	7
1. El agua residual como recurso en una economía circular	10
1.1 Creciente desafío mundial	10
1.2 El sector del saneamiento en América Latina y el Caribe: el llamado a una nueva visión	11
1.3 Las oportunidades que presentan los principios de una economía circular	13
2. Reconversión de la herramienta tradicional de gestión de los recursos de 24 agua para el sector del saneamiento	21
2.1 ¿Por qué necesitamos planificar las cuencas hidrográficas?	21
2.2 El proceso de planificación de una cuenca hidrográficas	23
2.3 Principales consideraciones en la ejecución de planes en cuencas hidrográficas	25
3. Configuración de la empresa del futuro: de plantas de tratamiento de aguas	26
3.1 Gestión eficiente y efectiva de las instalaciones para la recuperación del recurso agua	26
3.2 Valoración del agua residual: reutilización y recuperación del recurso	30
4. Nuevos modelos de financiamiento y negocio para las instalaciones de recuperación del recurso	34
4.1 Recuperación del recurso como solución	34
4.2 Hacia financiamiento combinado	35
4.3 Prendizaje a partir de proyectos de recuperación exitosa del recurso	37
5. Los marcos de política, institucionales y regulatorios necesarios para promover un cambio de paradigma en el sector	45
5.1 La importancia de tener políticas claras	45
5.2 Arreglos institucionales para crear incentivos	46
5.3 Un marco regulatorio robusto	47
6. Conclusiones y el camino a seguir para la región	50
6.1 Directrices básicas para planificar y financiar plantas de tratamiento de aguas residuales	53
6.2 Temas para un análisis más profundo y para el trabajo futuro	54
Documentos de base	55
Referencias	55
Apéndice A. Resumen de los estudios de casos	60

Lista de ilustraciones

Ilustración 1.1 Acceso a servicios de saneamiento en países seleccionados de la región, 2017	12
Ilustración 1.2 Recuperación de recursos en plantas de tratamiento de aguas residuales	15
Ilustración 4.1 Posibles flujos de ingresos y ahorros de la recuperación de recursos en plantas	35

Lista de tablas

Tabla 3.1 Potencial para la reutilización del agua residual	30
---	----

Lista de recuadros

Recuadro 1.1 Los principios de una economía circular	13
Recuadro 2.1 El uso de un método de cuenca hidrográfica para planificar el tratamiento del agua residual y reducir las necesidades de inversión: Guayaquil, Ecuador	22
Recuadro 2.2 La utilización de planificación de cuencas hidrológicas para encontrar soluciones de bajo costo para controlar la contaminación: Kentucky, los Estados Unidos	23
Recuadro 2.3 Plan de cuenca para el Río Bogotá, Colombia	25
Recuadro 3.1 Ahorro de costos con el uso de infraestructura existente: Buenos Aires, Argentina	29
Recuadro 3.2 Identificación de soluciones de eficiencia energética de bajo costo transforma una planta de tratamiento del consumidor de energía a productora de energía: Guanajuato, México	30
Recuadro 3.3 La venta de agua residual para cubrir costos de operación y mantenimiento: San Luis Potosí, México	31
Recuadro 3.4 Uso de la codigestión para incrementar la producción: San Francisco, Estados Unidos	32
Recuadro 3.5 El uso de biosólidos en la agricultura: Brasilia, Brasil	33
Recuadro 4.1 Financiamiento de infraestructura de aguas residuales basado en los resultados: PRODES, Brasil	36
Recuadro 4.2 El potencial de la codigestión: Ridgewood, Estados Unidos	39
Recuadro 4.3 La reutilización del agua residual para propósitos industriales a través de un convenio de APP: Durban, Sudáfrica	40
Recuadro 4.4 Colaboración con una empresa minera para reducir costos: Arequipa, Perú	41
Recuadro 4.5 El potencial ganar-ganar de una economía circular	44
Recuadro 5.1 Uso de una alianza público-privada para incrementar la cobertura del agua residual y promover la reutilización del agua residual: Nuevo Cairo, Egipto	48



Resumen ejecutivo

El crecimiento poblacional y económico han impulsado un rápido incremento en la demanda de recursos hídricos, y ya el 36 por ciento de la población mundial vive en regiones con escasez de agua. En particular, la rápida urbanización, especialmente en países de renta baja a media, ha creado varios desafíos relacionados con el agua. Estos incluyen: una degradación en la calidad del agua, un suministro inadecuado y falta de infraestructura de saneamiento, particularmente en asentamientos periurbanos e informales crecientes. En América Latina y el Caribe, solo alrededor del 60 por ciento de la población está conectada a un sistema de alcantarillado y sólo un 30 a 40 por ciento de las aguas residuales de la región que se captan se tratan. Estos porcentajes son sorprendentes, dados los niveles de ingreso y urbanización de la región, y tienen implicaciones importantes en la salud pública, la sostenibilidad ambiental y la equidad social.

Los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) añaden una nueva dimensión a los desafíos a los que se enfrenta el sector del agua, al centrar la atención en la sostenibilidad. Los objetivos vinculados a este sector incluyen mejorar la calidad del agua, implementar una gestión integrada de los recursos hídricos, lograr eficiencia en el uso del agua en todos los sectores, reducir el número de personas que sufren escasez de agua, y restaurar los ecosistemas acuáticos. Para lograr los ODS, los gobiernos de la región

tendrán que incrementar de manera significativa los niveles de tratamiento de las aguas residuales.

Las necesidades de inversión en el sector del agua potable y saneamiento son enormes, y para mejorar la gestión de las aguas residuales en la región, los países están embarcándose en programas masivos para captarlas y tratarlas. A medida que las ciudades siguen creciendo, existe la oportunidad de asegurar que se realicen inversiones de la manera más sostenible y eficiente posible. El desarrollo urbano futuro necesita enfoques que minimicen el consumo de los recursos y que se centren en la recuperación del recurso, siguiendo los principios de la llamada economía circular. En este contexto, las aguas residuales son y deben considerarse un recurso valioso a partir del cual pueden extraerse energía y nutrientes, así como ser una fuente adicional de agua.

Este informe resume el trabajo de la Iniciativa del Banco Mundial: “[Aguas residuales: de residuo a recurso](#)” lanzada en 2018 para crear conciencia entre los tomadores de decisiones sobre el potencial de las aguas residuales como recurso. El informe resume los hallazgos y conclusiones de seis [documentos](#) técnicos y de un análisis profundo de varios [estudios de caso](#). Los estudios de caso ilustran las mejores prácticas internacionales, y proporcionan ejemplos de proyectos y programas que promueven la aplicación de uno o varios principios de la economía circular. La iniciativa incluyó un proceso participativo con múltiples

consultas y talleres con grupos de interés que trabajan en proyectos de gestión de aguas residuales en la región de América Latina y el Caribe. Se organizó un [taller regional](#) en Buenos Aires, Argentina en noviembre de 2018 junto con CAF, donde participaron contrapartes de Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, República Dominicana, Ecuador, Honduras, Paraguay, Perú, y Uruguay. Los hallazgos de la iniciativa también se han presentado en varias conferencias y eventos internacionales, con lo que se ha creado conciencia sobre el problema y se ha fomentado el diálogo entre gobiernos, organizaciones internacionales y el sector privado. Los comentarios recibidos en estos eventos y en los talleres han sido incorporados en el informe.

El propósito de este informe es compartir el conocimiento creado y las conclusiones de la iniciativa con los grupos de interés y los operadores responsables de la planificación, el financiamiento y la gestión de las aguas residuales (incluidas las empresas de agua, los encargados de las políticas, las organizaciones de cuencas, y los ministerios de planificación y finanzas) a fin de promover un cambio de paradigma en el que se reconozca la propuesta de valor de las aguas residuales en una economía circular.

Las aguas residuales pueden tratarse hasta lograr diversas calidades para satisfacer la demanda de diferentes sectores, incluidos la industria y la agricultura. Pueden emplearse para mantener el flujo ambiental, e incluso pueden reutilizarse como agua potable. El reuso del agua residual es una solución al problema de la escasez mundial de agua, puesto que se liberan recursos de agua para otros usos, o para su conservación. Además, los productos secundarios del tratamiento de las aguas residuales pueden convertirse en valiosos para la agricultura y la generación de energía, haciendo que las plantas de tratamiento de aguas residuales sean más sostenibles ambiental y financieramente. Por consiguiente, una mejor gestión de las aguas residuales ofrece una doble propuesta de valor si, además de los beneficios ambientales y para la salud del tratamiento de las aguas residuales, ingresos financieros pueden cubrir parcial o totalmente

los costos de operación y mantenimiento. La recuperación de recursos de las aguas residuales en forma de energía, agua reutilizable, biosólidos y otros recursos como nutrientes, representan un beneficio económico y financiero que pueden contribuir a la sostenibilidad de los sistemas de saneamiento, y de las empresas de agua que los operan. Una de las principales ventajas de adoptar los principios de economía circular en la gestión de aguas residuales es que la recuperación y el nuevo uso del recurso podrían transformar el saneamiento de ser un servicio costoso a uno que es autosostenible y añade valor a la economía.

Para lograr este cambio de paradigma se han identificado cuatro acciones importantes:

1 *Desarrollar iniciativas de aguas residuales como parte del marco de planificación de la cuenca hidrográfica para maximizar los beneficios, mejorar la eficiencia y la asignación de recursos e involucrar a los actores pertinentes.* Existe la necesidad de pasar de soluciones aisladas y ad hoc, como una planta de tratamiento por municipalidad, a enfoques de planificación de cuencas hidrográficas completamente integrados que resulten en sistemas más sostenibles y resilientes. Al planificar y analizar la calidad y cantidad de agua a nivel de cuenca, es posible lograr soluciones integradas que son más sostenibles financiera, social y ambientalmente. La planificación a nivel de cuenca permite el aprovechamiento óptimo de instalaciones y programas de saneamiento, incluida la ubicación, calendarización y etapas de la infraestructura de tratamiento. También permite a los encargados de las decisiones a planificar y priorizar las inversiones. El marco de la planificación de cuencas también permite diseñar normas para los efluentes basadas en los contextos específicos de los cuerpos receptores en lugar de usar normas uniformes o arbitrarias para todo un país. Además, al incluir las aguas residuales en el sistema hidrológico como posible fuente de agua, es posible contabilizar y planificar la reutilización del agua residual a escala. Este enfoque se explora en el capítulo 2.

2 *Desarrollar la empresa de agua del futuro sustituyendo el concepto de las plantas de tratamiento de aguas residuales por instalaciones de recuperación de recursos para aprovechar el valor del agua residual.*

Tradicionalmente, el tratamiento se enfocaba en descontaminar el agua y descargarla de manera segura al medio ambiente. Hoy en día, las plantas de tratamiento deben verse como instalaciones para la recuperación de recursos valiosos del agua residual: agua (para agricultura, el medio ambiente, la industria e incluso consumo humano), nutrientes (nitrógeno y fósforo), y energía. Estos recursos pueden generar flujos de ingresos adicionales para la empresa, que potencialmente transformaría al sector del saneamiento de uno muy subsidiado a uno que genera ingresos y es autosostenible.

Para convertirse en la empresa ideal del futuro, primero la empresa de agua debe gestionarse bien. Segundo, debe ser diseñada, planificada, manejada y operada de manera efectiva y eficiente. Finalmente, los países necesitan reconocer el verdadero valor del agua residual y los posibles recursos que pueden obtenerse de él, incorporando los principios de la economía circular en su estrategia y en las planificaciones e inversiones futuras. La infraestructura es una inversión a largo plazo que puede llevar a los países a soluciones ineficientes e insostenibles. Por consiguiente, es importante tener en cuenta la recuperación de recursos cuando se planifican las inversiones en aguas residuales. Este tema se explora en el capítulo 3.

3 *Explorar y apoyar el desarrollo de financiamiento innovador y de modelos de negocio sostenibles en el sector.*

El financiamiento de infraestructura de saneamiento y la recuperación de sus costos es un desafío en toda la región. Muchas empresas de agua no cobran tarifas de saneamiento adecuadas para cubrir los costos de operación y mantenimiento, sin mencionar las inversiones de capital para futuras ampliaciones. Por consiguiente, hay un amplio acuerdo de que se necesitan subsidios más eficientes para el

saneamiento, por lo menos durante un período de transición. Sin embargo, la existencia de subsidios, no significa que el sector deba depender totalmente de financiamiento convencional. Dado el potencial para la reutilización y recuperación de recursos en plantas de tratamiento de aguas residuales, el sector debería desarrollar modelos financieros y de negocio innovadores que aprovechen esos posibles flujos adicionales de ingresos. Estos nuevos enfoques se exploran en el capítulo 4.

4 *Poner en práctica los marcos de política, institucional y reglamentario (PIR) necesarios para promover un cambio de paradigma en el sector.*

Para que ocurra este cambio de paradigma, se requieren incentivos de PIR para fomentar inversiones sostenibles en aguas residuales que consideren la reutilización y recuperación de los recursos y que promuevan los principios de una economía circular. Los estudios de caso analizados muestran que este tipo de proyecto generalmente ocurre de manera ad hoc y sin planificación nacional o regional, y donde los factores favorables con frecuencia son físicos y locales: escasez de agua, la distancia que hay hasta la fuente más cercana de agua, entre otros. Para permitir el desarrollo de estos proyectos innovadores a escala, se requieren cambios al entorno de PIR y es necesario valorar correctamente los recursos hídricos. Los esfuerzos actuales en planificación de cuencas en la región se deben fortalecer. Los gobiernos necesitan apoyar a las organizaciones de cuenca para que éstas puedan mejorar su pericia técnica y su capacidad de planificación, supervisión y ejecución. Los reglamentos y normas también necesitan adaptarse a las necesidades de la región y las tendencias actuales en el sector, promoviendo el cumplimiento gradual y la reutilización y la recuperación de recursos. Finalmente, se necesita asegurar que los países de la región cuenten con la capacidad institucional necesaria para aplicar y hacer cumplir los reglamentos ambientales como las normas de control de la contaminación del agua. Las intervenciones en PIR se exploran en el capítulo 5.



1. El agua residual como recurso en una economía circular

“ En un mundo en el que la demanda de agua potable crece continuamente, y donde los limitados recursos hídricos se ven cada vez más estresados por la sobreexplotación, la contaminación y el cambio climático, desaprovechar las oportunidades que surgen de una mejor gestión de las aguas residuales es impensable en el contexto de una economía circular. ”

Informe de la ONU sobre el desarrollo del agua en el mundo (WWAP 2017)

Este informe resume el trabajo de la iniciativa del Banco Mundial “[Aguas residuales: de residuo a recurso](#)” (Banco Mundial 2018a). Contiene los hallazgos de diversos [estudios de caso](#) y [seis documentos técnicos](#) desarrollados por la iniciativa, así como de los comentarios recibidos durante los talleres (Banco Mundial y CAF 2018) y seminarios con los principales actores en el sector. El propósito del informe es compartir el conocimiento creado durante el transcurso de la iniciativa con los actores que intervienen en la planificación, financiamiento y gestión de aguas residuales (incluidas empresas de agua, responsables de política, organizaciones de cuencas y ministerios de planificación y finanzas). Específicamente, la iniciativa busca promover un cambio de paradigma en el que se reconozca el potencial del agua residual en el contexto de una economía circular.

1.1 Creciente desafío mundial

El crecimiento de la población y la economía han impulsado un rápido crecimiento en la demanda de recursos hídricos (WWAP 2015). El 36 por ciento de la población mundial ya vive en regiones con escasez de agua, y para el año 2050, más de la mitad de la población del mundo estará en riesgo por escasez de agua (HLPW 2018). La creciente competencia por el agua agrega presión en la asignación de los recursos

hídricos. Los gobiernos del mundo tienen diferentes opciones complementarias para enfrentarse a estos desafíos: manejar la escasez estructural del agua, las sequías y las inundaciones; mejorar la calidad del agua y proteger los ecosistemas y sus servicios. Una cuidadosa planificación es necesaria para fomentar la seguridad hídrica a largo plazo y asegurar resiliencia a las incertidumbres climáticas y no climáticas. El agua se conecta de manera importante a metas más amplias de política para mitigar la pobreza y asegurar la equidad social, la salud pública, y el desempeño macroeconómico, entre otros.

La rápida urbanización, particularmente en países de renta baja y media, ha creado una serie de desafíos relacionados con el agua. Estos incluyen una calidad degradada del agua e infraestructura inadecuada de agua y saneamiento, particularmente en los crecientes asentamientos periurbanos e informales. A medida que las ciudades siguen creciendo rápidamente, y los cambios climáticos afectan la disponibilidad y distribución de los recursos, cada vez será más difícil y se necesitará más energía para satisfacer las demandas de agua de las poblaciones y las economías. Combinados, estos problemas presentan un desafío para los encargados de las políticas y para las municipalidades en la provisión de servicios a sus ciudadanos; para asegurar que existan suficientes recursos como alimentos, agua y energía, y

para proteger la salud pública, todo ello a la vez que se protege el medio ambiente. En este contexto, el agua residual se convierte en un recurso valioso del que pueden extraerse agua, energía y nutrientes para ayudar a satisfacer la demanda de agua, energía y alimentos de la población (WWAP 2017).

El agua residual puede tratarse hasta lograr diversas calidades para satisfacer la demanda de diferentes sectores, incluida la industria y la agricultura. Puede emplearse para mantener el flujo ambiental o incluso para reutilizarse como agua potable. El tratamiento del agua residual es una solución al problema de escasez de agua, y también para el problema de seguridad hídrica, puesto que se liberan recursos hídricos para otros usos o para su conservación. La diversificación de las fuentes de suministro de agua es crucial para tener mayor seguridad y resiliencia, y el agua residual debe considerarse como recurso adicional al estimar los balances de agua. Además, los subproductos del tratamiento del agua residual pueden volverse valiosos para la agricultura y la generación de energía, con lo que las plantas de tratamiento del agua residual se vuelven más sostenibles ambiental y financieramente. Tratar el agua residual como un recurso valioso puede contribuir al sector de saneamiento y a otros principales sectores económicos de la región.

1.2 El sector del saneamiento en América Latina y el Caribe: hacia una nueva visión

Población y cobertura del saneamiento

En 2017, la población de la región de América Latina y el Caribe¹ alcanzó los 644 millones, 80 por ciento de los cuales vivían en áreas urbanas. Entre 2012 y 2017, la población incrementó en alrededor de 34 millones, aproximadamente 5.4 por ciento.

Durante el mismo período, la población en las comunidades rurales bajó 1 por ciento (WDI 2019). De acuerdo con la Modificación de las Perspectivas de Urbanización Mundial realizada en 2018 (UNDESA 2018), para 2030, la población total en la región será

718 millones, con una concentración urbana del 84 por ciento.

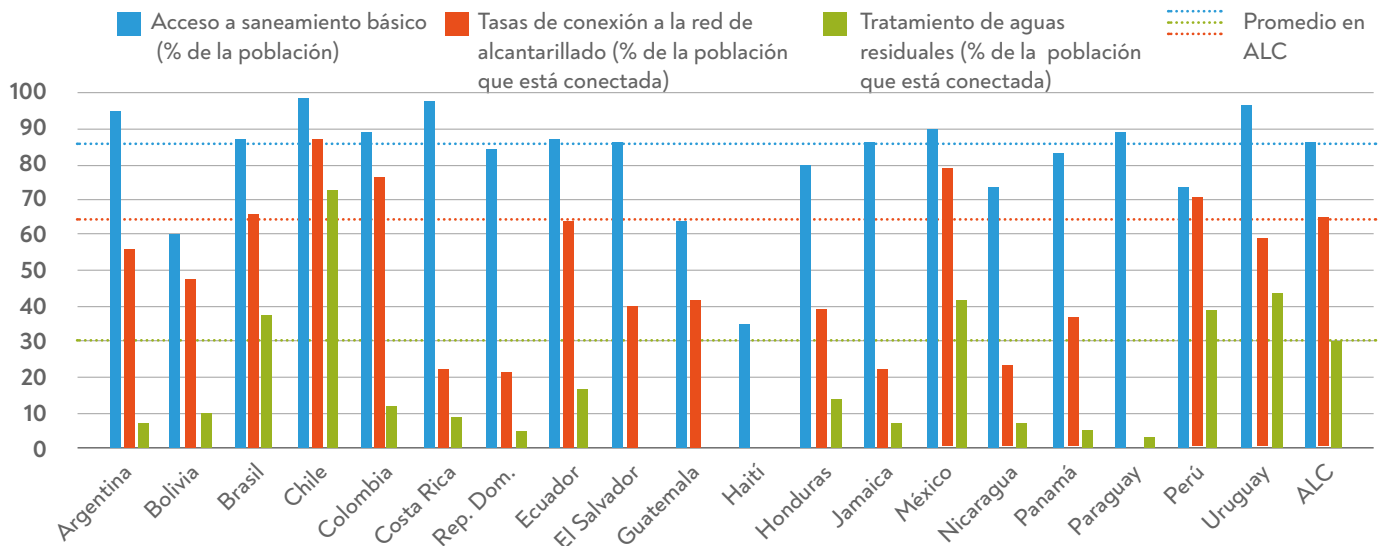
Acerca del acceso al suministro de agua y saneamiento, históricamente, los países en la región han priorizado las inversiones en el suministro del agua, logrando una buena cobertura en los últimos años. De acuerdo con datos de 2017 (OMS y UNICEF, 2019), alrededor del 97 por ciento de los hogares tenían acceso básico a agua potable, aunque este promedio oculta la brecha entre la cobertura rural (88 por ciento) y urbana (99 por ciento) y no refleja la sostenibilidad y calidad del nivel del servicio. La proporción de población con acceso a servicios de agua potable manejada de manera segura era solo 74 por ciento.

Aproximadamente 87 por ciento de la población de la región tenía acceso a alguna forma de saneamiento básico, con una diferencia significativa entre las áreas rurales (70 por ciento) y urbana (91 por ciento). Sin embargo, solo 31 por ciento tenía acceso a servicios de saneamiento manejados de manera segura.² Es más, se calcula que, aproximadamente, sólo el 66 por ciento de la población está conectada a un sistema de alcantarillado (18 por ciento en áreas rurales y 77 por ciento en áreas urbanas) y sólo 30 a 40 por ciento del agua residual que se capta se trata (FAO 2017) – este valor, sin embargo, no refleja la calidad del agua descargada o si cumple con el reglamento. Este valor es sorprendentemente bajo, dados los niveles de ingreso y urbanización de la región, y tiene implicaciones significativas para la salud pública, la sostenibilidad ambiental y la equidad social. A comparación de esto, en los países de la Organización para Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), 81 por ciento de la población está conectada a un sistema de alcantarillado, y 77 por ciento de la población se beneficia de estar conectados a una planta de tratamiento de agua residual (WWTP en inglés) (OCDE 2017). Como se muestra en la Ilustración 1.1, los niveles de gestión y tratamiento del agua residual varían de forma importante entre los países de América Latina y el Caribe, y los promedios regionales enmascaran esta importante variación.

¹ La región de América Latina y el Caribe se refiere a todos los países de América Latina y el Caribe.

² Las instalaciones de saneamiento manejadas de manera segura separan de manera higiénica las excretas del contacto humano (las excretas se descargan de manera segura in situ o se transportan y se tratan en otro lugar) y no se comparten con otros hogares.

Ilustración 1.1 Acceso a servicios de saneamiento en países seleccionados de la región de América Latina y el Caribe, 2017



Fuente: OMS y UNICEF 2019.

Nota: ALC = promedio en América Latina y el Caribe. Los datos de Argentina son de OMS y UNICEF 2017

El potencial para una mejor inversión

Para alcanzar cobertura universal de servicios de saneamiento básico gestionados de manera segura en 2030, la región tendrá que llegar a un total de 307 millones de personas que aún no tienen cobertura.³ [Hutton y Varughese](#) (2016) calcularon que el nivel de inversión necesario en la región (excluidos Chile, Uruguay, y la mayoría de los países del Caribe) para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en saneamiento, es entre \$3.4 y \$11.8 mil millones de dólares al año durante el período 2016–30, de los cuales aproximadamente 95 por ciento se dedicaría a áreas urbanas. Debe señalarse el desafío que añade el objetivo 6.3 de los ODS: “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”.

Las necesidades de inversión en el sector son significativas, y para mejorar la situación de las aguas residuales en la región, los países se están embarcando en programas masivos para captar y tratar las aguas

residuales. Existe una gran oportunidad de asegurar que estas inversiones se hagan de la manera más sostenible y eficiente posible. Como lo indican las lecciones aprendidas en América Latina y el Caribe y otras regiones, la inversión en tecnología únicamente no garantizará que se cumplan los ODS. Existe la necesidad en la región de invertir mejor. La inversión eficiente en el manejo de las aguas residuales y otra infraestructura de saneamiento para lograr beneficios de salud pública y los objetivos ambientales es un enorme desafío para la región. Como lo indicó un reciente [informe del Banco Mundial](#) (2017) sobre la infraestructura en América Latina: “el desalentador desempeño del agua residual es una verdadera emergencia, y una que tipifica el potencial de gastar mejor.” Como se describe en este informe, la revalorización del agua residual como parte de un proceso de economía circular puede contribuir a inversiones más eficientes.

Vale la pena observar que aparte del giro hacia la recuperación de recursos en el sector, el Banco Mundial y otros socios también promueven un mayor cambio en el sector a través de la iniciativa [Saneamiento Inclusivo en la Ciudad](#) (CWIS en inglés), a fin de alejarse de los modelos tradicionales y

³ Aproximadamente 233 millones de personas que actualmente carecen de acceso, más 74 millones de personas adicionales.

animando a las ciudades a pensar en una diversidad de soluciones técnicas para la provisión de servicios a lo largo de toda la cadena de servicios de saneamiento, combinando diferentes métodos para responder mejor a las desafiantes realidades que se enfrentan en el terreno. La iniciativa CWIS promueve enfoques adaptativos, mixtos e incrementales que combinan soluciones centralizadas y descentralizadas, y que toman en cuenta la recuperación de recursos, para permitir a los habitantes beneficiarse de servicios de saneamiento gestionados de manera segura.

Aunque este informe se centra en soluciones de tratamiento centralizadas, es importante reconocer que los sistemas de recolección descentralizados y la separación de diferentes tipos de efluentes de aguas residuales son innovaciones que podrían reducir el costo de los servicios de saneamiento y mejorar su sostenibilidad. Dado que la mayoría de las estimaciones muestran que la mitad o más de las inversiones en el sector se deben hacer en infraestructura de alcantarillado, también se recomienda realizar un análisis profundo de todas las oportunidades que hay en infraestructura como parte de cualquier plan y/o estrategia de saneamiento.

1.3 Las oportunidades que presentan los principios de una economía circular

Agua residual: Un recurso por explorar

Los desafíos mencionados arriba presentan una oportunidad para planificar e invertir en servicios de saneamiento – y en particular, en el tratamiento de aguas residuales – de una manera nueva. El enfoque antiguo basado en un concepto lineal, de abstraer agua de una fuente superficial o subterránea, tratándola, utilizándola, captándola y descartándola ya no es sostenible.

El desarrollo urbano futuro exige métodos que minimicen el consumo del recurso y centren su atención en la recuperación de recursos de acuerdo con los principios de una economía circular ([recuadro 1.1](#)). Básicamente, una economía circular busca eliminar los residuos y lograr la sostenibilidad.

Los residuos no existen; los productos se diseñan y optimizan para un ciclo de desmantelamiento y reciclaje. En línea con esto, el agua residual ya no debe considerarse un “residuo” sino un recurso.

Recuadro 1.1 Los principios de una economía circular

Una economía circular es un sistema industrial restaurativo o regenerativo de acuerdo con su intención y diseño. Es un sistema económico que busca minimizar los residuos y aprovechar los recursos lo mejor posible. El método tradicional se basa en una economía lineal con un modelo de producción de “hacer, usar y descartar”. El método de economía circular reemplaza el concepto de final de vida con la restauración, cambia hacia el uso de la energía renovable, elimina el uso de químicos tóxicos que impiden el reciclaje y la devolución a la biósfera, y busca la eliminación del residuo a través de un diseño superior de los materiales, productos, sistemas y modelos de negocio. Una economía de esa naturaleza se basa en tres principios básicos: (i) diseñar para que no se produzca desperdicio y contaminación, (ii) mantener los productos y materiales en uso, y (iii) regenerar los sistemas naturales.

Fuentes: Ellen MacArthur Foundation n.d.; WEF 2014.

Sin embargo, en la mayoría de los países de la región, los servicios de saneamiento y tratamiento de aguas residuales todavía se piensan y planifican de manera lineal. Es más, con mucha frecuencia, el suministro de agua se planifica primero, los sistemas de alcantarillado se planifican después, y los insumos de energía para ambos se consideran en ocasiones únicamente una vez que los sistemas han sido diseñados y construidos. A fin de cambiar la manera en que las instituciones abordan las aguas residuales, se necesita un cambio de paradigma en la región. Las aguas residuales no deberían ser vistas como una carga para los gobiernos y la sociedad, sino como una oportunidad económica que puede convertirse en un recurso valioso ([Ilustración 1.2](#)).



Una de las mayores ventajas de adoptar los principios de una economía circular en el procesamiento del agua residual es que la recuperación y reciclaje del recurso podría transformar el saneamiento de ser un servicio costoso a ser un sistema autosostenible que añade valor.

Una mejor gestión de las aguas residuales ofrece una propuesta de doble valor: además de los beneficios ambientales y para la salud que ofrece el tratamiento de las aguas residuales, es posible lograr flujos financieros que cubran parcial o totalmente los costos de operación y mantenimiento (O&M). La recuperación de recursos de aguas residuales en forma de energía, agua, biosólidos, y otros recursos (como nutrientes y microplásticos) representan un beneficio económico y financiero que contribuye a la sostenibilidad de estos sistemas y las empresas de agua que los manejan.

Como se documenta en este informe, las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden:

- Vender el agua tratada para reutilizarse en la industria y potencialmente cubrir todos los costos de O&M, como en el caso de San Luis Potosí, México ([recuadro 3.3](#)); Durban, Sudáfrica ([recuadro 4.3](#)); y Aquapolo, Brasil ([WWD 2011](#)).
- Generar energía para venderla o para autoconsumo, ahorrando costos de energía, como en el caso de Atotonilco, México ([Banco Mundial 2018](#)); Santiago, Chile ([Banco Mundial, 2019a](#)); EBMUD en los Estados Unidos ([recuadro 3.4](#)); y Ridgewood, en los Estados Unidos ([recuadro 4.2](#)).
- Deshacerse de los biosólidos sin costo, como en el caso de Cusco, Perú ([Documento de base VI](#)); y Brasilia, Brasil ([recuadro 3.5](#)).

- Vender el fósforo recuperado como fertilizante, como en el caso de Chicago, en los Estados Unidos ([ASCE 2013](#)).
- Cubrir completamente los costos de capital y de operación, como en el caso de Cerro Verde, Perú ([recuadro 4.4](#)).

El ahorro de costos (además de las consideraciones ambientales) es una de las principales razones para considerar la recuperación de los recursos y para incorporar los principios de una economía circular en las plantas de tratamiento del agua residual en América Latina y el Caribe y en otras partes del mundo. El desafío sigue siendo escalar las experiencias y los proyectos exitosos.

Con frecuencia, el sector privado es renuente a invertir en el sector de saneamiento por el poco rendimiento sobre la inversión y los elevados riesgos. Promover estos nuevos modelos de negocio con flujos adicionales de ingresos a la vez atraería al sector privado para cerrar la brecha de financiamiento. Existe la necesidad de un entorno habilitador de estos modelos y que permita la inversión privada en infraestructura al unísono con mayor eficiencia en el financiamiento público para mejorar la sostenibilidad de los servicios, particularmente en los países más pobres.

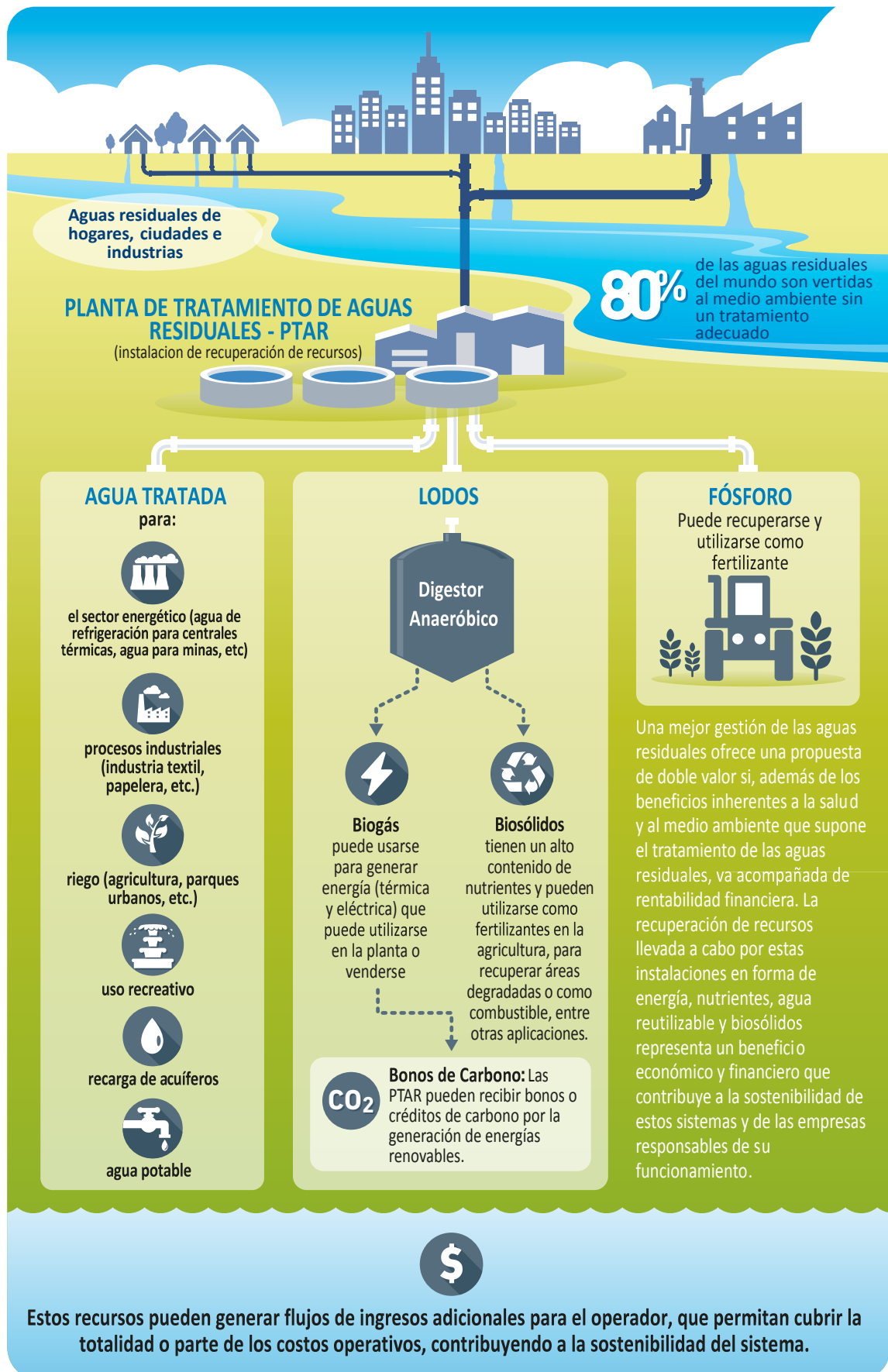
○ La Farfana, Santiago, Chile



○ Planta de reciclaje de agua en Durban, South Africa



Ilustración 1.2 Recuperación de recursos en plantas de tratamiento de aguas residuales



Este nuevo enfoque también es necesario para alcanzar los ODS, que añaden una nueva dimensión a los desafíos del sector, al considerar la sostenibilidad. Los ODS se enfocan no sólo en la provisión de servicios de saneamiento sino también en mejorar la calidad del agua, poner en práctica la gestión integrada de los recursos hídricos, mejorar la eficiencia del uso del agua en los diversos sectores, reducir el número de personas que sufren escasez de agua, y restaurar los ecosistemas acuáticos, entre otros objetivos pertinentes. Por tanto, el tratamiento y manejo sostenible de las aguas residuales será crucial para lograr el ODS 6, y además también puede contribuir a cumplir varias otras metas. Por ejemplo, la generación de electricidad en las plantas de tratamiento de aguas residuales usando el biogás producido, puede contribuir hacia el ODS 7 (relacionado con la energía) y el ODS 13 (de acción por el clima); tratar las aguas residuales y restaurar las cuencas hidrográficas también contribuye al ODS 3 (salud y bienestar), al ODS 11 (ciudades sostenibles), y al ODS 14 (vida submarina), entre otros.

Existe falta de coordinación entre instituciones, legislación y sectores. En la mayoría de los países de la región, las regulaciones del sector del agua no están alineados con las de energía, salud, industria (incluida la minería), y agricultura, y por consiguiente limitan la recuperación y reutilización del agua residual (para energía, irrigación, nutrientes, conservación, etc.). Es más, las responsabilidades de la provisión de servicios de saneamiento con frecuencia se encuentran fragmentadas en diferentes esferas de los gobiernos. El gobierno nacional establece políticas y objetivos, mientras que la provisión del servicio, incluida la inversión, O&M y control, generalmente se delegan a los gobiernos municipales, que en muchos casos carecen de la capacidad técnica y financiera para proporcionar los servicios de forma adecuada (Trémolet 2011). Existe también la falta de coordinación entre las instituciones gestoras del recurso del agua y las responsables de los servicios de saneamiento. Como resultado, los planes de saneamiento generalmente no se incorporan en los esfuerzos de planificación de las cuencas hidrográficas, lo que da lugar a sistemas ineficientes y costosos.

La recuperación de los recursos no es una idea nueva: ¿por qué este enfoque no ha llegado a la región?

Muchos desafíos, institucionales, económicos, regulatorio, sociales y tecnológicos – tendrán que superarse para lograr el cambio necesario de paradigma.



La brecha en el conocimiento y la falta de voluntad política conservan el status quo. Existe una generalizada falta de comprensión sobre el concepto de recuperación de recursos del agua residual y cómo ponerlo en práctica. El agua residual todavía se considera una limitación o una sustancia con la que hay que lidiar y que hay que descartar, en lugar de verla como un recurso. Esto produce falta de voluntad política para desarrollar políticas y reglamentos que apoyen e incentiven la reutilización del agua residual y la recuperación del recurso.



El agua está subvalorada. Salvo que los recursos hídricos se valoren adecuadamente (HLPW 2018), será difícil promover iniciativas de recuperación de recursos del agua residual. La valoración inadecuada del agua también da lugar a una tarifación errónea de los recursos hídricos y de los servicios de agua, lo que desalienta el desarrollo de proyectos de recuperación de recursos. Por ejemplo, si las industrias pagan una cuota muy baja por extraer agua dulce, tienen poco incentivo para pagar por el agua residual tratada, salvo que haya una escasez de agua recurrente.

Se recalca demasiado la promoción y el financiamiento de nueva infraestructura, sin considerar lo suficiente el ciclo de vida de una planta o la sostenibilidad del sistema (por ej., cobertura de los costos de O&M) y sin evaluar la capacidad real de la infraestructura existente ni maximizar su uso.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales dependen de financiamiento convencional (es decir, público) y no se aprovechan de las condiciones del mercado ni de incentivos para mejorar la sostenibilidad. Existe la necesidad de mecanismos de financiamiento innovadores que puedan promover el desarrollo y la inversión en sistemas de tratamiento de aguas residuales que sean sostenibles y que mejoren la salud de los ecosistemas locales.



Desafíos regulatorios

Los marcos regulatorios en vigor con frecuencia son demasiado restrictivos y/o incongruentes.

Muchas veces los países adoptan regulaciones para la calidad del agua aceptadas internacionalmente, que no están adaptadas a sus necesidades específicas. Con frecuencia, las regulaciones se diseñan sin tomar en cuenta las implicaciones financieras de su aplicación (particularmente sus costos operativos). La aplicación de marcos regulatorios más flexibles que puedan introducirse gradualmente y que sean idóneas para cada país, pueden promover una inversión adecuada en las soluciones necesarias para proporcionar servicios sanitarios, así como para crear valor a partir de la reutilización del agua y la recuperación de recursos.

El control de las descargas industriales es inadecuado. Insuficiente legislación, reglamentación y control de las descargas industriales significa que un exceso de contaminantes se libera sin tratarse al medio ambiente, o se tratan en una planta de tratamiento que ya está sobrecargada. Si se descargan desechos industriales sin tratarse, la calidad del agua del cuerpo que los recibe se deteriora, con muchas implicaciones económicas, sociales y ambientales. Si los efluentes se envían a la planta de tratamiento, los clientes residenciales terminan pagando el tratamiento industrial con sus tarifas.

Faltan marcos regulatorios y de directrices para la reutilización del agua, para el uso beneficioso de los biosólidos, y para la generación de energía en las plantas de tratamiento de aguas residuales. En América Latina y el Caribe, hay incluso regulaciones que limitan o prohíben la recuperación de recursos

en plantas de tratamiento de aguas residuales. Por ejemplo, en algunos países, la reutilización del agua residual se permite sólo para un conjunto limitado de actividades, como irrigación restringida, o el uso de biosólidos está prohibido en el sector agrícola. Se necesitan reglamentos y directrices claros para asegurar el uso seguro de los productos secundarios de las aguas residuales y para ampliar el potencial del mercado. Es más, la falta de regulaciones para determinar el precio de los recursos recuperados del agua residual inhibe la inversión por parte de las empresas de agua y del sector privado en estos proyectos debido a la incertidumbre sobre el rendimiento de su inversión. Un precio claro y justo del agua tratada, los biosólidos y la energía generada, promovería la innovación e inversión necesarias.

No hay incentivos para la reutilización del agua residual y la recuperación de los recursos, o si existen son insuficientes.

Existe la necesidad de marcos regulatorios que específicamente proporcionen incentivos a todos los actores para considerar las aguas residuales como un recurso. Hoy, en muchos países, los beneficios e ingresos adicionales obtenidos se aplican únicamente hacia la reducción de tarifas, lo que es una barrera para la recuperación de recursos. La existencia de incentivos perversos como el precio bajo de la extracción de agua dulce también es una barrera para las iniciativas de recuperación del recurso.



Desafíos sociales

Las percepciones negativas sobre el agua regenerada y de los productos provenientes del agua residual no se han contrarrestado de manera adecuada.

A Un desafío importante para el desarrollo de un mercado para los subproductos del agua residual es la poca aceptación social del uso de productos reciclados a partir de desechos humanos. También, entre los agricultores que ya emplean aguas residuales no tratadas, muchos rechazan su tratamiento porque tienen la percepción de que se perderán los nutrientes del agua residual y que el rendimiento de sus cultivos disminuirá. Se necesita conciencia pública y campañas de educación para desarrollar confianza y cambiar las percepciones negativas.



Desafíos tecnológicos

Los criterios de selección de la tecnología están sesgados hacia tecnologías costosas sin considerar qué posibilidades son más idóneas para las condiciones locales. Un desafío relacionado con este punto en algunos países es la falta de ingenieros y planificadores con conocimiento de diferentes tecnologías para el tratamiento de aguas residuales y la recuperación de recursos.



¿Qué debe hacerse para superar estos desafíos y lograr el cambio de paradigma necesario?

Para lograr un cambio de paradigma en el sector, y con base en los estudios de caso y las lecciones aprendidas en la región de América Latina y el Caribe, **se han identificado cuatro acciones clave.** Primero, en el ámbito del país o la región, las iniciativas de aguas residuales deben planificarse dentro del marco de una cuenca hidrográfica para asegurar que se logre la solución más óptima en cuanto a costos y la más sostenible. Luego, en el ámbito del proyecto, las plantas de tratamiento de aguas residuales deben operarse de manera eficiente y efectiva, tomando en cuenta las oportunidades para recuperar recursos. Esto permitirá explorar financiamiento y modelos de negocio innovadores que aprovechen los principios de una economía circular. De manera simultánea, los países necesitan desarrollar los marcos de política, institucionales y regulatorios que promuevan el cambio de paradigma.

ACCIÓN 1.

Planificar el agua residual a nivel de cuenca



ACCIÓN 2.

Pasar de plantas de tratamiento de aguas residuales a instalaciones para la recuperación de recursos



ACCIÓN 3.

Aplicar modelos financieros y de negocio innovadores



ACCIÓN 4.

Promover las políticas, instituciones y regulaciones necesarios



ACCIÓN 1.

Desarrollar iniciativas de aguas residuales como parte del marco de planificación de la cuenca hidrográfica para maximizar los beneficios, mejorar la eficiencia y la asignación de recursos e involucrar a los actores pertinentes

Existe la necesidad de pasar de soluciones ad hoc y asiladas para las aguas residuales, como una planta de tratamiento por municipalidad, a métodos de planificación integrada de las cuencas hidrográficas que produzcan sistemas más sostenibles y resilientes.

La planificación de cuencas ofrece un marco de coordinación para la gestión de los recursos hídricos combinando los esfuerzos de los sectores público y privado para abordar los problemas más prioritarios dentro de las áreas geográficas hidrológicamente definidas, tomando en cuenta todas las fuentes de agua. Al planificar y analizar la calidad y cantidad de agua en la cuenca se pueden lograr soluciones integradas que son más sostenibles desde las perspectivas financiera, social,

económica y ambiental. La planificación de cuenca permite el aprovechamiento óptimo de instalaciones y programas de saneamiento, incluida la ubicación, calendarización y etapas de la infraestructura de tratamiento. También permite a los encargados de tomar decisiones a planificar y priorizar las inversiones. El marco de planificación de la cuenca también permite diseñar normas para los efluentes basadas en los contextos específicos de los cuerpos receptores en lugar de usar normas uniformes o arbitrarias para todo el país, lo que permite inversiones más eficientes. La planificación de la cuenca es, por lo tanto, un proceso iterativo que permite a los tomadores de decisiones pasar del método tradicional reactivo a un problema ambiental serio, a un método proactivo para gestionar los recursos disponibles en una cuenca a través de un proceso estructurado y gradual. Además, al incluir las aguas residuales en el sistema hidrológico como posible fuente adicional de agua, es factible contabilizar y planificar la reutilización del agua residual a escala. Este cambio debe reflejarse en el marco de política del agua. Este enfoque se explora en el capítulo 2.

ACCIÓN 2.

Desarrollar la empresa de agua del futuro: pasar del concepto de planta de tratamiento del agua residual a una de recuperación de los recursos para aprovechar el valor del agua residual

La práctica de tratamiento de aguas residuales sigue evolucionando, no solo tecnológicamente pero funcionalmente también. Tradicionalmente, el tratamiento se enfocaba en descontaminar el agua y descargarla de manera segura al medio ambiente. Convertir una planta de tratamiento de aguas residuales en una instalación para la recuperación del recurso (NSF, DOE, y EPA 2015) viene con el reconocimiento de que muchos componentes del agua residual pueden recuperarse para propósitos beneficiosos: agua (para agricultura, el medio ambiente, la industria e incluso para consumo humano), nutrientes (nitrógeno y fósforo) y energía. Estos recursos pueden generar flujos de ingresos adicionales para la empresa de agua, que potencialmente transformaría al sector de saneamiento de uno muy subsidiado a uno que genere ingresos y sea auto sostenible. Para avanzar

hacia la empresa de agua ideal del futuro, primero a las empresas de agua deben manejarse adecuadamente y desempeñarse bien. En segundo lugar, las instalaciones de tratamiento necesitan diseñarse, planificarse, manejarse y operarse de manera efectiva y eficiente, tomando la cuenca como la unidad de análisis. Finalmente, los países necesitan reconocer el valor real del agua residual y los recursos que pueden extraerse de ella, incorporando los principios de una economía circular en su estrategia de planificación de inversiones y de diseño de la infraestructura, con vistas al futuro. Invertir en la infraestructura equivocada puede resultar en soluciones ineficientes e insostenibles a largo plazo. Esto destaca la importancia de tener la recuperación de los recursos en mente al planificar las inversiones en agua residual. Este tema se explora en el capítulo 3.

ACCIÓN 3.

Explorar y apoyar el desarrollo de financiamiento innovador y de modelos de negocios sostenibles en el sector

El financiamiento de la infraestructura de saneamiento y la recuperación de sus costos es un desafío en toda la región. Muchas empresas de agua no cobran tarifas adecuadas de saneamiento para cubrir los costos de O&M, sin mencionar la inversión de capital o la ampliación futura. Por consiguiente, hay bastante coincidencia en que se necesitan subsidios más eficientes para el saneamiento, por lo menos en el período de transición. Sin embargo, que haya subsidios no significa que el sector deba depender de financiamiento convencional sin aprovechar las condiciones del mercado y los incentivos para mejorar la sostenibilidad. Dado el potencial para reutilizar y recuperar recursos en las plantas de tratamiento de aguas residuales, el sector debería aplicar modelos financieros y de negocio innovadores que aprovechen esos posibles flujos adicionales de ingresos. Estos nuevos métodos se exploran en el capítulo 4.

ACCIÓN 4.

Poner en práctica los marcos de política, institucionales, y regulatorios necesarios para promover el cambio de paradigma en el sector

Finalmente, para que este cambio de paradigma se dé, se necesitan incentivos de política, institucionales

y regulatorios (PIR) para promover inversiones que fomenten los principios de una economía circular. Los estudios de caso analizados muestran que dichos proyectos generalmente se desarrollan de manera ad hoc y sin planificación nacional o regional, donde los factores favorables muchas veces son físicos y locales: escasez de agua, distancia a la fuente de agua más próxima, etc. Para permitir el desarrollo de proyectos innovadores a mayor escala, también se requieren cambios en el entorno de PIR y se necesita valorar correctamente los recursos hídricos. Las tecnologías de tratamiento de aguas residuales han estado avanzando mucho más rápido que las políticas para crear un entorno favorable para ellas. Políticas y sistemas de gobierno débiles se encuentran entre las principales limitaciones para el uso de tecnologías para la reutilización y recuperación de recursos. Los esfuerzos de planificación de cuencas en la región también necesitan fortalecerse: los gobiernos necesitan apoyar a las organizaciones de cuencas para que éstas puedan mejorar su pericia técnica y ejercer su poder de supervisión y ejecución.

Además, las intervenciones priorizadas en los planes de cuencas deben alinearse a las prioridades municipales y regionales. Los reglamentos y normas también necesitan

adaptarse a las necesidades de la región y a las tendencias actuales en el sector. La mayor parte de la legislación existente en América Latina y el Caribe fue creada con el único propósito de cumplir las normas ambientales y son copias de instrumentos de Europa y/o los Estados Unidos, que tienen capacidades y medios financieros muy diferentes. Sin embargo, los cambios en el sector exigen nueva legislación y reglamentos que adopten y promuevan un cumplimiento gradual, sean flexibles, y promuevan la reutilización y la recuperación de recursos.

Finalmente, los países en la región necesitan asegurar que tienen la capacidad institucional necesaria para aplicar y hacer cumplir las regulaciones ambientales como las normas de control de contaminación del agua. Las intervenciones en PIR se exploran en el capítulo 5.





2. Reconversión de la herramienta tradicional de gestión de los recursos hídricos para el sector del saneamiento

La planificación de las cuencas hidrográficas es conocida tradicionalmente por los profesionales de la gestión de los recursos hídricos como una herramienta para regular el uso del agua, asignar los recursos e incrementar la eficiencia de las intervenciones en las cuencas. Este método, que también se promueve como parte del marco para la Gestión Integral de Agua Urbana (conocido como IUWM por sus siglas en inglés), caracteriza las condiciones existentes, identifica y prioriza los problemas, define los objetivos de gestión, desarrolla estrategias de protección o restauración y pone en marcha las acciones seleccionadas. Los principios rectores del método de planificación de cuencas hidrográficas son: i) alianzas con actores de múltiples sectores, ii) enfoque de cuenca como la unidad básica de planificación, y iii) acciones multidisciplinarias coordinadas, fundamentadas en la ciencia.

A pesar del amplio uso y de la perspectiva holística de la planificación de cuencas hidrográficas, rara vez se emplea en la planificación y diseño de proyectos de saneamiento y particularmente para plantas de tratamiento de aguas residuales. Algunos de los

estudios de caso que se presentan en este informe, como el proyecto de descontaminación del Río Bogotá, (ver [Documento de Base II](#)) demuestran cómo el uso del método de planificación de cuencas hidrográficas ayuda a reducir las inversiones a través de distribuir la responsabilidad de las mejoras en la calidad del agua entre diferentes intervenciones y actores.

2.1 ¿Por qué necesitamos planificar las cuencas hidrográficas?

Tomar en cuenta toda la cuenca hidrográfica puede ayudar a los planificadores a entender diferentes factores de estrés en la calidad del agua, su interacción en la cuenca y puede dar lugar a diseños de proyectos más robustos. El deterioro de un cuerpo de agua es causado por la contaminación proveniente de diversos usos del suelo y por las descargas de aguas residuales en él. La contaminación puede provenir de fuentes puntuales (por ej., de plantas de tratamiento de aguas residuales, de plantas industriales, de desembocaduras de agua de lluvia, del desbordamiento de alcantarillados, de drenajes agrícolas, etc.) y de fuentes no puntuales



El agua residual debe incluirse en el balance hídrico como parte de la planificación de la cuenca, dado su potencial como recurso, particularmente en áreas con escasez de agua.

o de origen difuso (por ej. de vertidos ilegales y basura, de fertilizantes y plaguicidas, de escorrentías provenientes de la agricultura, de aceite y gasolina de vehículos, etc.). Estas diferentes fuentes de contaminación tienen un efecto acumulativo en los cuerpos de agua receptores, dependiendo de los tipos de contaminante, cargas, momentos, y ubicaciones de las descargas en la cuenca. Por consiguiente, su impacto colectivo debe evaluarse al planificar las inversiones en el tratamiento de las aguas residuales. Comprender estos efectos acumulativos en las cuencas y sus interacciones puede dar lugar a soluciones cuyo objetivo sean reducir las diferentes fuentes de contaminación, reduciendo la carga en las plantas de tratamiento de aguas residuales y por consiguiente mejorando la eficiencia, reduciendo costos y produciendo mayores beneficios ambientales. La planificación de las cuencas hidrográficas permite el diseño de mejores procesos de tratamiento ya que considera las características río arriba de la cuenca hidrográfica (las fuentes de contaminación existentes y la hidrología) así como las características de los usuarios río abajo y el cuerpo de agua receptor. La planificación por cuenca hidrográfica también puede informar la adaptación de las normas y regulación de los efluentes a las características específicas del cuerpo receptor.

La coordinación de intervenciones multisectoriales, públicas y privadas, a nivel de cuenca maximiza sus impactos combinados en la calidad del agua. Las plataformas de múltiples grupos de interés forman el pilar del desarrollo y aplicación de un plan de cuenca hidrográfica. Estas plataformas, que generalmente están estructuradas alrededor de consejos de cuenca u organismos institucionales similares, buscan desarrollar consenso entre necesidades que compiten entre sí, y definir objetivos comunes para la cuenca. El objetivo de desarrollar alianzas es incluir a todos los actores en una cuenca: es decir, en principio, cualquiera que directa o indirectamente se beneficie de los recursos de la cuenca y que contribuyen a su contaminación. A través de una evaluación holística, este proceso promueve la identificación de inversiones multisectoriales coordinadas, tanto de fuentes públicas como privadas, hacia una visión común para la cuenca en términos de cantidad y calidad de agua. Como resultado de ello, se evitan traslapes entre proyectos y se logran mayores eficiencias al aprovechar la complementariedad de los proyectos.

Recuadro 2.1 Usar un método de cuenca hidrográfica para planificar el tratamiento del agua residual y reducir las necesidades de inversión: Guayaquil, Ecuador

La municipalidad de Guayaquil, Ecuador, ha promovido la creación de un fondo de agua para limpiar y conservar la Cuenca del Río Daule (Santos 2018). Su plan de acción incluye el control de la calidad del agua, el tratamiento del agua residual, el control de la erosión y sedimentación, y la reforestación, entre otras acciones. La municipalidad también ha desarrollado un [plan integrado para la gestión del agua residual](#) (Santos 2018) que incluye un modelo hidrológico del cuerpo de agua receptor (la Cuenca Daule) para entender sus características y evaluar el grado necesario de tratamiento para cumplir con los reglamentos existentes. El modelo demostró que el grado de tratamiento necesario en las plantas de tratamiento de aguas residuales era más bajo de lo que se estimó inicialmente, ya que el cuerpo de agua tenía mayor capacidad de absorción que la esperada. Esto resultó en una inversión más eficiente y efectiva.

Este proceso de planificación de cuencas puede facilitar la identificación de oportunidades para la reutilización y recuperación de recursos en las plantas de tratamiento de aguas residuales. A través de un marco de planificación de la cuenca, el agua residual tratada puede incluirse como parte del balance hídrico de la cuenca. Se pueden identificar usuarios futuros del agua residual tratada, y se puede promover su uso. Un proceso participativo puede atraer a otras entidades (es decir, clientes de biogás, electricidad, y biosólidos) que se beneficiarían del desarrollo de una planta para la recuperación de recursos (ver capítulo 3) en la cuenca. Esto promueve sinergias entre sectores y el desarrollo de proyectos que atraigan a usuarios futuros (por ej. en energía y agricultura) desde un principio (es decir, durante el diseño y la conceptualización).

Se ha visto que las plataformas de grupos de interés desarrolladas como parte del proceso de planificación de la cuenca hidrográfica reducen los conflictos en la cuenca, agilizando la ejecución de las

intervenciones. Los consejos de cuencas hidrológicas actúan como foros neutros en los que las iniciativas relacionadas con la cuenca, incluidos proyectos de infraestructura, pueden discutirse y negociarse. En este espacio, los beneficiarios del proyecto y la gente afectada pueden tener voz y pueden influenciar el diseño de un proyecto. Este proceso no solo mejora el diseño del proyecto sino también facilita una ejecución más fácil del mismo.

Como se describe en la siguiente sección, la planificación de una cuenca es un proceso iterativo que permite la aplicación de una gestión adaptativa a los impactos del cambio climático. Los planes de cuenca pueden modificarse para incorporar cambios en las variables climáticas. Así, se pueden evitar inversiones muy conservadoras que no pueden justificarse en vista del nivel de incertidumbre que generalmente rodea las predicciones sobre cambio climático.

2.2 El proceso de planificación de una cuenca hidrográfica

A pesar de variaciones en las metodologías de planificación alrededor del mundo, un proceso de planificación de una cuenca generalmente se concibe como un ciclo con siete etapas principales. Los resultados de este proceso se documentan en un plan para la cuenca que resume los análisis, a los actores, las acciones, los cronogramas y los recursos necesarios para desarrollar y ejecutar el plan. A medida que se ejecuta el plan, se emplean nuevos datos y lecciones aprendidas para actualizarlo y adaptarlo. Las siete etapas del proceso de planificación se describen a continuación. Pueden encontrarse más detalles en el [Documento de Base II](#), que demuestra el proceso de planificación de cuenca a través de un ejemplo concreto: el proyecto de descontaminación del río Bogotá (Banco Mundial 2019b).

1^{era} etapa: Desarrollo de alianzas. Éste es el componente más importante del proceso de planificación de cuencas. No incluir a los socios esenciales con frecuencia causa el colapso de los planes debido a falta de apropiación y compromiso en su ejecución. La principal agencia del gobierno encargada del proceso de planificación de la cuenca debe instituir una estructura de gobernanza robusta que permita a los actores participar en el proceso de

planificación y que establezca claramente sus roles y obligaciones.

2^a etapa: Caracterizar la cuenca. El propósito de este paso es entender los problemas en una cuenca e identificar sus posibles causas. Con frecuencia se emplean múltiples fuentes de datos con diferentes resoluciones. En ausencia de datos locales confiables, los datos mundiales y la teledetección pueden ser importantes fuentes de información. Los modelos también son fundamentales para entender mejor una cuenca. El [Documento de Base III](#) proporciona un resumen de los principales tipos de modelos que se emplean para evaluar la calidad del agua de una cuenca, y de los datos necesarios para usarlos.

Recuadro 2.2 La utilización de la planificación de cuencas hidrográficas para encontrar soluciones de bajo costo para controlar la contaminación: Kentucky, los Estados Unidos.

En Kentucky, al usar el proceso de planificación de cuenca se identificó una gama de posibles soluciones para controlar la contaminación, incluyendo infraestructura verde (por ej., la gestión del agua pluvial) e infraestructura convencional (por ej. mejoras al sistema de alcantarillado). Se emplearon modelos para definir los costos y la calidad del agua resultante de diversas combinaciones de controles. Los resultados de esta evaluación se emplearon para priorizar qué controles aplicar.

Los resultados del modelo demostraron que una solución integrada que combina controles de cuenca con infraestructura ofrece mejores beneficios en la calidad del agua y a un costo más bajo que una solución tradicional basada únicamente en infraestructura. El método se empleó para invertir en las soluciones más rentables.

Fuente: LimnoTech 2018.

3^{era} etapa: Definición de las metas de gestión. El próximo paso es definir las condiciones deseadas esperadas de la ejecución de un plan de gestión de la cuenca. Estas metas de gestión corresponden a los usos deseados de la cuenca, que necesitarán

objetivos específicos de cantidad y calidad del agua. Una vez que se definan estos objetivos, el siguiente paso consiste en determinar las reducciones de carga que serán necesarias para cumplir los objetivos. Las herramientas de modelado pueden ayudar a hacer esta determinación ya que permiten entender la relación entre las fuentes de contaminación, las cargas de contaminación, y la respuesta de los cuerpos de agua receptores.

4ª. etapa: Formular posibles soluciones. En este punto, los planificadores buscan identificar medidas de ingeniería y otras soluciones para lograr las metas convenidas entre los actores. Para los programas de saneamiento, las soluciones de ingeniería generalmente consisten en la instalación de un sistema de alcantarillado para aguas residuales y la construcción de una o más plantas de tratamiento de aguas residuales. Las medidas que no son de ingeniería pueden incluir controles sobre los vertidos provenientes de la agricultura, el cierre y reubicación de actividades contaminantes, la educación del público, mejoras en la recolección de los desechos sólidos, etc. Un plan de cuenca bien diseñado debería incluir ambos tipos de medidas y formular soluciones de control para todas las fuentes importantes de contaminación más allá de las aguas residuales no tratadas.

5ª etapa: Desarrollo del plan de la cuenca. En este punto se identifican varias alternativas, representadas como conjuntos de soluciones, para cumplir las metas para la cuenca. Los planificadores deben elegir la “mejor” de esas alternativas con el uso de criterios técnicos y no técnicos. La alternativa seleccionada se convierte en la base para el plan de gestión de la cuenca, y se establecen las estimaciones de costo, la programación, y los arreglos institucionales necesarios.

6ª. etapa: Ejecución del plan de la cuenca. La implementación del plan de la cuenca implica la ejecución de todos los proyectos relacionados. Para poner en práctica estas soluciones multidisciplinarias complementarias, se necesitan un gobierno robusto, una rendición clara de cuentas, suficientes recursos y un nivel adecuado de autoridad. La operación y mantenimiento (O&M) de los proyectos individuales son también parte del plan de ejecución. Con frecuencia, una operación de largo plazo es vista como una actividad separada de la planificación porque las operaciones y el mantenimiento son realizados por diferentes agencias. Sin embargo, contar con el financiamiento adecuado para las operaciones y el mantenimiento es esencial para el éxito del plan de la cuenca, ya que mantiene las funciones esperadas de la infraestructura instalada.

7ª. etapa: Monitoreo y evaluación (M&E). Es vital contar con un programa efectivo de M&E para analizar el avance a largo plazo. En entornos urbanos, es posible que los indicadores iniciales muestren algún deterioro antes de que la situación mejore, lo que refleja un continuo crecimiento de la población, incluso cuando los proyectos del plan de la cuenca empiezan a ejecutarse. Las soluciones a los problemas de la cuenca necesitan verse como intergeneracionales, aunque siempre es posible lograr un avance rápido en actividades de alto valor. La función más valiosa del programa de M&E es que permite aprender durante la ejecución, lo que a su vez da lugar a una gestión adaptativa, es decir, la capacidad de ajustar el plan de ejecución de acuerdo con lecciones aprendidas en el proceso (Hooper y Lant 2007).

Los 7 pasos de la planificación de cuencas hidrográficas



Recuadro 2.3 Plan de cuenca para el Río Bogotá, Colombia

Un plan de gestión de cuenca desarrollado para el Río Bogotá en Colombia centró la atención no solo en aguas residuales y saneamiento sino también en la calidad general del agua en el río, en los riesgos de inundaciones, y el suministro de agua para usos potables y otros. Tras un minucioso inventario de las condiciones actuales, se definieron metas ambientales, operativas y ecológicas. Con la ayuda de modelos de calidad y suministro de agua y de riesgo de inundaciones, el plan planteó varias alternativas de gestión que se consolidaron en un programa detallado de inversión así como en un plan de control para evaluar el avance hacia los objetivos.

[Documento de base II](#) [Banco Mundial 2019b]).

2.3 Principales consideraciones en la ejecución de planes en cuencas hidrológicas

A pesar de sus muchas ventajas, persisten los desafíos de ejecución en la planificación de la cuenca: (i) los presupuestos para las agencias del gobierno rara vez están vinculados a los planes de las cuencas hidrológicas y generalmente se destinan a intervenciones independientes y específicas para cada sector; ii) los beneficios del desarrollo económico de un plan de cuenca pueden resultar difíciles de demostrar ya que generalmente se dan en un plazo de tiempo largo y contienen varios beneficios no tangibles; iii) la planificación con múltiples grupos de interés puede ser difícil y demanda muchos recursos;

iv) la representación de los actores y el poder de decisión puede ser difícil de equilibrar; v) la legislación nacional promulgada a veces no permite la aplicación del método de cuenca; vi) la coordinación de todas las agencias pertinentes del gobierno podría ser difícil debido a que las funciones y objetivos están segregadas y pueden haber diferentes intereses políticos; y vii) en algunos casos existe la necesidad de nuevas capacidades técnicas para el desarrollo de planes de cuencas hidrográficas.

Es necesario fortalecer los esfuerzos de planificación de las cuencas en la región. Los gobiernos necesitan apoyar a las organizaciones de cuencas para que puedan mejorar su pericia técnica y ejercer poder de supervisión para aplicar la ejecución de los planes de cuencas. El sector de saneamiento – como uno de los principales beneficiarios de la planificación de cuencas hidrológicas – necesita estar presente en las organizaciones, y ser activo en la promoción de la planificación de cuenca. En lugar de promover una planta de tratamiento por municipalidad, los países deberían evaluar las verdaderas necesidades de las cuencas y trabajar para implementar una normativa de calidad del agua congruente con las metas establecidas en el ámbito de la cuenca (por ej. dar cuenta de la capacidad de dilución del río).



3. La empresa de agua del futuro: de plantas de tratamiento de aguas residuales a instalaciones para la recuperación de recursos

La empresa de agua del futuro aspira a operar eficientemente y a recuperar todos los recursos del agua residual y a ser sostenible a largo plazo. La empresa de agua del futuro opera según los principios de una economía circular y reconoce el valor real del agua residual como recurso: aspira a ser neutra desde el punto de vista de uso de energía eléctrica o incluso puede ser productora de energía, pone en práctica el uso beneficioso de los biosólidos y reutiliza el agua residual tratada. De manera ideal, todos estos elementos proporcionan un flujo adicional de ingresos o ayudan a cubrir los costos de operación y mantenimiento (O&M), con lo que la empresa es sostenible tanto ambientalmente como financieramente. Por lo tanto, la empresa del futuro no maneja plantas de tratamiento de aguas residuales (WWTP en inglés) sino instalaciones para la recuperación del recurso agua (WRRF en inglés). La empresa de agua del futuro también maneja eficientemente su infraestructura a la vez que protege el medio ambiente y la salud de la población.

La primera condición es que esté bien manejada. Los proyectos de tratamiento de aguas residuales y saneamiento se diseñan para proporcionar servicio durante décadas. El capítulo anterior plantea el argumento de que la planificación a nivel de cuenca es más ventajosa porque da lugar a las mejores soluciones posibles en una gama amplia de situaciones. Sin embargo, salvo que las operaciones y el mantenimiento de la costosa infraestructura descrita en el plan esté en manos de empresas de agua robustas, los beneficios del método de planificación de cuenca para el saneamiento y

el tratamiento de las aguas residuales no se conseguirán. En América Latina y el Caribe, como en muchas regiones del mundo, empresas mal gestionadas ponen en peligro la sostenibilidad de las soluciones utilizadas. Hay varios ejemplos en la región de empresas de agua muy bien manejadas, por ejemplo, en Brasil, Chile y Colombia. El tema del desempeño de las empresas de agua es complejo y no es el propósito principal de este informe. Puede leer más en los diversos materiales publicados por el Banco Mundial sobre el tema, incluida una publicación que define las características de empresas públicas de agua que se desempeñan bien (Banco Mundial 2006) y un informe que ofrece a las empresas de agua orientación para mejorar su desempeño (Soppe, Janson, and Piantini 2018).

3.1 Gestión eficiente y efectiva de las instalaciones para la recuperación de recursos

El primer requisito para pasar a una economía circular y ejecutar la reutilización y recuperación de recursos en instalaciones de tratamiento es asegurar que las instalaciones se gestionan de manera efectiva y eficiente. La gestión efectiva y eficiente empieza con una planificación y un diseño inteligente. Cuando las instalaciones de tratamiento se planifican con la recuperación de recursos y la sostenibilidad en mente, el camino hacia una economía circular queda allanado.

La adecuada planificación, diseño y operación implican una serie de acciones que se resumen a continuación (y en más detalle técnico en el [Documento de Base I](#) [Banco Mundial 2019d]).



Una caracterización y proyección inadecuadas de los afluentes de aguas residuales puede dar lugar a instalaciones sobredimensionadas con costos innecesariamente elevados

Proyección de afluentes de aguas residuales: comprensión del lado de la demanda del tratamiento

Proyectar afluentes de aguas residuales con parámetros de libro de texto con frecuencia causa que los procesos de tratamiento se seleccionen o dimensionen de manera inadecuada, con gastos de capital y operativos más elevados de lo necesario. Cada municipalidad tiene características singulares (por ej., clima, variaciones estacionales, infraestructura urbana) que dan forma al caudal de sus aguas residuales, a la concentración de contaminantes, etc. A pesar de estas diferencias, las plantas de tratamiento con frecuencia se diseñan con base en parámetros de libro de texto. Es mejor basarse en el muestreo localizado y los análisis de laboratorio en vez de usar solo caudales teóricos de aguas residuales o de cargas de demanda de oxígeno. En la mayoría de los casos, estos métodos de libro de texto producen proyecciones y cargas que superan las reales, con lo que se incrementa innecesariamente el tamaño de las instalaciones de tratamiento.

Al planificar nuevas plantas de tratamiento, los afluentes de aguas servidas deberían caracterizarse con anticipación para que la instalación pueda construirse de acuerdo con las características de las aguas residuales a ser tratadas. En muchos casos, esto se hace a manera no sólo de determinar las concentraciones de varios contaminantes, sino también para mapear los caudales. Al ampliar las instalaciones existentes, se deben obtener y estudiar los registros de las características de los afluentes de aguas residuales. La exactitud de esos registros debe verificarse y deben complementarse, cuando es necesario, con muestras y controles adicionales en la planta existente e inmediatamente río abajo del tratamiento preliminar.

Aun cuando todas estas consideraciones se tomen en cuenta, los planificadores en países de renta baja y media con frecuencia se enfrentan a otros desafíos para poder proyectar y entender las características de los afluentes de aguas residuales. Asegurar la

conectividad de los hogares, implementar programas adecuados de pretratamiento para las industrias, y reducir la infiltración e ingreso (incluidas conexiones ilegales) al sistema de alcantarillado son todos asuntos que deben considerarse al diseñar instalaciones de tratamiento.

Establecimiento de objetivos sostenibles para la calidad de los efluentes

Contar con objetivos y normas razonables para la calidad de los efluentes es crucial para la reutilización y recuperación del recurso. Las normas deben basarse en las características del cuerpo de agua receptor, y/o en las necesidades de reutilización del agua. Los países tienden a seguir normas generales sobre las descargas porque son más fáciles de ejecutar y aplicar, pero normas basadas en el cuerpo de agua receptor son más eficientes y efectivas. Como se menciona en el capítulo 2 y se ejemplifica en el caso de Guayaquil, Ecuador ([Recuadro 2.1](#)), modelar la capacidad de recepción de un cuerpo de agua, por ejemplo, reduce los gastos de capital, y de operación y mantenimiento para el tratamiento en el futuro.

Es más, la ejecución gradual o por etapas de los objetivos, cuando corresponda, probablemente mejorará la sostenibilidad del sistema de tratamiento al mejorar gradualmente el conocimiento de las características del agua residual entrante, y de los efectos del tratamiento sobre la calidad del agua del cuerpo receptor. La aplicación gradual de los requisitos de los efluentes también hará posible ampliar la cobertura del tratamiento en la cuenca (es decir, con más de una planta operando y descargando), a diferencia de tener un alto grado de tratamiento en una planta, y dejar áreas más extensas sin tratamiento. Por ejemplo, la legislación mexicana ha fomentado de manera implícita un método gradual en las normas para las aguas residuales (una planta de tratamiento de aguas residuales puede pasar de los límites más laxos, 150 miligramos por litro [mg/L], a la condición de reutilización: 30 mg/L

de demanda bioquímica de oxígeno (DBO)). Por otra parte, condiciones extremadamente exigentes para la calidad de los efluentes impuestas en áreas con bajos niveles de cobertura de tratamiento impiden, en muchos casos, que la empresa de agua logre una cobertura adecuada para el tratamiento. Esto se debe a que construir nuevas plantas o actualizar las plantas existentes se vuelve muy costoso comparado con el financiamiento existente. Por consiguiente, las ampliaciones, actualizaciones y proyectos nuevos se postergan, lo que produce menor cobertura con implicaciones perjudiciales para la salud de la población, para la calidad del cuerpo receptor, y para el medio ambiente.

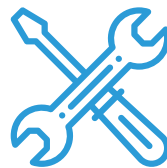


Copiar las normas de otros países (por ej. las directivas de la UE sobre la calidad de efluentes, la 503c de la EPA para la gestión de biosólidos, etc.) sin atención adecuada al contexto local puede tener implicaciones ambientales y financieras negativas.

Seleccionar un proceso adecuado de tratamiento

La selección cuidadosa de los procesos de tratamiento a emplearse en las instalaciones es crucial para la recuperación sostenible de recursos. Los costos de capital y operativos de los procesos varían mucho. En la mayor parte de la región, existe una fuerte tendencia a preferir sistemas de lodos activados a otros procesos de tratamiento. Una excepción clara es Brasil, que se ha convertido en modelo mundial para el uso de reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA), más conocidos como reactores UASB por sus siglas en inglés. El lodo activado es una tecnología demostrada que elimina más del 90 por ciento de la demanda bioquímica de oxígeno. Sin embargo, las necesidades de energía y costos operativos de las plantas de lodo activado son elevados y no pueden siempre cubrirse

con las tarifas. La energía necesaria para la aireación da cuenta de la mayor parte de las necesidades de energía de la planta, que va de 45 por ciento hasta 75 por ciento al utilizar aireación ampliada. Esta situación empeora si la planta opera en una altitud elevada. Por ejemplo, a 3,500 metros sobre el nivel del mar, una planta consumirá aproximadamente el doble de aire que la misma planta que opere a nivel del mar. Esto es particularmente importante para la región de América Latina y el Caribe, ya que varias de sus ciudades están a altitudes de 2,000 metros o más sobre el nivel del mar. El impacto de los gastos operativos en la sostenibilidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales debe tomarse en cuenta al seleccionar el proceso correcto de tratamiento. Para sistemas de lodos activados, la influencia de los costos de capital y de operación puede concebirse como un glaciar, donde el costo del capital es la punta del glaciar, y los costos de operación durante la vida de la inversión están ocultos debajo de la superficie. Por consiguiente, los sistemas de lodos activados no deben ser la opción por defecto; deben considerarse todas las tecnologías y soluciones (reactores UASB, filtros percoladores, lagunas aireadas, lagunas anaeróbicas cubiertas, etc.) y debe elegirse la más adecuada para las condiciones locales.



Al seleccionar la tecnología de tratamiento, es importante evaluar no sólo los gastos de capital sino también los gastos de operación. Los costos de operación y mantenimiento generalmente son significativos. De hecho, a largo plazo, los costos de operación y mantenimiento superan a los costos de construcción; sin embargo, con frecuencia se desatienden cuando se calculan los gastos necesarios, lo que afecta a la sostenibilidad de estos sistemas.

Determinación del tamaño de sistemas de tratamiento: Más grande no es mejor

Las directrices tradicionales de diseño para las plantas de tratamiento de aguas residuales desarrolladas en los 70 y que aprovechan el conocimiento de los años 60 se siguen citando en la literatura actual. Estas directrices conservadoras producen plantas que son más grandes de lo que es necesario. Por esta razón, su uso se ha descontinuado en la mayor parte del mundo desarrollado. Actualmente, los especialistas emplean simuladores dinámicos con modelos matemáticos realistas para determinar el tamaño de reactores y otros sistemas de tratamiento. El uso de esos simuladores da como resultado plantas más eficientes.

Desafortunadamente, las directrices de diseño de los años 70 siguen siendo comunes en América Latina y el Caribe. Uno podría argumentar que la razón de su uso es su simplicidad y ahorro de tiempo y dinero durante las etapas iniciales de planificación. Pero el gran sobredimensionamiento de la infraestructura afecta la sostenibilidad de los sistemas, incrementa los costos de capital y operación y mantenimiento, y limita la capacidad de recuperación de recursos.

El uso correcto de la infraestructura existente

La infraestructura que ya existe puede ser un recurso valioso una vez que se evalúe su capacidad real de tratamiento para determinar el caudal máximo que puede tratar. Sin embargo, la posibilidad de adaptar la infraestructura existente con frecuencia se pasa por alto, lo que da lugar a ampliaciones innecesarias que desperdician recursos valiosos, elevan los costos e incrementan la huella de carbono.

El análisis de las plantas existentes puede revelar exceso de capacidad en algunos aspectos de los procesos de tratamiento. Con base en este conocimiento, la expansión se puede centrar primero en los procesos que presentan un cuello de botella, dando lugar a ahorros considerables.

Tanto las técnicas para evaluar la infraestructura existente como los métodos modernos de diseño (por ej. con simulación dinámica) maximizan el uso de la infraestructura y mejoran su sostenibilidad. Las técnicas de evaluación (que se explican en el [Documento de Base I](#) [Banco Mundial 2019d]) no son necesariamente complejas

o caras y pueden dar lugar a ahorros importantes y a una mayor eficiencia (vea el [Recuadro 3.1](#)).

Recuadro 3.1 Ahorro de costos gracias al uso de la infraestructura existente: Buenos Aires, Argentina

AySa, la empresa de agua y saneamiento en Buenos Aires había planificado la ampliación de sus plantas de tratamiento de aguas residuales para incrementar su capacidad. Los costos de la ampliación eran de alrededor de \$150 millones. Sin embargo, la aplicación de técnicas de auditoría de procesos permitió a la empresa utilizar sus instalaciones a su mayor potencial, con lo que se cancelaron los planes de expansión, generando un ahorro de alrededor de \$150 millones en gastos de capital.

Reducción del consumo de energía (“negavatios”)

En la región, la gran mayoría de las empresas de agua y de plantas de tratamiento de aguas residuales luchan para ser autofinanciables. Debido a que la energía con frecuencia es el mayor componente (30–40 por ciento en promedio) de los costos de operación, el incremento de los costos de la energía tiene implicaciones directas en la sostenibilidad del servicio, y en el financiamiento del sector (WWAP 2014). Las auditorías diseñadas para reducir el consumo de energía— para producir “negavatios”—pueden dar como resultado ahorros sustanciales para las empresas ([Recuadro 3.2](#); Nolasco y Rosso 2015; Medio ambiente Canadá y Ministerio del Medio Ambiente y Energía de Ontario, 1995). Las medidas técnicas que mejoren la eficiencia energética pueden reducir el consumo en 10–30 por ciento y tienen períodos de recuperación tan cortos como un año (Rodríguez, van den Berg, y McMahan 2012). Es más, las reducciones en consumo se pueden y deben planificar en las etapas de diseño, cuando se seleccionan y dimensionan los procesos, como se indicó antes. A pesar de sus ventajas, sin embargo, rara vez se hacen auditorías de energía en las plantas de tratamiento de aguas residuales en la región. Antes de que las plantas de tratamiento puedan poner en práctica proyectos de recuperación de recursos y puedan convertirse en productoras de energía, es crucial que sean eficientes en el uso de la energía (para mayor orientación sobre el potencial para aplicar iniciativas de eficiencia energética y recuperación de energía en las plantas de tratamiento, consulte [Lackey y Fillmore](#) [2017]).

Recuadro 3.2 Identificar soluciones de eficiencia energética de bajo costo puede transformar una planta de tratamiento de consumidora de energía a productora de energía: Guanajuato, México.

La planta de tratamiento de agua residual de San Jerónimo emplea un proceso convencional de lodo activado con digestión anaeróbica para procesar el lodo. El biogás generado en los digestores se procesa y quema en generadores de electricidad de 500 kilovatios (kW). Actualmente, con el biogás generado en un día completo de operación, la planta puede cubrir el uso de electricidad durante las horas de tarifa pico (tres horas al día). Durante el resto del día, la planta depende de la electricidad comprada de la red. Cuando el biogás no es suficiente para generar la electricidad necesaria en las horas pico, la planta desconecta los aireadores del sistema de lodos activados para que la cuenta de electricidad de la planta se mantenga dentro del presupuesto asignado a la planta. Estas medidas de ahorro estaban afectando la calidad del efluente, así que la planta fue objeto de una auditoría de energía para encontrar una solución mejor. La auditoría mostró que varias medidas de eficiencia energética de bajo costo en el sistema de aireación (control automático de la concentración de oxígeno disuelto, la limpieza de los difusores de aire, la introducción de zonas anóxicas para la desnitrificación) combinadas con la codigestión de residuos externos en los digestores anaeróbicos existentes, podría inclinar la balanza energética en la planta, pasándola de ser consumidora de energía a productora. Puesto que los generadores de electricidad ya estaban allí, la recuperación de la inversión podría medirse en meses.

Fuente: IWA n.d.
(<http://www.iwa-network.org/WaCCliM/mexico/>).

3.2 Valoración del agua residual: reutilización y recuperación de recursos

El agua residual no es un desecho; pueden recuperarse varios recursos de ella: agua, energía, biosólidos y nutrientes. Todos estos recursos, una vez recuperados, pueden generar un flujo adicional de ingresos o pueden ayudar a reducir los costos operativos, con lo que contribuyen a la sostenibilidad de la planta y de la empresa de agua.

Aunque los recursos se explican a continuación de manera separada, la situación ideal es que las empresas de agua exploren la recuperación de varios de ellos, como se ejemplifica en los estudios de caso de este informe. Un cambio de paradigma de planta de tratamiento de aguas residuales a instalaciones para la recuperación de recursos ofrece nuevas posibilidades para crear modelos de negocio innovadores y más sostenibles, involucrar al sector privado, y permitir nuevas maneras de financiamiento, dados los posibles nuevos flujos de ingresos, como se explica en el próximo capítulo.

Reutilización del agua

La agricultura es la mayor usuaria de agua, y la utilización de agua residual urbana tratada para irrigación en la agricultura es una práctica creciente en el mundo. El uso de agua residual parcialmente tratada en la agricultura ayuda a conservar y a ampliar los suministros disponibles de agua, y puede contribuir a una gestión más integrada de los recursos hídricos. Es más, los nutrientes (fósforo y nitrógeno) que se encuentran en el agua residual tratada pueden ser muy valiosos para los agricultores. Dependiendo de la tecnología de tratamiento empleada, los niveles de fósforo y nitrógeno en los efluentes de aguas residuales tratados pueden ser muy altos. Estos elementos en el efluente pueden incrementar el rendimiento y tamaño de los cultivos. Sin embargo, si no se planifica, gestiona y ejecuta de manera adecuada, la reutilización del agua residual tiene riesgos, incluidos riesgos de salud pública, agronómicos y ambientales.

Tabla 3.1 Potencial de reutilización de las aguas residuales

Agricultura	Recreación	Industria	Medio ambiente
Cultivos de alimentos	Aplicación de agua para paisajismo	Lavar/limpiar (alimentos, bebidas)	Recarga de agua subterránea
Cultivos de alimentos con irrigación por goteo	Lagos para navegación	Enfriamiento (generación de energía, papel y textiles)	Incremento del flujo
Cultivos no alimenticios	Lagos para nadar	Agua para procesos, agua para calderas (todas las industrias)	Mejoramiento de la aridez
Agua para que beba el ganado	Para fabricar nieve		

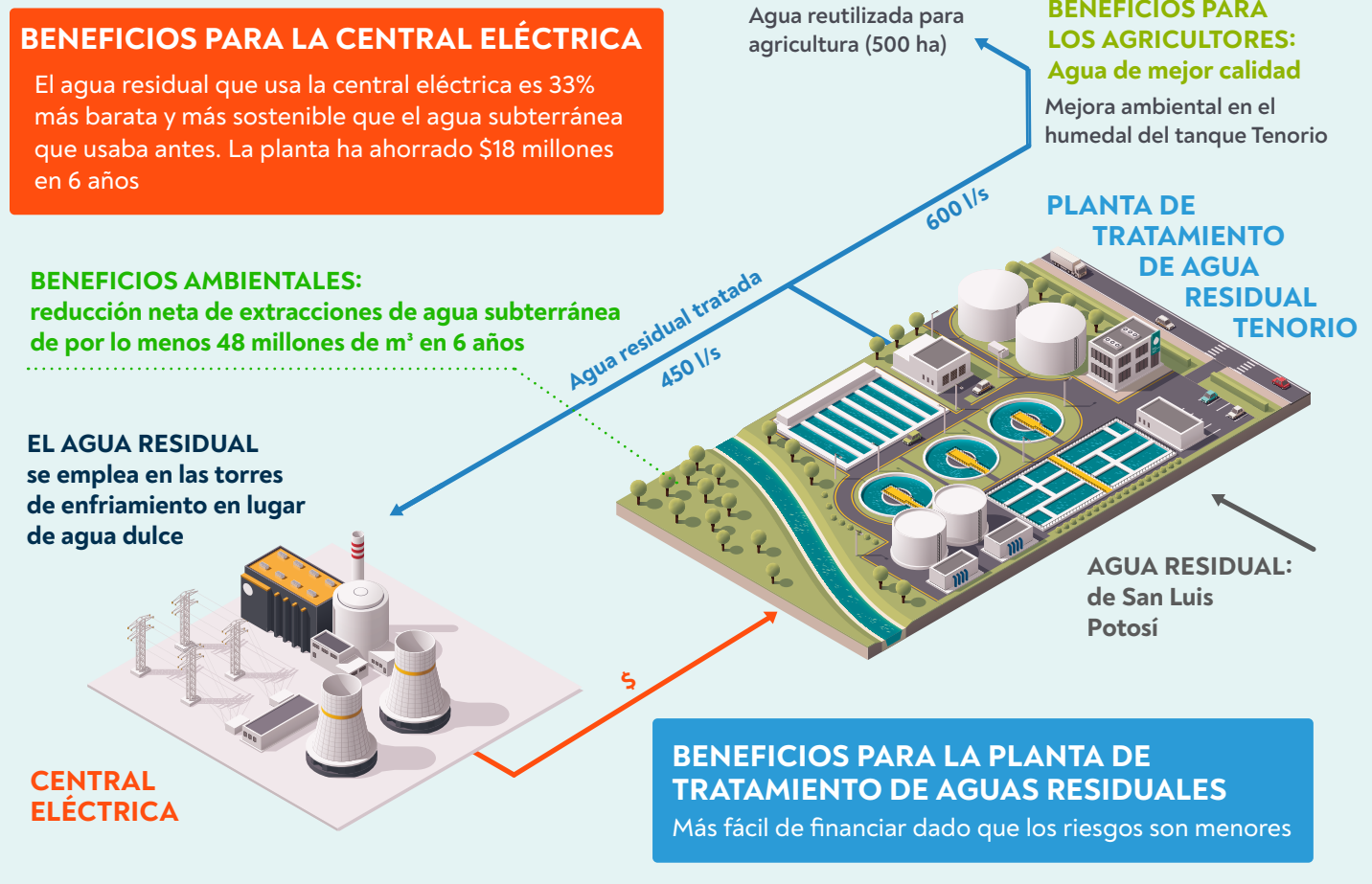
Fuente: US EPA 2012.

Además de su reutilización para irrigación, en el cuadro 3.1 se enumeran varias maneras para utilizar el agua residual tratada. Los ejemplos aumentan cada año, particularmente en regiones que experimentan escasez de agua. Sin embargo, la mayor parte del agua tratada sigue descargándose en el cuerpo de agua más próximo. En lugar de descargarla, el agua residual puede tratarse hasta lograr diferentes calidades, y puede adaptarse a los requisitos de

cada consumidor: irrigación de cultivos o campos, recarga de agua subterránea, agua para enfriamiento o agua para procesos industriales, agua potable, etc. Idealmente, el usuario final pagaría una cuota por el agua residual tratada, con lo que se crearía un flujo adicional de ingresos para la empresa, que podría ayudar a cubrir los costos de operación y mantenimiento ([Recuadro 3.3](#)).

Recuadro 3.3 La venta de agua residual para cubrir costos de operación y mantenimiento: San Luis Potosí, México

Nuevos reglamentos para la reutilización del agua y un contrato creativo incentivaron la reutilización del agua residual en San Luis Potosí. En lugar de utilizar agua dulce, una central eléctrica emplea el efluente tratado de la planta de tratamiento de agua residual vecina (Tenorio) para sus torres de enfriamiento. Esta agua residual es 33 por ciento más barata para la central eléctrica que el agua subterránea, y ha producido \$18 millones de dólares en ahorros para la empresa eléctrica en seis años. Para la empresa de agua, este ingreso adicional cubre todos sus costos de operación y mantenimiento. El resto del agua residual tratada se emplea en la agricultura. Además, esta iniciativa ha reducido las extracciones de agua subterránea en 48 millones de metros cúbicos en seis años, lo que ha permitido restaurar el acuífero. El ingreso adicional por la reutilización del agua ayudó a atraer al sector privado para financiar parcialmente los costos de capital a través de una alianza público-privada (40 por ciento de subvención del gobierno, 36 por ciento de préstamo, y 24 por ciento de capital privado). Todo el estudio de caso está documentado [aquí](#) (Banco Mundial 2018d).



Generación de bioenergía

Las plantas de tratamiento de aguas residuales con procesos anaeróbicos generan biogás. El biogás puede venderse a terceros como gas para una ciudad (vea [el estudio de caso de La Farfana](#) en Santiago, Chile), como combustible para vehículos o como combustible para una central eléctrica; o puede usarse para cogenerar electricidad y calor para la planta de tratamiento del agua residual, mejorando así la eficiencia energética de la planta. El calor puede usarse en el digestor para secar el lodo y la electricidad puede usarse en la planta o venderse a la red.

En general, si se emplea la tecnología de lodo activado para el tratamiento de aguas residuales, no todas las necesidades de energía de la planta pueden satisfacerse con la electricidad generada en la planta. Una excepción a esto sería cuando se emplean tecnologías anaeróbicas (lagunas anaeróbicas, reactores UASB) como tratamiento principal y el lodo activado se emplea solo como un paso en el pulido del efluente. Estas plantas necesitan menos energía y tienen mayor potencial de volverse energéticamente neutras o positivas, pudiendo vender la electricidad adicional a la red. Las plantas con digestión anaeróbica de los lodos pueden también cogenerar energía; sin embargo, en la mayoría de los casos, la energía producida solo podrá cubrir la demanda de calor del digestor y más o menos un tercio de la energía que la planta necesita. Para incrementar la producción de biogás y la generación de energía, se puede realizar la codigestión (cuando una fuente externa de materia orgánica se incorpora directamente a los digestores anaeróbicos) ([Recuadro 3.4](#)).

Una planta que genera su propia energía descentralizada usando el biogás puede mejorar la eficiencia energética, reducir los costos, y mejorar la confiabilidad de la planta, lo que es importante en áreas que experimentan frecuentes interrupciones de energía eléctrica. Es más, el biogás es una fuente de energía verde y, por consiguiente, utilizarla para generar energía y calor puede, potencialmente, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes (si reemplaza los combustibles fósiles) y puede permitir a la planta obtener créditos verdes o de carbono. (Para mayor orientación sobre la generación de energía en plantas de tratamiento de agua residual, dependiendo del tamaño de la planta de tratamiento, consulte [Vázquez and Buchauer](#) (2014) y [Lackey and Fillmore](#) (2017).

Recuadro 3.4 Uso de la codigestión para incrementar la producción de energía: San Francisco, los Estados Unidos

La "East Bay Municipal Utility District" (EBMUD), la empresa de agua que cubre parte del área metropolitana de San Francisco, California, llevó a cabo un programa para mezclar materia orgánica de restaurantes locales con sus propios biosólidos para producir suficiente biogás y generar electricidad para satisfacer su propia demanda y vender el excedente a la red local. El programa costó \$31 millones de dólares y tenía una capacidad de generación de 15 megavatios, que ahorra a la empresa \$2.5 millones de dólares al año en energía. Las ventas de electricidad contribuyen \$500,000 de dólares de ingreso adicional y el ingreso por las cuotas de disposición de desechos que se cobra a los restaurantes asciende a \$8 millones de dólares anuales. Además, el programa ahorra en capacidad de relleno sanitario y reduce las emisiones de efecto invernadero.

Fuente: TPO 2012.

Uso beneficioso de biosólidos

Tradicionalmente, los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales han sido considerados como residuos que deben descartarse al menor costo posible. Sin embargo, los biosólidos (el lodo de las plantas de tratamiento de aguas residuales tratados a niveles que le permitan su uso beneficioso) pueden emplearse para múltiples propósitos dado su valor intrínseco y contenido de nutrientes. Los biosólidos se pueden emplear para recuperar suelos degradados, como compostaje o fertilizante en la agricultura, en jardines y campos de golf, por ejemplo. Nutrientes como el fósforo también se pueden extraer de los lodos y vender. Otras aplicaciones que se están explorando incluyen su uso como material de construcción y como combustible. También es posible extraer otros materiales como minerales y celulosa. El uso beneficioso de los biosólidos se ha estudiado mucho pero su práctica en la región es algo limitada (vea el [Recuadro 3.5](#) y el caso de SEDACUSCO en el [Documento de Base VI](#) [Banco Mundial 2019e]).

Recuadro 3.5 Uso de biosólidos en la agricultura: Brasilia, Brasil

Durante varios años, la Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), la empresa de agua y saneamiento del distrito de la capital de Brasil, ha estado reutilizando los biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales en sus patios ferroviarios y en la agricultura. Los efectos del uso de biosólidos en la producción de maíz—comparada con una mezcla de fertilizantes minerales con cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio equivalentes—se evaluaron en una serie de estudios (Lemainski y da Silva 2006a). El rendimiento de los cultivos que usaron los biosólidos fueron más elevados que el promedio estándar para el maíz en Brasil. Los biosólidos fueron un 21 por ciento más eficientes en promedio que los fertilizantes minerales. Estudios similares con la soya han demostrado que los biosólidos eran, en promedio, 18 por ciento más eficientes que los fertilizantes minerales. Por consiguiente, el uso beneficioso de los biosólidos puede producir mejores rendimientos de los cultivos y al mismo tiempo ahorrar importantes costos de transporte y relleno sanitario para la empresa de agua.

Fuente: Lemainski y da Silva 2006b.



4. Nuevos modelos de financiamiento y de negocio para las instalaciones de recuperación de recursos

El tratamiento y reutilización de las aguas residuales es una actividad que hace uso intenso de capital, y con frecuencia tiene costos elevados al principio. Como se ha descrito en el Capítulo 1, los recursos financieros necesarios para ejecutar proyectos de aguas residuales en América Latina y el Caribe con frecuencia se encuentran por encima de los presupuestos nacionales, creando barreras importantes al tratamiento y reutilización del agua residual. Además, la inversión en el agua residual rara vez es una prioridad política, particularmente cuando los proyectos de agua residual son pequeños y específicos al contexto, y, por consiguiente, los costos de transacción son significativos.

4.1 La recuperación de recursos como solución

La recuperación de recursos de las aguas residuales puede ayudar a superar algunos de los desafíos para el

financiamiento de la infraestructura y ayudar a lograr el cambio de paradigma necesario en el sector. La recuperación de recursos puede ayudar a no depender sólo de financiamiento público tradicional y poder buscar financiamiento innovador y nuevos modelos de negocio que puedan atraer al sector privado para financiar la infraestructura.

Los proyectos de recuperación de recursos pueden aprovechar los flujos adicionales de ingresos o ahorros en costos (vea la [ilustración 4.1](#)) para reducir el riesgo financiero de los proyectos de infraestructura, mejorar la tasa de rendimiento y crear un entorno más atractivo para el sector privado. Estos ingresos no dependen únicamente de las tarifas del sector público sino del mercado para los productos secundarios que se generan durante el proceso de tratamiento de las aguas residuales.

Ilustración 4.1 Flujos potenciales de ingresos y ahorros de las plantas de tratamiento para la recuperación de recursos

ENERGÍA

Ingreso:

- Venta de biogás o electricidad
- Venta de créditos de carbono
- Cuota por la recolección de materia orgánica (en la codigestión)

Ahorros:

- Usar la propia energía generada en la planta
- Mejorar la eficiencia energética



BIOSÓLIDOS Y NUTRIENTES

Ingresos:

- Venta de fósforo como fertilizante
- Venta de biosólidos como composta

Ahorros:

- Si los biosólidos se dan en forma gratuita (para agricultura, para restaurar suelos degradados, etc.) la empresa de agua ahorra en costos de transporte y cargos en los rellenos sanitarios

Agua

Ingresos:

- Venta de agua residual tratada, particularmente en áreas con escasez de agua

Ahorros:

- Tasa/impuesto por la descarga

Fuente: World Bank.

Esto exige la identificación y desarrollo de nuevos mercados para el agua residual tratada, el biogás y los biosólidos. La tasa de rendimiento puede ser alta, con lo que estos productos pueden ser de interés para los operadores, los inversionistas privados, y los fondos de inversión.

Los proyectos para la reutilización y recuperación de los recursos en las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden proporcionar un rendimiento financiero estable, con lo que se atraen a fondos de inversión y a los inversionistas institucionales que se sientan cómodos con rendimientos más bajos a largo plazo.

Esto se muestra en varios de los casos documentados, como [San Luis Potosi](#), [Durban](#) o [Ridgewood](#), donde contratos bien diseñados aseguraron la demanda de productos recuperados del agua residual, asegurando un flujo estable de ingresos y atrayendo la participación del sector privado.

4.2 Hacia un financiamiento combinado

Como se mencionó en el Capítulo 1, las necesidades de financiamiento para lograr los Objetivos Sostenibles para el Desarrollo en la región son muchas, y el financiamiento público no puede cubrir estas brechas por sí solo. Se requiere el involucramiento del sector privado, tanto para proporcionar capital para las inversiones en infraestructura como para traer nuevas tecnologías y destrezas necesarias para ejecutarlas y operarlas. Los proyectos de reutilización y recuperación de recursos ofrecen la oportunidad de atraer al sector privado. Esto se ejemplifica en la mayoría de los [estudios de caso examinados para este informe](#) (ver apéndice A).

La mayoría de los proyectos grandes de aguas residuales, particularmente los que implican la reutilización y recuperación de recursos desde un inicio, se ejecutan por medio de diversas formas de alianzas público-privadas (APP) con el uso de una mezcla de financiamiento público y privado. El financiamiento de APP generalmente sería un

esquema combinado, que incorporaría una mezcla de subsidios o financiamiento concesional del gobierno nacional y agencias de cooperación, capital privado y financiamiento a través de deuda, mayormente comercial, a recuperarse a través de tarifas a los usuarios e ingresos resultantes de la venta del agua tratada y sus subproductos. Hay varios tipos de instrumentos financieros a través de los cuales los inversionistas públicos y privados pueden desarrollar sus proyectos, que se describen en detalle en el [Documento de Base V](#) (Banco Mundial 2019f).

Tradicionalmente, el financiamiento público de aguas residuales implica subsidios o incorpora un grado elevado de concesiones. Hay dos razonamientos principales para estos subsidios:

- **Económico:** beneficios para la salud pública, el medio ambiente y otras externalidades positivas de los proyectos de aguas residuales, particularmente los que implican recuperación de recursos.
- **Práctico:** las tarifas de agua y saneamiento en muchos países están por debajo de los niveles de recuperación y es difícil, política y socialmente, incrementarlos, cuando se añaden los costos de grandes inversiones en aguas residuales.⁴

Los subsidios podrían ser particularmente pertinentes para los proyectos de reutilización y recuperación de recursos que estén en sus etapas iniciales. Además, en las etapas iniciales podría ser necesario asignar un precio por debajo de su costo a los productos recuperados del agua residual, como prueba de concepto. Una vez que los usuarios están familiarizados con estos productos y sienten confianza de que el sistema reglamentario está funcionando de manera satisfactoria para asegurar adherencia a normas de higiene y seguridad, los precios pueden entonces elevarse para que eventualmente concuerden con o superen sus costos de producción. Algunos de los casos de estudio examinados muestran que los proyectos de recuperación del recurso pueden cubrir todos los costos de operación y mantenimiento o incluso

generar ganancias. Por consiguiente, la necesidad de subsidios para los proyectos de recuperación de recursos debe reducirse con el tiempo, una vez que el modelo de negocio sea exitoso o si la demanda de estos productos secundarios incrementa sustancialmente (por ejemplo, en condiciones de escasez de agua).

Reconocer que los subsidios son necesarios no significa que se deben proporcionar niveles indiscriminados de subsidio. El nivel de subsidio adjudicado debe ser determinado por un análisis económico y financiero del proyecto de agua residual. Las directrices acerca de cómo se determina el nivel de subsidio se presentan en el [Documento de Base V](#) (Banco Mundial 2019f). Para asegurar que los subsidios no impidan un desempeño eficiente, los esquemas de subsidios deben basarse en incentivos ([Recuadro 4.1](#)), como también se describe en el [Documento de Base V](#) (Banco Mundial 2019f).

Finalmente, dados los beneficios a largo plazo y las externalidades positivas de los proyectos de recuperación de recursos, un análisis de costo de ciclo de vida podría ser una herramienta importante para tomar decisiones a fin de evaluar y justificar el financiamiento de plantas de tratamiento e iniciativas de saneamiento. En el informe del Banco Mundial que se titula [Gestión de la energía para empresas de agua en América Latina y el Caribe](#) se argumenta cómo esta herramienta se puede emplear en lugar del simple método de amortización, con un enfoque en el financiamiento de medidas para mejorar la eficiencia energética y para la generación de energía en plantas de tratamiento (Lackey y Fillmore 2017).

Recuadro 4.1 Financiamiento de la infraestructura de aguas residuales basado en los resultados: PRODES, Brasil

El ejemplo más destacado de subsidios basados en incentivos que se ha empleado para financiar el tratamiento de aguas residuales es el esquema PRODES de financiamiento basado en los resultados,

⁴ Hay, sin embargo, excepciones a esta regla – y particularmente en América Latina y el Caribe—que deben resaltarse y son, por ejemplo, que muchas de las empresas de agua estatales y municipales en Brasil recuperan los costos de suministro de agua, alcantarillado y de tratamiento de las aguas residuales a través de las tarifas.

Recuadro 4.1 Financiamiento de la infraestructura de aguas residuales basado en los resultados: PRODES, Brasil (continuación)

en Brasil. PRODES es un esquema federal de financiamiento establecido principalmente para descontaminar cuencas hidrológicas importantes del país. PRODES no financia directamente los costos de capital de la infraestructura de tratamiento de aguas residuales. Más bien, PRODES proporciona incentivos claros para la inversión y operación eficientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, al vincular los pagos a la calidad del agua residual tratada, con base en resultados certificados. PRODES no se centra en la recuperación de recursos; sin embargo, tener un plan para la reutilización de agua residual tratada es uno de los criterios para obtener el apoyo de PRODES.

Un objetivo secundario de PRODES es mejorar la gestión descentralizada de los recursos hídricos. Los criterios para recibir los recursos incluyen, por ejemplo, la existencia de un Comité de cuenca operativo y evidencia de la aplicación de planes para los recursos hídricos y la planificación de inversiones.

PRODES se explica por completo [aquí](#) (Banco Mundial 2018e).

4.3 Las lecciones aprendidas de proyectos exitosos de recuperación de recursos

Los estudios de caso analizados para este informe ejemplifican aspectos de subsidios eficientes, APP exitosas con financiamiento combinado, contratos innovadores y modelos de alianzas que aseguran un flujo estable de ingresos y acceso a financiamiento, modelos de ahorro de costos, etc., todo lo cual se logra a través de principios de recuperación de recursos. Las lecciones aprendidas y las conclusiones de los estudios de los casos son las siguientes:

Potencial de mercado y negocio

Existe mucho potencial en América Latina y el Caribe para los productos recuperados a partir de aguas residuales. El potencial de mercado general para los tres tipos de negocios relacionados (agua,

energía y biosólidos) se ha estimado entre \$3 y \$62 mil millones de dólares (vea el [Documento de Base VI](#) [Banco Mundial 2019e]). Estos tres mercados están creciendo más allá de su etapa de desarrollo y tienen gran potencial de crecimiento.

Si los proyectos se diseñan correctamente, todos los productos secundarios pueden ser rentables.

Para la reutilización de agua residual, la opción más rentable es identificar a un usuario industrial final.

Como se muestra en los estudios de caso de [San Luis Potosí](#), [Cerro Verde](#), [Durban](#), y [Nagpur](#) (Banco Mundial, 2019h), la venta de agua tratada a la industria puede ayudar a cubrir la mayoría o todos los costos de operación y mantenimiento, en particular donde el agua sea escasa o donde las tarifas de agua para la industria sean elevadas. En esas circunstancias, la empresa de agua se encuentra en una posición única, competitiva, puesto que el agua residual tratada es una opción atractiva o puede ser la única fuente disponible.

Si el propósito final es la irrigación, la recarga de acuíferos, rehabilitación ambiental, o usos similares, probablemente se necesiten subsidios ya que el precio del agua tratada tendrá que estar por debajo del costo o deberá proveerse incluso sin costo alguno.

Por ejemplo, es poco probable que los agricultores paguen más por el agua tratada que lo que pagan por agua dulce, que en muchos casos les es proporcionada a costo muy bajo o sin costo alguno. Además, en ocasiones, los agricultores que emplean agua residual sin tratar son reticentes a usar agua residual tratada porque piensan que afectará sus rendimientos, como ocurrió inicialmente en el caso de [Atotonilco](#), México. Sin embargo, dependiendo de las regulaciones locales, el operador puede beneficiarse de este modelo de negocio al ahorrarse los costos de la cuota por la descarga de agua. Además, si todos los beneficios (ambientales, sociales, de salud) se tomaran en cuenta en un análisis de rentabilidad a largo plazo, subsidiar estos tipos de proyecto es económicamente justificable, particularmente en áreas con escasez de agua. En algunos casos, como cuando el agua y los fertilizantes son costosos o escasos, el agua residual tratada puede ser muy valiosa para los agricultores por su contenido en nutrientes y los consecuentes beneficios en el rendimiento de los cultivos. Con las condiciones correctas y con una robusta campaña de

concientización, los usuarios podrían estar dispuestos a pagar el precio completo por el agua residual tratada.

La rentabilidad del negocio de energía y el uso final del biogás dependerán de los precios locales de la energía.

Si los precios del gas son altos, el biogás se puede vender a una empresa de gas; si los precios de la electricidad son elevados, el biogás producido en una planta de tratamiento de agua residual se puede emplear para generar su propio calor y electricidad, y por consiguiente ahorrar en costos de electricidad. Esto se muestra en varios casos analizados:

[La Farfana](#) vende biogás a la empresa de gas con un contrato a largo plazo, [Atotonilco](#) y [Cañaveralejo](#) (Banco Mundial, 2016a) usan el biogás para su propio consumo, SEDACUSCO está instalando su propia planta de energía para autoconsumo, y [Ridgewood](#) produce el 100 por ciento de la energía que necesita la planta de tratamiento.

El negocio de la energía puede ser rentable ya que los costos del capital (CAPEX) de la infraestructura energética son relativamente bajos comparados con los costos de capital de toda la planta de tratamiento de aguas residuales. Además, la empresa puede obtener créditos de carbono ya que el biogás es considerado una fuente renovable.

Esta rentabilidad se muestra en casos como [La Farfana](#) en Santiago, Chile, donde el operador invirtió \$2.7 millones de dólares en la infraestructura necesaria y recibe una renta neta anual de \$1 millón de dólares al vender el biogás. Esto se traduce en un beneficio del 40 por ciento, y la inversión se recupera en poco más de dos años, donde el riesgo de la demanda es bajo puesto que hay un contrato bien estructurado y solo hay un usuario final. Otro ejemplo es EBMUD: la energía se está convirtiendo en su principal negocio, produciendo una mayor rentabilidad que el tratamiento del agua ([Recuadro 3.4](#)).

Ingresar al negocio de la energía puede ser muy atractivo, pero hay varias razones que impiden que las empresas de agua en América Latina y el Caribe lo hagan.

Primero, muchas empresas de agua no se ven como posibles productoras de energía ya que eso se encuentra más allá del alcance de su negocio fundamental. Sin embargo, como se muestra en los estudios de casos, invertir en la generación de energía puede generar flujos adicionales de ingresos que pueden ayudar a financiar y/o a cubrir los

costos de operación y mantenimiento del negocio del agua. Las empresas de agua podrían enfocarse en el agua y tercerizar el negocio de energía a empresas especializadas en el sector, a través de APP, subcontratación u otros arreglos. Segundo, las economías de escala también son un factor importante puesto que hay un tamaño mínimo eficiente para estos tipos de proyectos. Finalmente, y lo que es más importante, la falta de reglas, reglamentos y marcos institucionales claros en la mayoría de los países de la región en relación con la venta del gas o la electricidad por parte de las plantas de tratamiento de aguas residuales (e incluso con respecto al autoconsumo, como en el caso de Santa Cruz de la Sierra) desalienta a los operadores de plantas de tratamiento de aguas residuales y a las empresas de agua de ingresar en el negocio de la energía.

El negocio de biosólidos es el menos desarrollados de los tres analizados. De hecho, en la región, la mayoría de los biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales se depositan cerca de la planta, o la empresa de agua paga para depositarlos en los rellenos sanitarios.

El principal problema de los biosólidos es que no hay un precio claro para el producto final puesto que, generalmente, los posibles clientes (agricultores, autoridades públicas para la restauración del suelo, etc.) no están dispuestos a pagarlo. Sin embargo, dichos modelos de negocio podrían seguir siendo de beneficio para el operador de la planta de tratamiento de aguas residuales, puesto que puede ahorrar en costos de transporte y del volumen que llega al relleno sanitario, que pueden ser significativos (como se muestra en el caso de SEDACUSCO). Es más, el uso de biosólidos puede generar beneficios económicos y ambientales importantes. Por ejemplo, el caso de SEDACUSCO muestra el posible beneficio de emplear biosólidos para la restauración del suelo, con el fin de remediar la contaminación de fuentes no puntuales y para ayudar a conservar la humedad en el suelo. Reducir la cantidad de materia orgánica que termina en los rellenos sanitarios también reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. De manera ideal, el sector público daría cuenta de esos beneficios y crearía los incentivos necesarios para el desarrollo de este tipo de negocios. Igual que en el caso de la energía y la reutilización del agua, un aspecto crucial que impide el uso beneficioso de los biosólidos en América Latina y el Caribe es la falta de marcos

reguladores claros. Por ejemplo, muchas agencias ambientales no tienen suficientes recursos para controlar y garantizar la calidad de los biosólidos y, por consiguiente, de manera precautoria, no permiten su uso para la agricultura. En una situación más común, se permite el uso de biosólidos únicamente para la recuperación y restauración del suelo, con escasa posibilidad de generar ingresos adicionales.



Una planta de tratamiento de aguas residuales en Cusco, Perú, operada por SEDACUSCO, ahorra alrededor de \$230,000 dólares al año en cuotas de transporte y relleno sanitario gracias a un acuerdo con un productor local de compost. El compost producido con los biosólidos de la planta se emplea entonces como parte del proyecto de gestión del agua para preservar el Lago Piuray.

Recuadro 4.2 El potencial de la codigestión: Ridgewood, los Estados Unidos

En el caso de Ridgewood, en los Estados Unidos, una alianza público-privada diseñada entre la empresa de agua de Ridgewood y el proveedor de tecnología de codigestión y empresa de ingeniería (Ridgewood Green) dio lugar a un proyecto de codigestión exitoso. Ridgewood aprovechó el potencial de la recuperación de recursos, atrayendo al sector privado para financiar completamente la modernización de su planta de tratamiento de aguas residuales para la codigestión a través de un convenio de APP, implicando cero costos de inversión y muy poco riesgo para Ridgewood.

El proyecto permitió a la planta de tratamiento de aguas residuales generar suficiente biogás para satisfacer todas las necesidades de energía de la planta, alcanzando la neutralidad energética y reduciendo las emisiones de bióxido de carbono. Ridgewood Green realizó toda la inversión de capital inicial necesaria para modernizar la planta para la codigestión. A cambio, Ridgewood compra la electricidad generada por Ridgewood Green para la operación de la planta de tratamiento a un costo más bajo que lo que solía pagar por la electricidad de la red. El contrato de compra de energía incluye una tasa fija de incremento del 3 por ciento al año para cubrir la inflación, estableciendo así el precio para Ridgewood y el beneficio para Ridgewood Green para la duración del contrato. Por consiguiente, el acuerdo beneficia a ambas partes. Puesto que Ridgewood Green invirtió en la infraestructura de codigestión, es propietaria de este nuevo equipo, y el pueblo de Ridgewood es propietario y opera la planta con apoyo técnico de Ridgewood Green. Ridgewood Green espera obtener un rendimiento razonable por su inversión a través de un modelo innovador de ingresos que aprovecha diversos flujos: i) la venta de electricidad al pueblo de Ridgewood; ii) la venta de certificados de energía renovable a 3Degrees, líder en el mercado de energía renovable, a través de un contrato de varios años; y iii) por medio de las cuotas por la recolección de la materia orgánica externa para los digestores anaeróbicos. El estudio del caso completo se puede encontrar [aquí](#) (Banco Mundial 2018f).

RIDGEWOOD GREEN

- Financió e instaló tanques de retención de desechos líquidos y un generador de biogás y modernizó los dos digestores anaeróbicos de la planta
- Obtiene ingresos de las ventas de electricidad, de certificados de energía renovable y de cuotas por volumen

EL PUEBLO DE RIDGEWOOD

- Es propietario y opera la planta de tratamiento de aguas residuales. Compra la electricidad producida por Ridgewood Green a \$0.12 dólares por kWh
- Beneficios:
- Reduce los costos de operación
 - Reduce los costos de transporte de los lodos
 - Reduce la huella de carbono



El negocio de codigestión incluye componentes de energía y biosólidos combinados en forma tal que sean atractivos para los inversionistas privados. En la codigestión el lodo de la planta de tratamiento de aguas residuales es sólo parte de la materia prima de los digestores. Los digestores también reciben otras materias orgánicas como desechos domésticos, comerciales, agrícolas e industriales. Esta materia orgánica adicional permite que la planta de tratamiento genere más biogás y, como resultado, produzca más electricidad, llegando a producir más de lo que la planta necesita. Si hay exceso de energía, la electricidad puede venderse a precio de

mercado. Además, la planta de tratamiento puede también obtener otros ingresos de las cuotas por volumen de otros desechos orgánicos que recolecte (es decir, las industrias pagan a la planta de tratamiento una cuota por librarlas de sus desechos orgánicos). Los estudios de caso de EBMUD ([Recuadro 3.4](#)), y de Ridgewood ([Recuadro 4.2](#)) ejemplifican cómo ambas empresas de agua entendieron el potencial de la codigestión, invirtieron en ampliar sus digestores y su capacidad de generación de energía, e iniciaron una fuerte campaña de comercialización para obtener materia prima adicional para la digestión, con lo que produjeron mayores cantidades de biogás y electricidad.

Recuadro 4.3 La reutilización del agua residual para propósitos industriales a través de un convenio de APP: Durban, Sudáfrica.

En Durban, Sudáfrica, el sector privado proporcionó todo el capital necesario para realizar un proyecto de reutilización de agua residual a través de un convenio de APP con la empresa de agua local, lo que produjo una solución sostenible sin costo adicional para la municipalidad o para los contribuyentes.

La capacidad de saneamiento de Durban estaba llegando a su límite. En lugar de incrementar la capacidad de la tubería de descarga marina existente para descargar las aguas residuales primarias tratadas al océano, Durban exploró la posibilidad de seguir tratándola y reutilizarla en la industria. Mondi, una planta de papel, y SAPREF, una refinería de petróleo, expresaron interés en recibir el agua residual tratada. En vista de la complejidad técnica, el costo, y el riesgo del proyecto, la empresa municipal optó por ejecutar el proyecto a través de una alianza público-privada.

Tras una fase de licitación internacional, Durban Water Recycling (DWR), un consorcio de empresas, fue elegida para financiar, diseñar, construir, y operar la planta de tratamiento de agua residual terciaria a través de un contrato de concesión de 20 años. La empresa municipal seguiría a cargo del tratamiento preliminar y primario del agua residual, y el efluente se enviaría a la planta operada por DWR para ser tratada y luego vendida a usuarios industriales. El sector privado proporcionó todo el financiamiento necesario para el proyecto. DWR también tomó los riesgos de cumplir con la calidad de agua necesaria para los dos usuarios industriales. La demanda garantizada del agua residual tratada por los dos usuarios industriales hizo que el proyecto fuera económicamente atractivo y permitió a DWR tomar los riesgos de la inversión. La venta del agua residual tratada a la industria ha liberado suficiente demanda de agua potable equivalente a 400,000 personas. Además, como resultado, la necesidad de inversión en nueva infraestructura para el tratamiento del agua se ha postergado. Vea el estudio del caso completo [aquí](#) (Banco Mundial 2018g).



Estructuras de negocio para promover proyectos de recuperación de recursos

Los casos analizados ejemplifican una variedad de estructuras de negocio que podrían replicarse en la región (ver apéndice A). (Puede encontrarse mayor análisis en el [Documento de Base VI](#) [Banco Mundial 2019e].)

Alianza público-privada. Una empresa de agua acuerda un convenio de APP con un operador privado para un proyecto específico de reutilización y/o recuperación de recursos. El proyecto puede estar vinculado a la construcción de una nueva planta de tratamiento de agua residual (como en los casos de [San Luis Potosí](#) y [Atotonilco](#), por ejemplo) o a la modernización y adaptación de una existente (como en el caso de Ridgewood, [Recuadro 4.2](#), o Durban, [Recuadro 4.3](#)). El modelo de APP que se ve con mayor frecuencia en los estudios de caso es el modelo de construcción-operación-transferencia (BOT por sus siglas en inglés). Este modelo de negocio es adecuado para empresas de agua que tienen recursos limitados y necesitan aprovechar el conocimiento del sector privado para desarrollar su modelo de negocio de reutilización y/o recuperación de recursos. Este enfoque podría aplicarse a muchas empresas de agua de tamaño medio en la región.

Tercerización. Una empresa de agua puede vender o suplir de forma gratuita agua residual sin tratar, lodo seco, o biosólidos a un operador que lleve a cabo el negocio. Ejemplos incluyen el caso de Cerro Verde para el agua residual y SEDACUSCO para los biosólidos. El beneficio para la empresa de agua es que ahorra el costo del tratamiento del agua residual —en el caso de Cerro Verde— o el costo de disposición de los biosólidos— en el caso de SEDACUSCO. Éste es un modelo adecuado para las empresas de agua con capacidad financiera y operativa limitada. También es adecuado para pequeñas empresas que no llegan al tamaño mínimo para ser rentables y sostenibles. (Esta estructura de negocio también se puede organizar con un modelo de APP como en el caso de Cerro Verde; [Recuadro 4.4](#).)

Agregador. Una empresa independiente puede recolectar y transportar la materia prima de la planta de tratamiento de agua residual, procesarla en sus

Recuadro 4.4 Colaboración con una empresa minera para reducir costos: Arequipa, Perú

Cerro Verde, una empresa minera cerca de Arequipa, Perú, planificaba una ampliación de gran escala por la cual necesitaría suministros de agua adicionales en un área con escasez de agua. La mina exploró varias opciones, como usar agua de mar desalinizada y agua proveniente de acuíferos lejanos, pero la opción más barata era construir una planta de tratamiento de agua residual y utilizar el agua residual de Arequipa.

Con un contrato de APP, la empresa minera acordó con SEDAPAR, la empresa de agua municipal, diseñar, financiar y construir la planta y, a cambio, poder utilizar parte del agua tratada para sus procesos de minería. A través de este convenio, el socio privado (y usuario final del agua residual tratada), Cerro Verde, proporcionó toda la inversión necesaria en capital y gastos operativos, no solo para el sistema de reutilización del agua residual sino para toda la planta.

Las autoridades municipales proporcionaron el terreno y los permisos para la planta. Tras los 29 años de la concesión, la planta de agua residual se traspasará a SEDAPAR. A través de este convenio de APP, SEDAPAR evita el costo de construcción y operación del sistema, lo que produce un ahorro neto de más de \$ 335 millones de dólares. Por consiguiente, esta solución ha permitido a la mina ampliar sus operaciones y ha producido muchos ahorros para la municipalidad, beneficiando a ambas partes. (El estudio de caso se encuentra [aquí](#) [Banco Mundial, 2019i].)

instalaciones y convertirse en vendedor de energía y biosólidos. Ejemplos son los procesadores de compost y las empresas de servicios de energía. Financieramente, los agregadores pueden ser privados o pueden ser una asociación de empresas de agua y de operadores, y pueden adquirir la forma de sociedades o sociedades limitadas. Los gobiernos pueden apoyar su desarrollo con diferentes incentivos.

Codigestión. La empresa de agua puede convertirse en un agregador ella misma, recolectando materia

orgánica de otras industrias que eventualmente pueden convertirse en la principal fuente de materia prima para los digestores, así como la principal fuente de ingreso. Ejemplos incluyen Ridgewood ([Recuadro 4.2](#)) y EBMUD ([Recuadro 3.4](#)). Se necesitan marcos regulatorios adecuados para los rellenos sanitarios y la venta de energía a fin de promover el negocio de codigestión rápidamente.

Biofactorías. Una empresa de agua, en asociación con un operador, puede crear una empresa subsidiaria para desarrollar uno de los modelos de negocio. Un ejemplo es Aguas Andinas y su modelo de biofactoría. La unidad de negocio trabaja con posibles clientes, el gobierno, y el regulador para desarrollar diferentes mercados (energía, industria, agricultura) y puesto que es una subsidiaria, la empresa puede conservar parte de los beneficios adicionales para reinvertir en el negocio de convertir sus residuos en recurso. Este negocio es adecuado para empresas que ya gozan de solvencia y que tienen sus propios medios de financiamiento para implementar nuevos negocios.

Estructura e instrumentos financieros

En los casos analizados, la estructura de construcción, operación y transferencia (BOT) es la que más se emplea para financiar el proyecto de recuperación de recursos. Los instrumentos financieros empleados para financiar el modelo BOT generalmente son una combinación de subvenciones del gobierno, bonos empresariales de los operadores, préstamos bancarios y capital del operador. Aparte de casos como los de Cerro Verde o Durban (que están completamente financiados por el sector privado), las subvenciones gubernamentales o multilaterales siguen representando gran parte del financiamiento a fin de reducir el riesgo financiero de la APP. Para proyectos con pocas ganancias esperadas, es posible que siempre se requieran subvenciones del gobierno y otras instituciones, pero dados los múltiples beneficios ambientales y sociales a largo plazo de los proyectos de recuperación de recursos, esto generalmente es justificable. Para proyectos rentables, las subvenciones del gobierno podrían justificarse en la fase inicial de demostración de los proyectos, pero una vez que su utilidad queda demostrada, las subvenciones se pueden reducir

o sustituir por otros instrumentos financieros que ofrezcan garantías similares al proyecto. Para diferentes estructuras financieras, vale la pena considerar los casos de Tlalnepantla de Baz (Banco Mundial, 2016b) y SEDACUSCO. En estos casos, fue la empresa de agua que ejecutó el modelo de negocio - sin recurrir a una APP. Estas empresas de agua emplearon diferentes métodos financieros: en Tlalnepantla de Baz, la municipalidad y el operador municipal decidieron realizar el financiamiento del proyecto con sus propios medios. Emitieron bonos municipales y los garantizaron, comprometiendo los ingresos futuros del agua reciclada vendida y otros impuestos municipales. Crearon un fondo fiduciario, similar a fondos fiduciarios como FONADIN en México, aunque estructurado en el ámbito municipal, lo que es bastante innovador. El fondo está respaldado parcialmente por una garantía multilateral. SEDACUSCO financió la construcción de la planta de tratamiento de agua residual con un préstamo del Banco Japonés para el Desarrollo, que asumió el riesgo financiero. El incremento en tarifa permitió el pago del préstamo.

Éxito y factores facilitadores

Factores físicos. Como se muestra en los estudios de caso, los factores físicos con frecuencia han sido la principal causa que ha promovido el desarrollo de proyectos para la reutilización y recuperación de recursos. Por ejemplo, no es coincidencia que la reutilización del agua residual tratada ocurre mayormente en países y regiones que se enfrentan a la escasez de agua. También, la ubicación del posible cliente más cercano importa, ya que transportar el agua a grandes distancias, podría ser muy costoso. Factores físicos o geográficos pueden también causar cambios en el ámbito institucional (por ejemplo, el incremento de las tarifas de agua dulce para la industria) y también pueden incentivar a las industrias a innovar y encontrar soluciones alternativas. Por otra parte, recursos abundantes y baratos de agua y energía pueden ser una barrera al desarrollo de proyectos de reutilización de agua residual y generación de energía. Si la planta de tratamiento de agua residual aun no se ha diseñado, todos estos factores físicos pueden considerarse a medida de lo posible, particularmente la ubicación de la planta en relación con los posibles usuarios finales.

Factores de política, institucionales, y regulatorios (PIR).

Aparte de los factores físicos, contar con instituciones fuertes y/o un marco regulatorio claro también ha fomentado el desarrollo de proyectos de reutilización y recuperación de recursos en los casos analizados. En el caso de [San Luis Potosí](#) en México, el gobierno estatal y la comisión del agua (CEA) han sido pioneros en reconocer el agua residual como un recurso valioso. Para proteger el acuífero y promover el uso del agua residual para propósitos que no exigen agua potable, como para agricultura e industria, el gobierno estatal puso en práctica un Plan Integrado para el Saneamiento y la Reutilización del Agua. El proyecto también tuvo apoyo financiero de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y del fondo FONADIN (un instrumento financiero que promueve la participación del sector privado a través de proporcionar subsidios para los gastos de capital). Este arreglo institucional fue crucial para el éxito del proyecto. Además, en este caso, las tarifas del agua para la industria también eran más altas que el costo del agua tratada, lo que hizo que la alternativa del reciclaje fuera atractiva. Por otra parte, hay muchos sitios en América Latina y el Caribe donde las industrias no pagan para extraer agua dulce para sus operaciones. Como se mencionó antes, los factores físicos pueden impulsar el desarrollo de proyectos para la reutilización y recuperación de los recursos, pero se requieren intervenciones de PIR para llevarlos a escala.

Los factores socioeconómicos son los que se relacionan con la organización social del país o región, su nivel de desarrollo, los sectores económicos y las tradiciones, entre otros. Estos pueden incentivar o desincentivar el desarrollo de todas las iniciativas mencionadas en el informe.

Por ejemplo, las comunidades comprometidas con proteger los recursos hídricos y el medio ambiente pueden promover proyectos de reutilización y recuperación de los recursos y pueden promover iniciativas a nivel de cuenca por medio de organizaciones civiles o sus representantes. Los cambios socioeconómicos también pueden ayudar a cambiar el paradigma en el sector. En el caso de SEDACUSCO, la promoción del turismo en el área impulsó la limpieza del río y, como resultado, el desarrollo del mercado de biosólidos. Por otra

parte, en casos como [Cerro Verde](#) o [Atotonilco](#), los elementos sociales y costumbres plantearon desafíos durante el diseño y la ejecución de los proyectos. Los agricultores pueden oponerse al uso del agua residual tratada por ideas equivocadas sobre su impacto en los cultivos, o porque siempre han utilizado agua residual sin tratarse. Los ciudadanos también pueden oponerse a la construcción de plantas de tratamiento cerca de sus hogares por tabús sobre instalaciones de saneamiento y/o falta de información. Para asegurar que los factores socioeconómicos faciliten un cambio de paradigma es necesario involucrar a la sociedad civil, diseñar una fuerte campaña de concientización, y comunicar los posibles beneficios de los proyectos de reutilización y recuperación de los recursos.

Mitigación del riesgo en la demanda de productos secundarios.

Un riesgo específico relacionado con la reutilización y recuperación de los recursos y que se considera uno de los obstáculos más críticos a la participación y financiamiento privados es la demanda variable. El volumen real de los productos secundarios que eventualmente será comprado por los usuarios finales o los consumidores es incierto, y determinará la tasa de recuperación del costo de un proyecto. Para mitigar este riesgo, los estudios de caso muestran que se pueden emplear varios métodos, pero un contrato bien diseñado entre las partes es esencial. La estructura financiera necesitará un contrato de compra a largo plazo que debería otorgar garantías a las instituciones financieras que financian el proyecto. Los proyectos de mayor éxito se realizan con industrias ubicadas cerca de la planta de tratamiento ([La Farfana](#), [Nagpur](#), [Cerro Verde](#), [San Luis Potosí](#), [Ridgewood](#), [Durban](#)) y con una estructura contractual que mitigue el riesgo de la demanda variable. Cláusulas de tomar o pagar o una porción fija suficiente del pago son elementos comunes en los contratos de infraestructura a largo plazo y también deben ser parte de los proyectos de reutilización y/o recuperación de recursos a fin de mitigar el riesgo de la demanda.

Hacia un enfoque integrado y circular

Los tres negocios de recuperación del recurso (agua, energía y biosólidos) no son incompatibles. De hecho, son complementarios. Para aprovechar las sinergias y lograr mayor eficiencia y ganancias, se recomienda que los planificadores fomenten un enfoque integrado

para las plantas de tratamiento y diseñen licitaciones para atraer a operadores que realizarían proyectos de recuperación de los recursos. De manera ideal, los proyectos de recuperación del recurso y los programas de saneamiento no solo se planifican dentro del marco de la cuenca hidrográfica sino también se integran en planes urbanos de planificación o de gestión del agua. Esto podría, por ejemplo, asegurar la ubicación de las plantas de tratamiento cerca de posibles usuarios (industria, irrigación, campos de golf, etc.).

Recuadro 4.5 El potencial ganar-ganar de una economía circular

Si los proyectos de reutilización y recuperación de recursos se diseñan correctamente, como se muestra en muchos de los estudios de caso en este documento, todas las partes pueden beneficiarse.

Los clientes – la industria, los agricultores y las plantas de tratamiento mismas, entre otros – pueden potencialmente obtener un producto (agua, energía, biosólidos) de manera más sostenible y a un costo más bajo. Los operadores pueden obtener flujos adicionales de ingresos para cubrir los costos de operación y mantenimiento (aparte de las tarifas). Las empresas de agua pueden, dependiendo del modelo de negocio y arreglo financiero, reducir el gasto de capital y costos de operación y mantenimiento, reducir y/o eliminar las cuotas por descarga y volumen, y reducir y/o eliminar los costos de electricidad. Esto fomentará un cambio hacia empresas de agua más sostenibles financiera y ambientalmente. Los ciudadanos también pueden beneficiarse de los proyectos de reutilización y recuperación de recursos, a través de recibir un servicio de saneamiento más sostenible.



5. Marcos de política, institucionales y regulatorios necesarios para promover un cambio de paradigma en el sector

Como se menciona en el Capítulo 1, muchas iniciativas de reutilización y recuperación de los recursos ocurren de manera ad hoc, y no de manera sistemática en un ámbito regional o nacional, porque son provocados por condiciones locales específicas. Como lo demuestran los [estudios de caso](#) analizados para este informe, generalmente, condiciones climáticas y ambientales específicas (escasez de agua, poca precipitación, niveles freáticos bajos) han llevado a los sectores público y privado a diseñar e invertir en soluciones innovadoras. Es crucial contar con las políticas, instituciones y regulaciones correctas para asegurar que el cambio de paradigma en América Latina y el Caribe ocurra de manera sistemática y planificada y a escala.

Las iniciativas de política, institucionales y regulaciones (PIR) pueden promover o convertirse en una barrera para los proyectos de reutilización y recuperación de recursos. Las medidas del gobierno, como el establecimiento correcto del precio para el uso del agua dulce, particularmente para las industrias, podría crear incentivos para el uso de agua residual tratada (ver el [estudio del caso de San Luis Potosí \[Recuadro 3.3\]](#)). Los instrumentos económicos como impuestos y cargos por contaminación pueden contribuir de manera positiva a reducir la carga para las plantas de tratamiento, con lo que se tiene un impacto positivo sobre los gastos de capital y

operación. Los gobiernos también pueden promover la generación de energía en las plantas de tratamiento como parte de su cartera de recursos renovables, dando así a los operadores de las plantas de tratamiento los mismos incentivos que le ofrecerían al sector de la energía. Una mejor regulación para el uso de los rellenos sanitarios también podría promover el uso beneficioso de los biosólidos, entre otros. Por otra parte, prohibir la reutilización de agua tratada en la agricultura, bloquear las licencias de generación de energía para los productores de biogás, o clasificar los biosólidos del agua residual como materiales peligrosos puede convertirse en una barrera para el desarrollo de los proyectos de reutilización y de recuperación de recursos.

A continuación se resumen algunas recomendaciones de incentivos de PIR para desarrollar e invertir en el agua residual como recurso. Se puede encontrar un análisis más profundo en el [Documento de Base IV](#) (Banco Mundial 2019g).

5.1 La importancia de tener políticas claras

Uno de los principales factores que puede promover el desarrollo de proyectos de reutilización y recuperación de los recursos es tener un objetivo claro de política nacional. Una clara manifestación de la política nacional, como la Política Nacional Brasileña sobre

Recursos de Agua, muestra el compromiso del gobierno hacia el desarrollo de la gestión del agua residual, que incluye su reutilización y la recuperación del recurso. Como se ve en los estudios de los casos, esta visión de política falta en varios países. En muchos casos, los proyectos se han ejecutado con éxito como soluciones ad hoc y no como parte de un objetivo sistemático de política. Tener una política nacional que promueva y acoja estas iniciativas proporciona, a la vez, incentivos y directrices positivos para partes interesadas como:

- **Los departamentos correspondientes del sector público**, a considerar y desarrollar los marcos regulatorios necesarios y desarrollar la capacidad institucional para la aplicación de la política nacional y su puesta en práctica.
- **Diferentes esferas del gobierno**, a desarrollar planes para la gestión del agua residual y planes de inversión que incluyan la reutilización y recuperación de recursos.
- **Lo actores del sector privado**. Respaldados por el compromiso del gobierno, las empresas privadas percibirán un entorno más estable para invertir en tecnologías para la reutilización y recuperación del agua residual y sus instalaciones; para las organizaciones académicas y "think tanks", esto ofrece un incentivo para investigar más a fondo todos los aspectos de la reutilización y recuperación del agua residual.
- **Agencias donantes y para el desarrollo**, a proporcionar asistencia técnica y financiera al gobierno nacional y/o local para ejecutar las políticas.

Para ser efectiva, la política nacional necesita ser específica sobre qué problema se desea resolver. Una política efectiva debe incluir una razón clara para la reutilización y recuperación de recursos que pueda integrarse al marco jurídico, institucional y regulatorio. La claridad sobre la razón para establecer dicha política puede incrementar la probabilidad de una ejecución exitosa y reducir la posibilidad de imitación isomorfa.⁵

En "Directrices para el uso seguro del agua residual, las excretas y las aguas grises," la Organización

Mundial de la Salud (OMS 2006) proporciona directrices paso a paso para que los gobiernos nacionales puedan desarrollar un marco de política para la reutilización del agua residual.

La política por sí sola no es suficiente incentivo para la recuperación del agua residual; esta requiere estar respaldada por un marco jurídico y regulatorio y por un arreglo institucional adecuados. Los tipos de marcos jurídicos para la aplicación de la política se abordan en el [Documento de Base IV](#) (Banco Mundial 2019g).

5.2 Arreglos institucionales para crear incentivos

A fin de tener éxito en la ejecución de programas de gestión del agua residual, las estructuras institucionales deben alinearse a los marcos de política y regulatorios para crear los incentivos correctos para la reutilización y recuperación de recursos. Sin embargo, hay varias barreras institucionales que obstaculizan el desarrollo de estas actividades. Un desafío institucional importante es la falta de coordinación entre diferentes esferas del gobierno y entre diferentes sectores.

Coordinación entre diversas esferas del gobierno

La coordinación y cooperación entre diferentes esferas del gobierno contribuyen a asegurar que las funciones y responsabilidades para la gestión y recuperación del agua residual estén claramente asignadas y cumplidas. En muchos casos, la responsabilidad de desarrollar la política de saneamiento corresponde al gobierno nacional o estatal, mientras que la planificación, inversión y ejecución de servicios de agua residual son realizados por los gobiernos locales o municipales (por ej. en México y Colombia). Por lo tanto, es importante tener mecanismos de coordinación claros entre estos ámbitos del gobierno. Se pueden emplear varios mecanismos de coordinación para abordar la desconexión institucional que existe entre diferentes esferas del gobierno: la creación de una institución central para el agua/el agua residual como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en México; arreglos contractuales entre las esferas del

⁵ Consulte la descripción detallada del concepto de imitación isomorfa en Banco Mundial (2018b).

gobierno que establezcan claramente las funciones, responsabilidades, los principales indicadores de desempeño, y otros mecanismos de control; comités directivos y comités de trabajo (que son arreglos institucionales relativamente menos formales); el refuerzo o creación de instituciones de cuencas hidrológicas fuertes; y la participación en proyectos de grupos de interés de manera ad hoc (como en el caso de [Cerro Verde](#), Perú). Estos arreglos se abordan en mayor detalle en el [Documento de Base IV](#) (Banco Mundial 2019g).

Vínculos y coordinación transversal entre sectores

El tratamiento del agua residual y su reutilización y recuperación también involucra a grupos de interés de diferentes sectores como agua y saneamiento, energía, agricultura y alimentación, y salud entre otros. Se necesita la coordinación entre estos diferentes actores, además de un mecanismo de protección ambiental, para crear los incentivos correctos para la recuperación del agua residual. Algunas maneras de mejorar la coordinación entre sectores son:

- **Alineación de los marcos legales y regulatorios entre sectores.** La resistencia del público y la poca aceptación de los productos del agua residual se ven con frecuencia reforzados por estructuras jurídicas que limitan o incluso prohíben la reutilización del agua recuperada (por ej., en Chile, a pesar de la exitosa experiencia de La Farfana, el sistema de derechos de agua no permite la venta de agua residual tratada), lo que añade más barreras al objetivo de promover la recuperación del recurso. Deberían establecerse marcos favorables de política, regulatorios y legales en todos los sectores pertinentes, incluido el saneamiento, la agricultura, la energía y la salud, para asegurar un entorno facilitador uniforme para la inversión en la reutilización y recuperación del agua residual.
- **Contratos entre los grupos de interés de diferentes sectores,** como en el caso de San Luis Potosí ([Recuadro 3.3](#)), en el que se firmó un acuerdo nacional entre la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Comisión Federal de Electricidad (CFE), y el gobierno estatal para la venta de

agua residual tratada a la central eléctrica para enfriamiento. Este caso muestra cómo pueden abordarse con éxito los desafíos intersectoriales de coordinación si se cumplen condiciones específicas.

- **Colaboración en el desarrollo de planes maestros multisectoriales.** Dicha colaboración debe considerar sinergias e intercambios entre diferentes sectores para lograr coherencia en la política, permitiendo que las fuerzas políticas y de mercado, como la búsqueda de beneficios, exploten completamente el potencial de los vínculos intersectoriales (vea el ejemplo del Río Bogotá en el [Documento de Base II](#)).
- **Otros ejemplos.** Otras alianzas y acuerdos entre grupos de interés de diferentes sectores incluyen comisiones como la Comisión Conjunta para la Reutilización del Agua para la Irrigación en Bolivia, alianzas entre agricultores y agencias de suministro de agua (directamente o a través de los departamentos de agricultura), y asociaciones de usuarios del agua, entre otros.

Participación del sector privado

Aunque los servicios de agua residual generalmente los proporcionan empresas de agua estatales, como se muestra en este informe, en la mayoría de los países de América Latina y el Caribe, los [estudios de casos analizados](#) han demostrado que la participación del sector privado ha sido crucial en la promoción (ver el estudio de caso de Cerro Verde; [Recuadro 4.4](#)) y financiamiento (ver el [estudio del caso de Tenorio](#); [Recuadro 3.3](#)) de los proyectos de recuperación del recurso. La participación del sector privado ha apoyado el desarrollo de estos proyectos a través de financiamiento, promoción y transferencia de tecnología. Por consiguiente, será importante contar con una ley de APP bien desarrollada y aplicada para atraer a los operadores privados. El gobierno también puede alentar a los inversionistas con una combinación de fondos públicos/privados y subvenciones públicas para financiar el proyecto y proporcionar asesoría durante el proceso de APP para asegurar una estructura financiera sostenible y un contrato justo entre las partes pertinentes. Otros elementos importantes para asegurar el éxito de la aplicación de proyectos de APP incluyen (pero no se limitan a) una robusta participación

de los grupos de interés, diálogo y transparencia en todo el ciclo del proyecto y fuerte apoyo del gobierno; una clara asignación de funciones y responsabilidades y una clara asignación de riesgos entre los socios públicos y privados; y el establecimiento de comités de gobernanza adecuados que ofrezcan orientación. Varios de estos elementos se ejemplifican en la APP ejecutada en Nuevo Cairo, Egipto ([Recuadro 5.1](#)), donde el gobierno abordó los problemas resultantes de la falta de experiencia en APP en el país a través del establecimiento de una Unidad Central de APP y de la creación de un conjunto de leyes y regulaciones para regir los proyectos de APP. También se crearon comités de gobernanza de las APP para supervisar el correcto funcionamiento de la infraestructura, y para lidiar con cambios inesperados en los contratos.

Cambios internos de organización y conducta

Aparte de los desafíos externos, las iniciativas de recuperación de recursos también se enfrentan a desafíos en las mismas instituciones. Para que las iniciativas de recuperación de recursos despeguen, es necesario cambiar la conducta de la organización, desarrollar el liderazgo necesario y crear un equipo dedicado que cree conciencia sobre la importancia de la recuperación de recursos a todos los niveles de la organización. Por ejemplo, Aguas Andinas en Chile cuenta con un equipo dedicado a promover los principios de una economía circular y de conversión de los residuos en recursos. También, la creación de unidades especializadas ya sea en las empresas de agua o en los ministerios, pueden ayudar a crear la capacidad necesaria para diseñar, desarrollar y manejar las APP ([Recuadro 5.1](#)).

Fortalecimiento de las capacidades de fiscalización

La gestión del agua residual está intrínsecamente vinculada a la capacidad de controlar y aplicar la normativa de calidad del agua. Los países de la región deben fortalecer sus capacidades de aplicación. Sin las agencias de control y aplicación correctas, y los procedimientos administrativos correctos para imponer sanciones, será difícil promover iniciativas de aguas residuales y de recuperación de recursos.

En varios países, las agencias responsables de la aplicación de las leyes son débiles o carecen de

la infraestructura necesaria para monitorear la calidad del agua. Pero se ven avances en la región. Por ejemplo, en Perú, el Banco Mundial ha estado proporcionando apoyo para generar y compartir información para el monitoreo de la calidad ambiental a nivel nacional, apoyando los esfuerzos del gobierno para mejorar su capacidad de control y análisis ambiental, incrementar el acceso del público a información sobre la calidad ambiental, y promover la participación pública en la gestión de la calidad ambiental. La transparencia y acceso a la información son aspectos importantes de las capacidades regulatorias y de aplicación.

Recuadro 5.1 Uso de una alianza público-privada para incrementar la cobertura de saneamiento y promover la reutilización del agua residual: Nuevo Cairo, Egipto

Al ser la primera alianza público-privada (APP) de Egipto, inicialmente el proyecto enfrentó muchos problemas de gobernanza, ya que no había estructuras jurídicas o regulatorias para manejar una APP. La solución fue utilizar el proceso de la APP para la planta de tratamiento de agua residual de Nuevo Cairo para diseñar un modelo para las futuras APPs en Egipto y eventualmente aprobar una ley para APP en 2010. Para asegurar que el primer proyecto tuviera éxito, se contrataron asesores externos para analizar y evaluar diversas opciones para la estructuración de la APP. El gobierno de Egipto trabajó con la Corporación Financiera Internacional (IFC en inglés) y el Sistema Asesor de Infraestructura Pública-Privada del Grupo del Banco Mundial para crear un marco conceptual y un modelo transaccional para APP. Para facilitar el proceso de APP, se creó una Unidad Central de APP para que actuara de manera autónoma dentro del Ministerio de Finanzas. Tras el éxito del Proyecto, el gobierno ha creado un conjunto de leyes y regulaciones que regirán proyectos futuros de APP en el país, aprovechando las lecciones aprendidas del proyecto del Nuevo Cairo. El establecimiento de una unidad central para las APP permitió la coordinación dentro del gobierno. El estudio del caso completo se puede encontrar [aquí](#) (Banco Mundial 2018h).

5.3 Un marco regulatorio robusto

Diseñado para apoyar la aplicación de una política que promueva la reutilización y recuperación del agua residual, y respaldado por una estructura institucional que pueda controlar y aplicar la regulación, un marco regulatorio ofrece incentivos para la reutilización y recuperación del agua residual. Por otra parte, algunos marcos regulatorios pueden crear desincentivos para la reutilización y recuperación del agua residual.

Clara regulación de los productos recuperados del agua residual. Uno de los principales obstáculos a la recuperación del agua residual como recurso es que, en la mayoría de los países de América Latina y el Caribe, los productos secundarios (agua residual tratada, energía y biosólidos) no están claramente regulados y no tienen un valor o precio claro. Como se menciona en el Capítulo 4 (sección 4.3; lecciones aprendidas de los estudios de casos), esto desincentiva tanto a las empresas de agua como a los inversionistas privados de participar en proyectos para convertir los residuos en recurso. Por ejemplo, si no hay un reglamento claro para el uso de biosólidos en la agricultura (por ej., la legislación en Panamá y Colombia es muy estricta con la reutilización de biosólidos), no habrá demanda para este producto secundario; o si no existe una regulación que permita a las plantas de tratamiento vender electricidad a la red, ninguna empresa de agua tratará de desarrollar ese negocio; o si las industrias no pagan una cuota adecuada por la extracción de agua, no tienen incentivos para comprar agua residual tratada. En el ejemplo de San Luis Potosí, la central eléctrica pagaba por extraer agua dulce del acuífero. El agua residual tratada era por lo tanto una opción muy atractiva, ya que era de menor costo que el agua dulce.

Reglamento intersectorial. Para crear un marco regulatorio que incentive la reutilización y recuperación del agua residual, es imperativo que los marcos regulatorios de diferentes sectores que son relevantes para la reutilización y recuperación del agua residual estén alineados (vea las dificultades para alinear los marcos regulatorios del agua y de la energía en el caso de SAGUAPAC; Banco Mundial [2018i]). El marco regulatorio que debe regir la reutilización y recuperación del agua residual necesitará cubrir diferentes sectores,

así como tener la flexibilidad de adaptarse a las condiciones locales. Se requieren tanto regulaciones técnicas (para proteger la salud y seguridad humana y ambiental) así como regulaciones económicas (para asegurar competencia de mercado, desempeño de los proveedores de servicios, y tarifas que reflejen los costos). En varios sectores ya existen regulaciones técnicas y económicas para los diferentes sectores.

Sin embargo, para crear un entorno regulatorio que promueva la reutilización y recuperación del agua residual, es necesario alinear todas las regulaciones pertinentes. Los estudios de caso muestran diferentes maneras de vincular las regulaciones intersectoriales, particularmente entre agua y energía. En la mayoría de los casos, esto se logró por medio de arreglos innovadores de contratación. El [Documento de Base IV](#) (Banco Mundial 2019g) amplía el abordaje de este tema y de los marcos regulatorios e incentivos para la recuperación de los recursos.

Regulación clara sobre contaminación del agua y control adecuado de descargas industriales.

En ciudades en las que las industrias contribuyen una cantidad significativa de aguas residuales, la aplicación de programas de pretratamiento y control industrial es esencial para minimizar los riesgos químicos y asegurar la operación exitosa de las plantas de tratamiento y de los planes de riego con agua tratada. El establecimiento y la aplicación de normas para las descargas industriales es importante para promover los programas de pretratamiento industrial y para controlar ciertas descargas industriales que podrían afectar negativamente la operación de las plantas de tratamiento y la calidad de los efluentes y biosólidos tratados. Se deben establecer normas de calidad para el agua residual industrial descargada a los sistemas de alcantarillado municipal para asegurar que los metales pesados, las toxinas orgánicas, las sales u otros contaminantes peligrosos generados por la actividad industrial no alcancen niveles que puedan dañar tuberías, obstaculizar los procesos de tratamiento biológico, permanecer en el efluente en concentraciones mayores a lo permitido para irrigación o el ambiente, o acumular en el lodo y limitar o incluso impedir su disposición o reutilización como biosólidos.



6. Conclusiones y el camino a seguir para la región

La reutilización y recuperación del agua residual pronto serán aspectos cruciales en las estrategias de gestión del agua residual en todo el mundo. La escasez de agua dulce frente al crecimiento de la población y la rápida urbanización, el desafío de cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la lógica de la economía circular, han creado un incentivo atractivo para reutilizar y recuperar el agua residual.

El enfoque lineal sobre el agua residual como algo a desechar debe dar lugar a un concepto más

circular del agua residual como un recurso valioso. En el pasado, los incentivos para la reutilización y recuperación se veían debilitados por políticas incongruentes, y estructuras institucionales y regulatorias enfocadas únicamente al tratamiento y la disposición del agua residual. El cambio necesario de paradigma está bastante encaminado: las políticas sobre agua residual en muchos países ya incluyen su reutilización y recuperación. A medida que más países se unan, el nuevo paradigma estimulará al sector del saneamiento y contribuirá al logro de los ODS.

ACCIÓN 1.

Planificar el agua residual a nivel de cuenca



ACCIÓN 2.

Pasar de plantas de tratamiento de aguas residuales a instalaciones para la recuperación de recursos



ACCIÓN 3.

Aplicar modelos financieros y de negocio innovadores



ACCIÓN 4.

Promover las políticas, instituciones y regulaciones necesarios



Hay cuatro acciones cruciales:

ACCIÓN 1.



Emprender iniciativas de agua residual como parte del marco de planificación de cuenca para maximizar los beneficios, la asignación de recursos y la participación de los grupos de interés.

Los esfuerzos de planificación de cuencas hidrográficas en la región necesitan fortalecerse.

Los gobiernos necesitan apoyar a las organizaciones y organismos de cuenca, para que puedan mejorar su pericia técnica y ejercer poder de supervisión para ejecutar los planes en las cuencas. El sector del saneamiento, como uno de los principales beneficiarios de la planificación de cuencas hidrológicas – necesita estar presente en las organizaciones de cuenca y ser activo en la promoción de su planificación. En lugar de promover una planta de tratamiento por municipalidad, los países deberían evaluar las verdaderas necesidades de las cuencas, y trabajar para lograr una norma de calidad del agua congruente con los objetivos establecidos en la cuenca (por ejemplo, determinar la capacidad de dilución de un río local).

Podrían necesitarse nuevos o mejores arreglos institucionales. Dichos arreglos podrían universalizar la planificación de cuencas y promover la colaboración entre diferentes esferas de los gobiernos, así como entre diferentes sectores. Es más, los presupuestos para las agencias del gobierno podrían vincularse a los planes de cuencas hidrológicas en lugar de focalizarse en intervenciones específicas de cada sector por separado.

Las prioridades de inversión son únicas para cada cuenca. Por esta razón, en la organización de cuenca o el comité director se debe desarrollar una clara metodología para determinar las prioridades de inversión (en qué áreas, ciudades y pueblos debe invertirse), el momento o gradualidad de las inversiones, los niveles de tratamiento necesarios y las tecnologías a emplearse. Estos planes deben tener poder vinculante y apoyarse desde el gobierno central para superar las limitaciones transversales entre sectores.

ACCIÓN 2.



Gradualmente reemplazar las plantas de tratamiento de aguas residuales con instalaciones para la recuperación de recursos. Al mismo tiempo, el manejo eficiente y efectivo de la infraestructura de saneamiento es crucial para promover el reúso y la recuperación de recursos.

Fomentar la empresa de agua del futuro. Para avanzar hacia la empresa de agua del futuro, primero las empresas de agua tienen que estar bien manejadas y deben desempeñarse adecuadamente. Segundo, las plantas de tratamiento deben diseñarse, planificarse, manejarse y operarse de manera efectiva y eficiente. Finalmente, los países necesitan reconocer el valor real del agua residual y los posibles recursos que se pueden extraer de ella, incorporando los principios de recuperación de recursos y de una economía circular en su estrategia, planificación de la inversión y diseño de la infraestructura. La empresa de agua del futuro maneja instalaciones para la recuperación del recurso, es energéticamente neutra o incluso produce energía, implementa el uso beneficioso de los biosólidos y reutiliza el agua tratada. De manera ideal, todos estos recursos recuperados proporcionan un flujo adicional de ingresos, ayudando a cubrir los costos de operación y mantenimiento, con lo que la empresa de agua es ambiental y financieramente sostenible.

La tecnología de tratamiento de agua residual debe entenderse y emplearse de manera adecuada. Se necesitan lineamientos adecuados para el proceso de selección del tipo de tratamiento del agua residual a fin de evitar sesgos innecesarios hacia el lodo activado. Se deben promover siempre que sea posible las tecnologías que producen menos gastos de capital y de operación (reactores UASB, filtros percoladores y lagunas). Se debe promover un método escalonado o gradual de ejecución en términos de tecnología de tratamiento, orientado hacia cumplir los límites impuestos por la legislación en el largo plazo, y apoyado por un sólido conocimiento de las tecnologías de tratamiento de agua residual y de la capacidad de recepción del cuerpo de agua.

ACCIÓN 3.



Explorar y respaldar herramientas innovadoras de financiamiento y modelos de negocio sostenibles que aprovechen el potencial de los flujos adicionales de ingresos provenientes de la recuperación de recursos en las plantas de tratamiento

La participación del sector privado en el tratamiento del agua residual ha demostrado ser crucial para la promoción de proyectos de recuperación de recursos.

La participación del sector privado trae consigo conocimientos técnicos y tecnológicos, así como inversión en infraestructura y tecnología. Además, la participación del sector privado en la fase inicial ha dado lugar a la identificación exitosa de clientes para los productos secundarios provenientes de las plantas de tratamiento. La efectiva participación del sector privado depende, a la vez, de un entorno propicio, facilitador de la inversión y de una política y marco regulador claros.

Con frecuencia se necesitan varias formas de alianzas público-privadas para el financiamiento de proyectos de recuperación de recursos, particularmente dado que los requisitos iniciales de inversión para los proyectos de reutilización y recuperación son mayores a lo que muchos gobiernos nacionales pueden costear. Generalmente se requiere financiamiento combinado, con subsidios de los gobiernos o donantes, combinados con capital privado y financiamiento de deuda, a recuperar por medio de tarifas a los usuarios y los ingresos provenientes de la recuperación de recursos. El grado de subsidios adjudicados debe ser determinado por análisis económicos y financieros a nivel de cuenca. Para ofrecer incentivos para un desempeño eficiente, los subsidios se deben desembolsar con base en los resultados obtenidos.

Los gobiernos deben apoyar la creación de mercados para los productos recuperados:

- **Es importante contar con normas técnicas y regulaciones claras para los productos secundarios (aguas residuales tratadas, energía, biosólidos) para generar confianza pública y privada y crear un mercado que haga factibles las inversiones en la recuperación de recursos.** Las normas y regulaciones deben ser flexibles y bien adaptadas a las condiciones locales, ya que de ser muy estrictas pueden desincentivar la recuperación de recursos. También se deben aplicar de manera coherente.
- **Podrían requerirse subsidios transversales de las tarifas cobradas por el agua dulce para permitir que el precio de los productos secundarios sea suficientemente bajo para que el mercado crezca.** También puede emplearse regulación económica para estimular y crear competencia en el mercado. Además, existe una gran necesidad de alinear los marcos reguladores de otros sectores relevantes a la recuperación de los recursos del agua residual, ya que el traslape de las regulaciones puede crear incentivos negativos.

ACCIÓN 4.



Revisar y diseñar marcos de política, institucionales, regulatorios y financieros contextualizados para promover el cambio de paradigma en el sector.

Es importante alinear los marcos de política, institucionales, regulatorios y financieros para alentar e incentivar el desarrollo de proyectos de recuperación del recurso de agua residual. Aunque las reformas a las políticas y los reglamentos son específicos para cada contexto y vinculados a la economía política de cada país, un buen primer paso es emitir una clara declaración de objetivos para la recuperación de recursos como parte de la política de agua. Alrededor de ello, los compromisos de líderes políticos de alto nivel pueden confluir y puede desarrollarse apoyo público. Luego sigue la creación de un conjunto de políticas para incentivar la recuperación

de recursos del agua residual, acompañado de marcos complementarios institucionales, regulatorios y financieros a mejorar con el tiempo. De hecho, flexibilidad y adaptabilidad podría bien ser lo más conducente a la progresiva adopción de prácticas de recuperación de los recursos. Las políticas y marcos luego necesitan descender de la esfera nacional o federal a las esferas locales. Al diseñar proyectos de reutilización y recuperación de recursos, es imperativo evaluar bien los riesgos tecnológicos y comerciales y mitigarlos a fin de infundir la confianza de que los proyectos de recuperación del recurso serán sostenibles. El diseño de intervenciones de PIR para promover proyectos de recuperación de recursos puede darse de manera conjunta con las revisiones de los planes del país para la conservación del agua, para el desarrollo económico bajo en carbono, y la mitigación y adaptación al cambio climático.

A través de un diseño de proyecto que asegure que los que participen en proyectos de recuperación de recursos tengan los incentivos adecuados, incluidas medidas para mitigar los riesgos, podemos tener la confianza de que los proyectos de recuperación de recursos serán sostenibles.

Finalmente, será importante crear conciencia sobre el potencial y los beneficios de la reutilización y recuperación de recursos en la región.

6.1 Directrices básicas para planificar y financiar plantas de tratamiento de aguas residuales

Al planificar y financiar plantas de tratamiento de aguas residuales, se debe dar prioridad a proyectos que cumplan los siguientes criterios:

- El proyecto es un componente priorizado dentro de un programa de gestión integrada de los recursos hídricos.
- Se han analizado adecuadamente los costos de capital y operación a lo largo del ciclo de vida.
- Se han realizado evaluaciones del ciclo de vida de los aspectos ambientales, sociales y financieros del proyecto. Se incluyen consideraciones sobre resiliencia climática y contribuciones a la mitigación

del cambio climático. El proyecto tendrá una contribución mensurable a los ODS.

- El potencial para utilizar la infraestructura ya existente se ha analizado e integrado en la planificación del proyecto.
- Se ha elegido una tecnología basada no sólo en su idoneidad para el contexto local y en los costos iniciales de capital, sino también con base en sus costos de operación a largo plazo para asegurar que el proyecto pueda cubrir los costos de operación con tarifas viables, tomando en cuenta los ingresos por la venta de agua para su reutilización, de biosólidos para usos beneficiosos, y de energía generada (a través de biogás o energía hidroeléctrica), demostrado por el análisis del ciclo de vida.
- El proyecto promueve la recuperación de recursos (reutilización del agua, uso beneficioso de los biosólidos y generación de energía a partir de biogás o energía hidroeléctrica) de manera sostenible.
- Se han explorado modelos de negocio y financieros innovadores y sostenibles, ponderando los beneficios de la participación del sector privado en la inversión y operación a la vez que se retiene el control regulatorio (preferiblemente a través de un regulador independiente). Si el sector privado ha de participar, el proyecto debe indicar claramente de qué manera contribuirá a su sostenibilidad.
- Los límites sobre los efluentes se basan ya sea en los criterios de carga del cuerpo de agua receptor (la mejor opción) o en los requisitos regulatorios basados en legislación científica y económicamente sólida.
- Las descargas industriales se identifican y especifican en sistemas de control adecuados. Las industrias pagarán por el tratamiento (por ej., \$/kg tratado) o reducirán sus descargas a concentraciones acordadas, a través de tratamiento propio.
- El proyecto contribuye al desarrollo del sector a través de apoyar en la capacitación de empleados del gobierno, estudiantes de universidades locales, operadores de empresas gestionadas por el gobierno, y otros profesionales en la región que se pueden beneficiar de la experiencia.
- Hay conciencia del público y de los grupos de

interés, y aceptación de la necesidad de poner en práctica una planta de tratamiento de aguas residuales. Se ha desarrollado una estrategia de comunicación que claramente explica los beneficios de la recuperación de recursos y refuta las ideas erróneas sobre la reutilización del agua residual.

6.2 Temas para un análisis más profundo y para el trabajo futuro

Análisis del ciclo de vida real de las plantas de tratamiento de aguas residuales

Durante la preparación de este informe, quedó claro que los proyectos e iniciativas para la reutilización y recuperación de recursos no siempre generarán un flujo adicional de ingresos para la planta de tratamiento, generalmente porque el uso final genera pocos beneficios – por ejemplo, si el agua se emplea para irrigación o para recargar un acuífero, o si los biosólidos se emplean para restaurar suelos degradados. Para entender los beneficios completos de dichos proyectos y evaluar la conveniencia de subsidios o subvenciones para promoverlos, se necesita un análisis del costo y beneficio más profundo, uno que tome en cuenta aspectos financieros, ambientales y sociales.

La potencial contribución de la recuperación del agua residual al ambiente implica no sólo mejora en la calidad del cuerpo de agua receptor, sino también los beneficios relacionados con la reutilización del agua (sustitución de fuentes alternativas de agua, que es especialmente beneficioso en áreas con escasez de agua y, en el futuro cercano, para responder a posibles impactos del cambio climático), generación de energía a partir del biogás (mitigación del y adaptación al cambio climático), y uso beneficioso de biosólidos como fertilizantes (sustitución de fertilizantes sintéticos que contribuyen a la contaminación). Deben considerarse las implicaciones sociales positivas de la planta a lo largo de todo el ciclo: empleos creados por la construcción, operación

y mantenimiento de la planta; incremento en valores de la propiedad tras la mejora del cuerpo de agua receptor; fuentes alternativas de agua para los agricultores a partir de su reutilización; fertilizantes de bajo costo valiosos para los agricultores a partir de un programa de biosólidos; y mejor salud resultante de mejor calidad del agua. Las tarifas del agua residual deben ser aprobadas y justificadas con base en un análisis de ciclo de vida de esa naturaleza. Dada su importancia, este tema necesita mayor análisis y su aplicación en proyectos futuros y en operaciones de préstamo.

Uso de instrumentos económicos para el control de la contaminación del agua

Se han empleado instrumentos económicos en varios países en América Latina y el Caribe durante varios años como complementarios a las opciones de comando y control. Algunas de estas aplicaciones han contribuido de manera significativa a lograr reducciones considerables en descargas de aguas residuales. Sin embargo, es poco lo que se han llevado a escala. El trabajo en el futuro podría consistir en una evaluación de los instrumentos económicos existentes y sus impactos, y de recomendaciones para su adopción futura en la región.

Apoyo técnico para la puesta en marcha de instalaciones para la recuperación de recursos

Muchos países se encuentran ahora en proceso de planificación, diseño y licitación de plantas de tratamiento de aguas residuales. La finalidad de esta iniciativa es continuar proporcionando apoyo a solicitud y especializado para el desarrollo de instalaciones para la recuperación del recurso agua.

Documentos de base:

[“Documento de Base I: Gestión eficiente y efectiva de instalaciones para la recuperación del recurso agua”](#)
(en inglés)

[“Documento de Base II: Demostración del proceso de planificación de una cuenca hidrográfica a través de un ejemplo concreto: el proyecto de limpieza del Río Bogotá”](#) (en inglés)

[“Documento de Base III: La función del modelado en la toma de decisiones en el enfoque de cuenca”](#)
(en inglés)

[“Documento de Base IV: Incentivos de política, regulatorios e institucionales para el desarrollo y las inversiones para convertir agua residual en recurso”](#) (en inglés)

[“Documento de Base V: Incentivos financieros para para el desarrollo y las inversiones para convertir agua residual en recurso”](#) (en inglés)

[“Documento de Base VI: Análisis de mercado y modelos de negocio para productos de recuperación del recurso”](#) (en inglés)

Referencias

Aguas Andinas. 2017. “Memoria Anual 2017.” <https://www.aguasandinas inversionistas.cl/~media/Files/A/Aguas-IR-v2/aguas-andinas-memoria -anual-2017.pdf>.

ASCE (American Society of Civil Engineers). 2013. “Chicago to Add Nutrient Recovery to Largest Plant.” Civil Engineering, November 5. <https://www.asce.org/magazine/20131105-chicago-to-add-nutrient-recovery-to-largest-plant/>.

ECA (Economic Consulting Associates), 2019. From Waste to Resource: Why and How Should We Plan and Invest in Wastewater? – Policy, Institutional and Regulatory Incentives. Documento de base no publicado preparado para el Banco Mundial.

Ellen Macarthur Foundation. N.d. “Concept: What Is a Circular Economy? A Framework for an Economy That Is Restorative and Regenerative by Design.” <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept>.

Medio Ambiente Canadá, y Ministerio de Medio Ambiente y Energía de Ontario. 1995. *Guidance Manual for Sewage Treatment Plant Process Audits*, 1995 Edition. Ottawa, Ontario: Medio Ambiente Canadá, y Ministerio de Medio Ambiente y Energía de Ontario.

FAO (Organización de la ONU para la Alimentación y la Agricultura). 2017. “Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe: Estado, Principios y Necesidades.” FAO, Washington, DC.

- HLPW (Panel de alto nivel en materia de agua). 2018. *Making Every Drop Count. An Agenda for Water ACCIÓN: High- Level Panel on Water Outcome Document*. 14 de marzo de 2018. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/17825HLPW_Outcome.pdf.
- Hooper, B. P., and C. Lant. 2007. "Integrated, Adaptive Watershed Management." En *Fostering Integration: Concepts and Practice in Resource and Environmental Management*, edited by K. Hanna and D. Scott Slocombe. Oxford and Toronto: Oxford University Press.
- Hutton, G., y M. C. Varughese. 2016. "The Costs of Meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water Sanitation, and Hygiene (English)." Documento técnico del programa de agua y saneamiento, Grupo del Banco Mundial, Washington, DC. <http://documents.worldbank.org/curated/en/415441467988938343/The-costs-of-meeting-the-2030-sustainable-development-goal-targets-on-drinking-water-sanitation-and-hygiene>.
- LimnoTech. 2018. "Showcasing River Basin Planning and the Role of Modeling in Decision Making." Documento de base. Documento interno de base.
- IWA (International Water Association). N.d. "México." <http://www.iwa-network.org/WaCCliM/México/>.
- Lackey, K., y L. Fillmore. 2017. *Energy Management for Water Utilities in Latin America and the Caribbean: Exploring Energy Efficiency and Energy Recovery Potential in Wastewater Treatment Plants*. Washington, DC: Banco Mundial. <http://pubdocs.worldbank.org/en/392871496427784755/Task-B-WERF1T14-web.pdf>.
- Lemainski, J., and J. E. da Silva. 2006a. "Utilização do biossólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal." *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 30 (4): 741–50.
- . 2006b. "Avaliação agronômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja." *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41 (10): 1477–84.
- Nolasco, D. 2019. "Efficient and Effective Management of Water Resource Recovery Facilities." Documento interno de base.
- Nolasco, D., y D. Rosso. 2015. "Energy and Carbon Footprint Prediction and Reduction at Wastewater Treatment Plants." Presentado en el 1er Taller sobre Gestión de Energía para Servicios de Agua y Saneamiento en América Latina. Evento patrocinado por el Banco Mundial, el Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético (ESMAP), el Programa de Asociación del Agua (WPP) y la Fundación de Investigación del Medio Ambiente del Agua (WERF) en el 58 ° Congreso Internacional sobre Agua, Saneamiento, Medio Ambiente y Energía Renovable, organizado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ACODAL), Santa Marta, Colombia, 10 y 11 de septiembre.
- NSF (National Science Foundation), DOE (Departamento de Energía de los EE.UU.), y la EPA (Agencia para la Protección Ambiental de los EUA). 2015. *Energy-Positive Water Resource Recovery Workshop Report: Executive Summary*. Workshop on April 28–29, 2015, Arlington, VA. https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/11/f27/epwrr_workshop_executive_summary.pdf.

- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). 2017. "OECD Environment Statistics." ISSN: 18169465 (en línea). Consultado en marzo de 2019. <https://doi.org/10.1787/env-data-en>.
- Rodriguez, D., C. van den Berg, and A. McMahon. 2012. "Investing in Water Infrastructure: Capital, Operations and Maintenance." Water Papers, Water Unit, Transport, Water and ICT Department, Banco Mundial, Washington, DC.
- Santos, J. L. 2018. "Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales en la Ciudad de Guayaquil." <http://pubdocs.worldbank.org/en/527501544484090056/4-Jose-Luis-Santos-argentina-ing-santos-final-14112018.pdf>.
- Soppe, G., N. Janson, y S. Piantini. 2018. "Water Utility Turnaround Framework: A Guide for Improving Performance." Banco Mundial, Washington, DC. <http://documents.worldbank.org/curated/en/515931542315166330/Water-Utility-Turnaround-Framework-A-Guide-for-Improving-Performance>.
- TPO (Operador de planta de tratamiento). 2012. "A California Wastewater Treatment Plant Uses Hauled-in High-BOD Wastes to Maximize Biogas Production and Generate More Power Than It Uses." http://www.tpomag.com/editorial/2012/12/beyond_net_zero.
- Trémolet, S. 2011. "Identifying the Potential for Results-Based Financing for Sanitation." https://www.cseindia.org/static/mount/recommended_readings_mount/09-Identifying-the-Potential-for-Results-Based-Financing-for-Sanitation.pdf.
- UNDESA (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la ONU), División de Población. 2018. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision, Online Edition. <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications>.
- U.S. EPA (Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos). 2012. "Guidelines for Water Reuse." <https://www3.epa.gov/region1/npdes/merrimackstation/pdfs/ar/AR-1530.pdf>.
- Vázquez, A. V., y K. Buchauer. 2014. *East Asia and Pacific—Wastewater to Energy Processes: A Technical Note for Utility Managers in EAP Countries*. Informe principal (en inglés). Washington, DC: Grupo del Banco Mundial. <http://documents.worldbank.org/curated/en/489941468188683153/Main-report>.
- WDI (Indicadores del Desarrollo en el Mundo). 2019. "Latin America and the Caribbean Dataset (en línea)." <https://data.worldbank.org/region/latin-america-and-caribbean>.
- WEF (Foro Económico Mundial). 2014. *Towards the Circular Economy: Accelerating the Scale-Up across Global Supply Chains*. Foro Económico Mundial, Ginebra, preparado en colaboración con la Fundación Ellen MacArthur y McKinsey & Company. <http://reports.weforum.org/toward-the-circular-economy-accelerating-the-scale-up-across-global-supply-chains/>.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2006. "Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater." https://www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/wastewater/wastewater-guidelines/en/.

OMS y UNICEF (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia). 2017. *Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 Update and SDG Baselines*. Ginebra: OMS y UNICEF.

Banco Mundial. 2006. "Characteristics of Well-Performing Public Water Utilities." Working Note No. 9, Banco Mundial, Washington, DC

----. 2016a. Latin America & Caribbean Energy Management. Cañaveralejo Wastewater Treatment Plant, EMCALI, Cali, Colombia, Banco Mundial, Washington, DC. http://www.werf.org/c/KnowledgeAreas/Energy/Products_and_Tools/2017/World_Bank_Fact_Sheets/World_Bank_Colombia.aspx.

----. 2016b. Case Studies in Blended Finance for Water and Sanitation: Municipal Bond Issue by the Municipality of Tlalnepantla de Baz (México). <http://documents.worldbank.org/curated/en/156721472042044468/pdf/107978-México.pdf>.

----. 2017. *Rethinking Infrastructure in Latin America and the Caribbean Spending Better to Achieve More*. Washington, DC: Banco Mundial.

----. 2018a. *Wastewater? Shifting Paradigms in Latin America and the Caribbean: From Waste to Resource*. Washington, DC: Banco Mundial. <https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/wastewater-initiative>.

----. 2018b. "Aligning Institutions and Incentives for Sustainable Water Supply and Sanitation Services." Banco Mundial, Washington, DC.

----. 2018c. "Wastewater: From Waste to Resource—The Case of Atotonilco de Tula, México." Banco Mundial, Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29493>.

----. 2018d. "Wastewater: From Waste to Resource—The Case of San Luis Potosí, México." Banco Mundial, Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29491>.

----. 2018e. "Wastewater: From Waste to Resource—The Case of Prodes, Brazil." Banco Mundial, Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29488>.

----. 2018f. "Wastewater: From Waste to Resource—The Case of Ridgewood, NJ, USA." Banco Mundial, Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29487>.

----. 2018g. "Wastewater: From Waste to Resource—The Case of Durban, South Africa." Banco Mundial, Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29489>.

----. 2018h. "Wastewater: From Waste to Resource—The Case of New Cairo, Egypt." Banco Mundial, Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29490>.

----. 2018i. "Wastewater: From Waste to Resource—The Case of Santa Cruz de la Sierra, Bolivia." Banco Mundial, Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29492>.

- Banco Mundial y CAF (Banco de Desarrollo para América Latina). 2018. “Agua Residual: de desecho a recurso—Cambiando paradigmas en América Latina y el Caribe.” <http://pubdocs.worldbank.org/en/569441545316362225/FINAL-AGENDA-BancoMundial-Agua-Residual-SPA.pdf>.
- Banco Mundial. 2019a. “Wastewater: From Waste to Resource—The Case of Santiago, Chile.” Banco Mundial, Washington, DC. <http://documents.worldbank.org/curated/en/284951573498126244/pdf/Wastewater-From-Waste-to-Resource-The-Case-of-Santiago-Chile.pdf>.
- . 2019b. Wastewater: From Waste to Resource. “Background Paper II: Showcasing the RiverBasin Planning Process through a Concrete Example: The Rio Bogota Cleanup Project”.
- . 2019c. Wastewater: From Waste to Resource. “Background Paper III: The Role of Modeling in Decision Making in the Basin Approach”.
- . 2019d. Wastewater: From Waste to Resource. “Background Paper I: Efficient and Effective Management of Water Resource Recovery Facilities”.
- 2019e. Wastewater: From Waste to Resource. “Background Paper VI: Market Potential and Business Models for Resource Recovery Products”.
- 2019f. Wastewater: From Waste to Resource. “Background Paper V: Financial incentives for the development of resource recovery projects in wastewater”.
- 2019g. Wastewater: From Waste to Resource. “Background Paper IV: Policy, Regulatory and Institutional incentives for the development of resource recovery projects in wastewater”.
- . 2019h. “Wastewater: From Waste to Resource—The Case of Arequipa, Peru.” Banco Mundial, Washington, DC.
- . 2019i. “Wastewater: From Waste to Resource—The Case of Nagpur, India.” Banco Mundial, Washington, DC.
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos). 2014. *The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy*. Paris: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, (UNESCO).
- . 2015. *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World*. Paris: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO.
- . 2017. *The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource*. Paris: UNESCO.
- WWD (Water and Wastes Digest). 2011. “Brilliant Water Reuse in Brazil.” Revista de WWD (en línea), September 12. <https://www.wwdmag.com/water-recycling-reuse/brilliant-water-reuse-brazil>.

Apéndice A. Resumen de los estudios de caso

Caso	Modelo de economía circular	Estructura del contrato	Estructura financiera	Factores facilitadores
México: San Luis Potosí	Agua residual tratada para la industria (para el enfriamiento de la central eléctrica), agricultura (riego de 500 hectáreas), y conservación ambiental (mejora de los humedales) como parte del plan integral de saneamiento y reutilización del agua residual.	Construcción, propiedad, operación, transferencia (BOOT en inglés); 20 años. Convenio de compra revolvente con la Comisión Federal de Electricidad (CFE).	40% de subvención del gobierno con fondos de FINFRA . 36% de préstamo de Banobras; periodo de vencimiento a 18 años. 4% capital de empresa con capital de riesgo. Garantía de gobierno federal.	Institucionales: Fuerte liderazgo de las autoridades del agua federales y estatales. Colaboración transversal con la CFE. Regulatorios: El alto precio local para la industria para el uso del agua del acuífero promovió el uso del agua tratada. Claridad del mecanismo de pago y de los riesgos. Técnicos: Escasez del recurso agua, múltiples niveles de calidad del agua residual tratada adaptados para cada usuario final.
México: Atotonilco de Tula	Agua residual tratada reutilizada para agricultura (irrigación Valle Mezquital). Autogeneración de energía con biogás para cubrir alrededor del 60% de las necesidades de energía. Biosólidos empleados como fertilizante y mejoramiento del suelo.	Diseñar, construir, poseer, operar, transferir (DBOOT en inglés); 25 años.	49% subvención gubernamental del Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN). 20% de capital del consorcio socio. 31% de financiamiento comercial.	Institucionales: Robusta propiedad de instituciones gestoras de recursos de agua con experiencia. Robusta experiencia de agencia de financiamiento público. Regulatorios: Reglamentos claros permitieron la reutilización del agua y los biosólidos. Técnicos: Múltiples niveles de calidad del agua residual tratada a la medida de diferentes usos, el Programa de Tecnología para el Tratamiento del Agua adaptado a las temporadas secas.
Bolivia: Santa Cruz de la Sierra	Compra de reducciones de emisiones certificadas (REC) de captura de gas metano. Electricidad para autoconsumo.	Contrato de compra de reducción de emisiones para captura de biogás. Primer contrato de este tipo para países de renta baja.	Banco Mundial a financiar los REC pero se retiró por cambio en la legislación.	Regulatorios: El proyecto no se ejecutó por limitaciones regulatorias en el sector de la energía. Técnicos: Tecnología de captura de metano adaptada a lagunas anaeróbicas.

Egipto: Cairo, New Cairo	<p>Agua tratada reutilizada para agricultura.</p> <p>Biosólidos empleados como fertilizantes.</p>	<p>Primera alianza público-privada (APP) en Egipto. Diseño, construcción, financiamiento, operación, transferencia; 20 años.</p>	<p>71% de financiamiento público.</p> <p>21% de financiamiento sin recurso.</p> <p>8% de capital.</p>	<p>Institucionales: Fuerte liderazgo del gobierno central (creación de una unidad centralizada de APP).</p> <p>Regulatorios: El completo potencial del proyecto no se ha realizado debido a marcos regulatorios ambiguos o inexistentes. Tanto la venta de créditos de carbono como el uso de la electricidad generada se han estancado.</p> <p>Técnicos: Fuerte apoyo y asesoría técnica externa (Servicio de Asesoría para Infraestructura pública-privada, PPIAF en inglés).</p>
Estados Unidos: Ridgewood	<p>Neutralidad energética en la planta por medio del uso del biogás (con co-digestión).</p>	<p>Contrato de compra de energía de 20 años con empresa municipal.</p>	<p>4 millones en financiamiento privado (Ridgewood Green).</p> <p>Certificados de energía renovable.</p>	<p>Institucionales: Fuerte apoyo público y compromiso de la municipalidad.</p> <p>Técnicos: Se empleó innovación para actualizar la infraestructura existente.</p>
Brasil: PRODES	<p>Subvenciones de financiamiento basadas en resultados, atadas a estrictas normas de gestión y ambientales que promueven la eficiencia del recurso. Financiamiento vinculado a la existencia de comités de cuencas que promuevan un método de planificación de cuencas.</p>	<p>No se promueve una estructura de contratación en particular.</p>	<p>Financiamiento basado en resultados.</p>	<p>Institucionales: Fuerte apoyo del Ministerio de Finanzas y la Agencia Nacional del Agua (ANA).</p> <p>Regulatorios: Estricta conexión entre resultados y ayuda financiera.</p> <p>Técnicos: Fuerte apoyo técnico de ANA durante el proceso de certificación.</p>
Sudáfrica: Durban	<p>Agua residual tratada vendida para propósitos industriales: Modi (industria de papel) y SAPREF (refinería).</p>	<p>Contrato de Construcción, propiedad, operación, transferencia (BOOT en inglés) a 20 años.</p>	<p>47% de préstamo del Banco de Sudáfrica.</p> <p>20% de capital.</p> <p>33% de préstamo comercial.</p>	<p>Institucionales: Fuertes mecanismos de coordinación apoyados por el gobierno local.</p> <p>Técnicos: Cercanía de los usuarios finales del agua residual tratada.</p> <p>Innovaciones tecnológicas para actualizar la planta existente.</p>

Chile: Santiago, La Farfana	Generación y venta de biogás a un usuario final.	Empresa conjunta + Contrato de acuerdo de compra de biogás (6 años renovables).	Instrumentos de financiamiento empresarial combinado (bonos verdes/deuda). Posibilidad de vender certificados de energía renovable.	Fuerte propiedad de grupos de interés y socios financieramente sólidos. Técnicos: Proximidad a la planta de gas ciudad. Innovaciones tecnológicas para actualizar la planta existente. Regulatorios: Mercado regulado del gas permite el uso del gas para la producción de gas ciudad. Regulación del agua que promueve la innovación: concede un período de cinco años de gracia durante los que las empresas pueden conservar las utilidades obtenidas de una innovación antes de ser obligados a trasladarlas a los consumidores por medio de reducción de tarifas.
Peru: Arequipa, Cerro Verde	Reutilización del agua residual tratada para la industria minera.	Contrato APP de Construcción, propiedad, operación, transferencia (BOOT en inglés) a 29 años adjudicado al usuario final.	100% financiado por el usuario final (empresa minera privada)ate mining company).	Institucionales: Legislación integral para APP, fuerte apoyo de gobierno local y federal. Técnicos: Socio privado aseguro que se eligiera la mejor tecnología para las condiciones locales. Institucionales: Fuerte apoyo del gobierno regional y federal. Escasez de agua: el costo de aprovechar la fuente de agua más cercana era elevado.
India: Nagpur	Agua residual tratada reutilizada para enfriamiento en la central eléctrica.	Contrato APP de Diseño, Construcción, operación, transferencia. 30 años.	50% de subvención del gobierno. 50% privado (único usuario final).	Escasez de agua: el costo de aprovechar la fuente de agua más cercana era elevado (a parte del agua residual). Institucionales: Fuerte apoyo del gobierno regional y federal. Técnicos: La proximidad a la central eléctrica redujo el costo del transporte de agua.

