

DESAFÍOS DEL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN CHILE

Guillermo Donoso

Departamento de Economía Agraria, Pontificia Universidad Católica de Chile
Centro de Derecho y Gestión de Aguas, Pontificia Universidad Católica de Chile

Daniela Rivera

Centro de Derecho y Gestión de Aguas, Pontificia Universidad Católica de Chile
Facultad de Derecho, Pontificia Universidad Católica de Chile

Este trabajo expone, de manera sintética, el estado del reúso de aguas residuales tratadas en América Latina y el Caribe, con particular atención a la situación de Chile. Sobre esta base, y considerando la relevancia de un enfoque de economía circular, se identifican los principales desafíos jurídicos, ambientales, financieros, económicos y sociales que deben ser abordados para viabilizar la reutilización de aguas servidas tratadas.

1. Introducción

El volumen de aguas provenientes de fuentes domésticas, industriales y comerciales ha aumentado por el crecimiento poblacional, el auge de la urbanización, y la mejora de las condiciones de vida (Jiménez y Asano, 2008; Thebo *et al.*, 2017). En general, las aguas residuales se han considerado un problema de difícil y costosa solución. Actualmente, los niveles de tratamiento de aguas residuales en el mundo (WWAP, 2017), así como en América Latina y el Caribe (ALC) (Donoso y Sanin, 2020), siguen siendo bajos (Donoso y Sanin, 2020). Así, a nivel global, «más del 80% de las aguas residuales son vertidas al ambiente sin tratamiento alguno» (WWAP, 2017, p. 2).

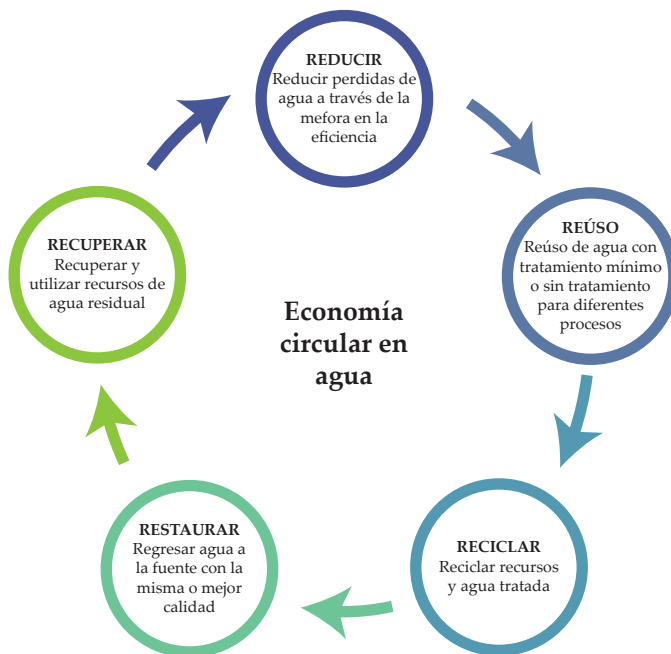
Históricamente, las aguas residuales sin tratamiento se han utilizado para el riego. Se estima que actualmente se riega entre 1.5 y 6.6% de área regada global con aguas residuales no tratadas (Sato *et al.*, 2013), lo que ascendería, aproximadamente, a 300 millones de hectáreas (Jiménez y Asano, 2008). Esta falta de tratamiento constituye un riesgo importante para la salud pública, en el desarrollo socioeconómico, la calidad de las fuentes de agua y el medio ambiente (WWAP, 2017; Blumenthal *et al.*, 2001; Blumenthal y Peasey, 2002; Keraita *et al.*, 2008).

No obstante, las aguas residuales constituyen un componente clave de la gestión del ciclo hidrológico (WWAP, 2017). Por ende, es necesario avanzar en un

modelo de economía circular, en el que se las considere un recurso en lugar de un pasivo, una contribución a la solución de las crisis hídricas en lugar de un problema, ayudando a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Banco Mundial, 2019; Rodríguez *et al.*, 2020). En el marco de la economía circular, las aguas residuales son un recurso abundante y valioso (WWAP, 2017, p. 1). El enfoque de economía circular se resume en la Figura 1, y considera cinco principios:

1. Reducir las pérdidas de agua. En el caso de los operadores sanitarios esto apunta a reducir el agua no facturada.
2. Reutilizar el agua residual tratada. El tratamiento de las aguas residuales debe ser de acuerdo con el uso que se le dará. No es económicamente eficiente tratar el agua para obtener la mejor calidad independiente de su uso. Tratar el agua residual a un nivel de calidad de agua apropiado para el uso que se le dará aumenta las posibilidades de recuperar costos (WWAP, 2017, p. 3).
3. Reciclar el agua en los procesos productivos. Esto es esencial para aumentar la productividad del agua.
4. Restaurar el agua en las fuentes con la calidad necesaria para proteger la salud y los ecosistemas acuáticos.
5. Recuperar aguas para su reutilización.

Figura 1. Economía circular en agua (Rodríguez *et al.*, 2020).



La reutilización de las aguas residuales puede significar una multiplicidad de beneficios siempre que se lleven a cabo medidas de mitigación de riesgos para el medio ambiente y la salud. En el caso de la agricultura, implica una fuente adicional de agua para riego y contiene valiosos nutrientes beneficiosos para la producción agrícola (Mateo-Sagasta, González y Thebo, 2017, p. 14). Más importante aún, como se observa en la Tabla 1, la economía circular presenta importantes ventajas, tales como la generación de ingresos no operacionales y la reducción de los costos en las operaciones de las plantas de tratamiento.

Tabla 1. Beneficios y ahorros de la adopción de un enfoque de economía circular en agua.

	Agua	Energía	Biosólidos y nutrientes
Ingresos	Venta de agua tratada	Venta de biogás o electricidad	Venta de fósforo como fertilizante
		Venta de bonos verdes	Venta de biosólido como fertilizante
Ahorros	Impuesto de descarga contaminantes	Uso de electricidad en la planta	Si los biosólidos se venden o entregan a la agricultura, la operadora se ahorra el costo de transporte y disposición final
		Mejora de la eficiencia energética	

Es importante destacar que el reúso de aguas residuales no es un concepto nuevo; existe desde la Civilización Minoica, hace unos 5000 años (Asano y Levine, 1996). California fue pionera en promover la recuperación y reutilización del agua; sus primeros reglamentos de reutilización fueron promulgados en 1918. La Directiva CE (91/271/CEE) estableció, en 1991, que las aguas residuales tratadas se reutilizarán siempre que su tratamiento minimice los efectos adversos (European Communities Commission, 1991). Israel, por ejemplo, hoy alcanza porcentajes de tratamiento y reúso de sus aguas residuales muy cercanos al 100% de la totalidad generada en sus territorios.

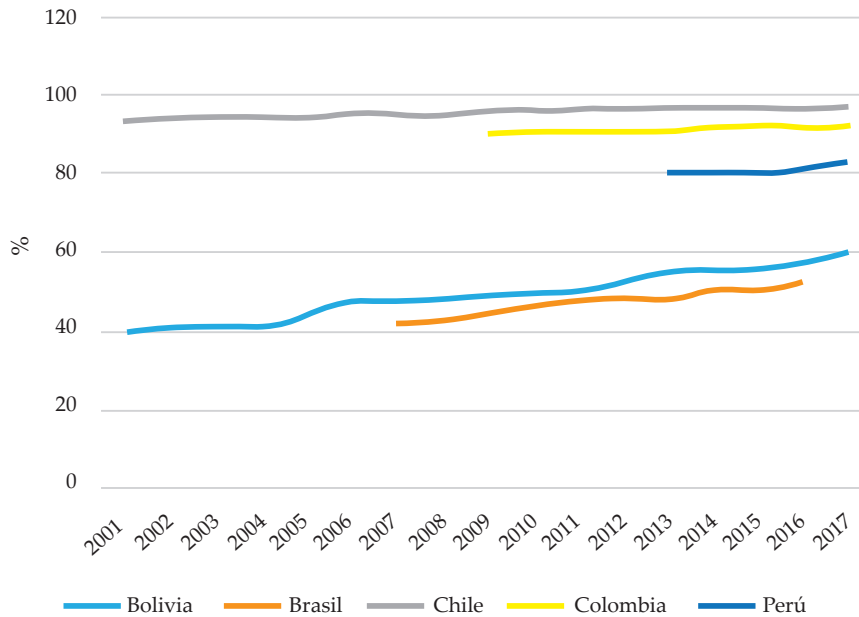
Sin embargo, subsisten aún varios desafíos en los cuales es necesario avanzar para abordar de una manera sostenible este recurso, que sigue siendo desaprovechado en varios puntos del planeta. La reutilización del agua en países desarrollados es principalmente planificada, mientras que en países en desarrollo es más bien no planificada, lo cual conlleva una serie de riesgos e ineficiencias.

2. Situación de las aguas residuales en América Latina y el Caribe

En ALC el volumen de agua de fuentes domésticas, industriales y comerciales asciende a 30 km³. La cobertura de alcantarillado aumentó en 30% durante la última década, pasando del 60% en el 2000 al 80% en 2017 (Donoso y Sanin, 2020). Sin

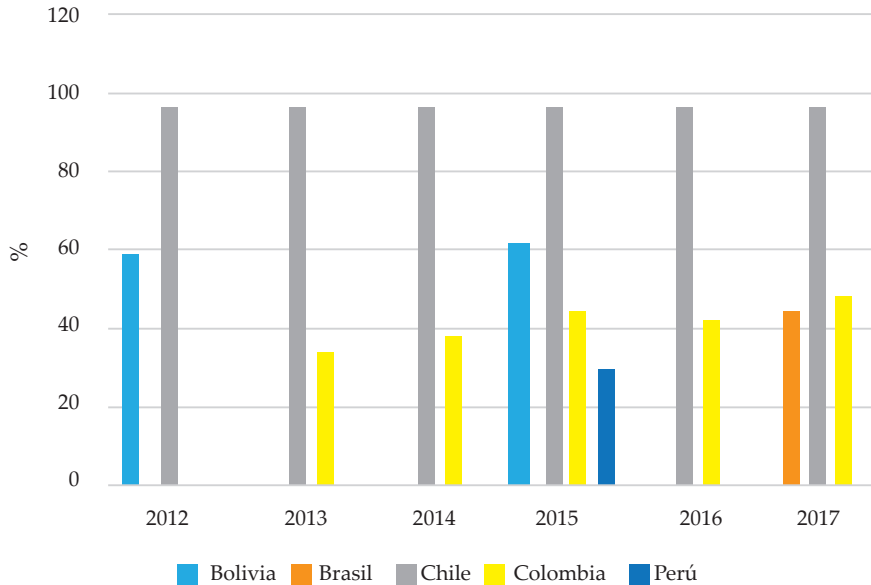
embargo, como se observa en la Figura 2, existen importantes diferencias entre países.

Figura 2: Cobertura de alcantarillado en países de ALC (Donoso y Sanin, 2020).



Por otro lado, «[d]urante décadas, la cobertura del tratamiento de aguas residuales se mantuvo muy baja en América Latina y el Caribe. Casi todas las aguas residuales urbanas, incluidos los desechos industriales, excepto los más tóxicos, se descargaban en las masas de agua más cercanas, sin ningún tratamiento» (FAO, 2017). La cobertura de tratamiento de aguas residuales urbanas se duplicó, alcanzando aproximadamente un 48%. Chile es el país que más ha avanzado en esta materia, con tratamiento prácticamente universal de aguas residuales urbanas, mientras que la mayoría de los demás países tratan menos de la mitad de sus aguas residuales (FAO, 2017) (Figura 3).

Figura 3: Cobertura de tratamiento de aguas servidas (Donoso y Sanin, 2020, p. 26).



Considerando la cobertura de alcantarillado en la región, se trata solo un 35% de las aguas servidas de los sectores urbanos. Así, en ALC, 18 km³ de aguas servidas se vierten sin tratamiento; reducir a la mitad este volumen no tratado al año 2030 requiere de una inversión aproximada de USD 30,000 millones, excepto en Chile y Uruguay (Lentini, 2015).

De acuerdo con la política tarifaria de varios países de ALC, los costos de operación y mantenimiento de los servicios de abastecimiento de agua, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales debieran ser cubiertos por las tarifas de los operadores sanitarios. No obstante, debido a que esto no ocurre en la realidad, la sostenibilidad de la infraestructura actual (sobre todo las plantas de tratamiento de aguas residuales, o PTAR), se encuentra en riesgo debido a la inexistencia de una buena operación y de un mantenimiento preventivo adecuado (Donoso y Sanin, 2020; MVCS y Banco Mundial, 2017). Producto de lo anterior, se ha evidenciado en muchos casos que las PTAR experimentan problemas técnicos y operativos, siendo su desempeño, en general, deficiente (Donoso y Sanin, 2020; MVCS y Banco Mundial, 2017).

Producto del vertimiento de aguas residuales sin tratamiento, el 25% de los cursos de agua en ALC está severamente contaminado. Entre 261,000 y 327,000 km de ríos presentan concentraciones de coliformes fecales superiores a 1000 NMP/100 ml (Mateo-Sagasta, 2017). Ello, por cierto, «con graves consecuencias para el medio ambiente, la salud y bienestar de la población y el desarrollo socioeconómico general de la región, especialmente de la agricultura y el turismo» (FAO, 2017). Asimismo:

Un problema crítico y generalizado es el uso de agua contaminada para el riego cerca de las grandes ciudades (es decir, en la agricultura periurbana), particularmente en las zonas áridas y semiáridas.

Recientes estudios indican que el área de cultivo regada en un radio de 40 km aguas abajo de áreas urbanas en la región es de más de tres millones de hectáreas, la mayor parte de las cuales se riegan desde cauces dependientes de aguas residuales, muchas veces sin tratar. (FAO, 2017).

Por lo anterior, el reúso de aguas residuales tratadas, como una fuente complementaria o alternativa de recursos hídricos, es una materia de interés público, que debe ser parte de la estrategia y planificación hídrica de los diversos países, y realizarse sin peligro para la salud de la población ni menoscabo ambiental. Esto requiere de un marco jurídico regulatorio (políticas públicas, normas, incentivos, y modelo de negocio) que fomente dicho reúso.

3. Estado del reúso de las aguas residuales en Chile

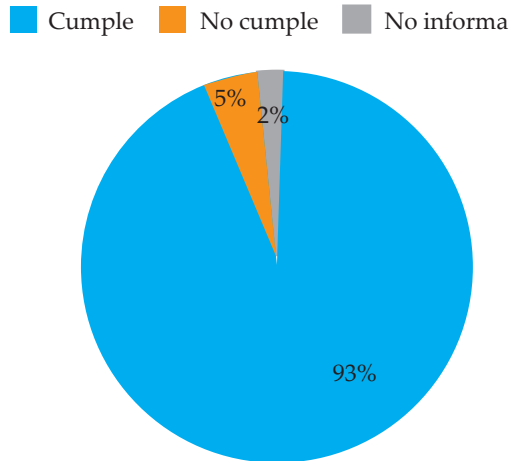
Chile tiene un relevante potencial en este campo, dados sus elevados niveles de cobertura en saneamiento. Actualmente, hay 297 PTAR con diferentes sistemas de tratamiento, que operan sobre cerca de 1284 millones de m³ de aguas servidas al año, lo que corresponde a un caudal medio de 40,7 m³ (SISS, 2018).

La Tabla 2 presenta el destino final de las aguas servidas tratadas en el país. Se evidencia que un 96% de las aguas residuales tratadas se descargan a los cuerpos de agua superficiales, continentales o marinos; un 22% (8,8 m³) de ese caudal se descarga al mar a través de emisarios submarinos, los cuales solo incluyen un tratamiento primario; y solo un 4% del agua tratada se reutiliza directamente y en forma planificada en distintos usos (SISS, 2018).

Tabla 2. Destino de aguas residuales tratadas (Diagua, 2019, p. 51).

Destino final	Porcentaje
Cuerpo superficial continental	76,80
Cuerpos lacustres	0,40
Mar	21,90
Riego	0,70
Otros	0,30

Con el fin de velar por la calidad, las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales deben cumplir con la norma de emisión contenida en el Decreto Supremo 90/2000 (SISS, 2018). La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) es responsable de fiscalizar la calidad del efluente tratado y, en el caso de incumplimientos, está facultada para iniciar procesos sancionatorios. En general, se observa que los efluentes de las PTAR cumplen con las exigencias de las normas de uso (Figura 4).

Figura 4. Grado de cumplimiento de la calidad de aguas vertidas de las PTAR (SISS, 2018).

Sin embargo, la calidad de los efluentes no permitiría el riego con aguas residuales tratadas sin restricciones, al no cumplir con los requerimientos para este uso, contenidos en la norma chilena 1.333, que establece los requisitos de calidad de agua según el destino que se le pretende dar. A su vez, Diagua (2019) señala que la calidad del agua tratada no cumpliría con todos los estándares exigidos para el uso en recreación con o sin contacto, para la protección de la vida acuática y para la recarga de acuíferos. Por ende, hay limitaciones cualitativas para el reúso planificado del agua residual tratada, lo que se suma a una serie de otros desafíos que debe enfrentar el país para promover la implementación de esta fuente alternativa.

Por su parte, la gestión, promoción, evaluación y control de la reutilización de las aguas residuales tratadas han quedado desregulados, sujetos a algunas dispersas reglas que se encuentran en el ordenamiento jurídico general de las aguas terrestres y del sector sanitario o ambiental. Por lo anterior, tal reúso se ha producido, hasta ahora, de un modo más bien informal y sin el sustento de un marco regulatorio institucional y financiero que ordene, propicie y controle esta fuente hídrica complementaria.

4. Desafíos para potenciar el reúso de las aguas residuales tratadas en Chile

4.1. Jurídicos.

La falta de una legislación particular y propia sobre el reúso de aguas residuales es una tónica generalizada en varios países, y Chile no es la excepción a ello. Ahora bien, esa carencia, vacío o insuficiencia normativa no obsta a la existencia de prácticas indirectas, informales o no planificadas de reutilización en este campo.

Ante la exigencia cada vez más imperante de aumentar y diversificar la matriz de oferta hídrica, dada la sequía estructural que afecta a gran parte del territorio nacional, desde hace por lo menos unos diez años, desde diversas ópticas se ha planteado la urgente necesidad de impulsar no solo una legislación especial sobre el reúso de las aguas residuales en el país, sino también políticas públicas que incentiven la implementación planificada de esta fuente alternativa (Vera, 2014; Ballivian, 2018; PPIAF *et al.*, 2019; Ministerio de Obras Públicas, 2020).

Esta tarea no es simple, pues se trata de un tema que ha estado dominado por una discusión incrustada durante un largo período, el cual, aunque alude a un aspecto crucial, es solo una de las múltiples aristas que deben definirse y regularse sobre esta materia. No obstante, el debate ha quedado más bien reducido a esa cuestión. Tal debate pasa por definir a quién corresponde la propiedad y, por ende, el poder de disposición de las aguas servidas tratadas. A ese respecto, han surgido dos posiciones centrales: por un lado, la de las concesionarias o empresas sanitarias, que abogan por su dominio y propiedad de las aguas servidas tratadas mientras estas se encuentren en sus instalaciones, pudiendo, en tanto concurra dicha circunstancia, disponer libremente de tales aguas, respetando las disposiciones legales pertinentes; y, desde otro ángulo, la de los agricultores, quienes sostienen que tales concesionarias deben obligadamente descargar las aguas residuales tratadas al cauce o fuente hídrica correspondiente, al final del proceso sanitario, entre otras razones porque, a su juicio, habría usuarios que tienen derecho a utilizarlas.

Esta enquistada controversia no ha tenido, hasta ahora, una respuesta certera y unívoca del Derecho; a saber:

- i) La legislación (de aguas y sanitaria) solo tiene escuetas referencias sobre este punto (como es la calificación de las aguas servidas tratadas como «derrames» una vez que ellas son descargadas o abandonadas por las concesionarias sanitarias al término del proceso), que han originado variadas interpretaciones, sin disposiciones o reglas explícitas y claras sobre la interrogante antes planteada.
- ii) Los Tribunales Ordinarios de Justicia, por su parte, si bien han tenido que conocer algunos casos conflictivos sobre esta materia, no se han referido al fondo del asunto en sus resoluciones, sino que estas se han centrado en aspectos más formales, manteniendo la zona gris y de incertidumbre que existe en este ámbito.
- iii) El órgano regulador competente, la Superintendencia de Servicios Sanitarios, ha tenido una posición variable en el tiempo: en un primer momento (hasta el año 2011) postulaba en sus actos administrativos que las empresas sanitarias tenían la propiedad y disposición de las aguas servidas tratadas, mientras ellas escurrieran en sus instalaciones; luego, adoptando un cambio de criterio, que quedó plasmado en el Oficio 2725, de 2011, comenzó a sostener su incompetencia para reconocer el dominio sobre las aguas servidas tratadas, acentuando la obligación de las concesionarias sanitarias de

verter las aguas servidas tratadas en los puntos de descarga definidos en su respectivo decreto concesional, asociando tal obligación al pago que los usuarios o clientes hacen para el tratamiento de tales aguas.

Desde otra perspectiva, podemos agregar que, aun cuando es escasa la literatura especializada que se ha pronunciado sobre este tópico, la mayoría de los autores se inclina por reconocer la propiedad y poder de disposición de las aguas servidas tratadas a las empresas sanitarias; solo perderían dicho dominio cuando dichas aguas son descargadas (abandonadas) desde sus instalaciones (que son también de carácter privado) en la fuente o cauce correspondiente; en ese instante pasarían a constituir jurídicamente un «derrame», regulado en los artículos 43 y siguientes del Código de Aguas (Vergara, 1995 y 1996; Aylwin, 1995; Jaeger, 2003; Díaz de Valdés, 2015; Larraín, 2015; Ballivian, 2018). Especificando más ese poder de disposición, se considera que si las concesionarias sanitarias efectúan actos onerosos de disposición de las aguas servidas tratadas para su reúso por parte de terceros (compraventa, por ejemplo, como efectivamente ha ocurrido en Chile, entre empresas sanitarias y compañías mineras), ello constituiría un servicio no regulado o prestación relacionada de las concesionarias sanitarias. Como tal, debe estar expresamente contemplado en la respectiva concesión sanitaria (debiendo modificarse el decreto respectivo si originalmente no estaba incluido), y reflejarse, a título de descuento, en la tarifa aplicada a los usuarios o clientes del servicio de agua potable y saneamiento (Ballivian, 2018).

Respecto a lo anterior, debe constarse que, en un reciente estudio en que la Corporación de Fomento (CORFO) actuó como agente operador intermediario, se postula una idea distinta. En efecto, se afirma que para conferir seguridad jurídica y fomentar el reúso de las aguas residuales tratadas debe impulsarse una modificación legal que las declare como bienes nacionales de uso público. Consecuentemente, las empresas sanitarias no podrán reclamar dominio sobre ellas, debiendo verterlas a la fuente hídrica que corresponda; quienes hoy usan las aguas servidas tratadas que se descargan tampoco podrían reclamar derechos sobre ellas, a menos que se trate de aprovechamientos históricos que defina la Administración (Dirección General de Aguas); y, se sugiere la creación de una figura de concesión de aguas servidas tratadas para su reutilización, otorgada por el Ministerio de Obras Públicas (Diagua, 2019). No obstante requerirse mayores análisis para evaluar esta propuesta, surgen dudas en torno a si efectivamente sus directrices avanzan en el propósito de simplificar este tema y de construir un marco legal que viabilice y promueva el uso eficiente de aguas residuales tratadas. En principio, puede preverse un aumento de la burocracia administrativa (ya bastante crítica en la gestión del agua) y la mantención, e incluso agudización, de la conflictividad que tradicionalmente se ha dado en este contexto.

La planificación, ordenación y promoción sostenible del reúso de aguas residuales tratadas es uno de los principales desafíos en materia de recursos hídricos en Chile (Ministerio de Obras Públicas, 2020). Para contribuir a ello se requiere un marco regulatorio apropiado y que incentive el desarrollo de esta fuente alternati-

va; en su diseño e implementación se debe contemplar una autoridad con capacidad y autonomía técnica y de gestión, y con atribuciones y potestades suficientes; disponibilidad, suficiencia y transparencia de información; un foco flexible, progresivo adaptativo y resiliente, que permita, en base a lecciones y aprendizajes, adoptar los ajustes que se requieran, especialmente ante circunstancias y condiciones cambiantes; y, la inclusión del enfoque de cuenca en la gestión de las aguas residuales tratadas, de manera de posibilitar la generación de ciertos modelos y decisiones a nivel de esferas locales y descentralizadas (WWAP, 2017).

4.2. Ambientales.

La reutilización del agua no tratada presenta riesgos ambientales, tales como la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas y degradación de ecosistemas acuáticos, entre otros. Además, la descarga de aguas no tratadas aporta un alto nivel de nutrientes, provocando eutrofización, un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas. Los lagos en el centro y sur de Chile muestran condiciones mesotróficas y eutróficas con episodios crónicos de floraciones de algas y mortandad de peces debido a la alta afluencia de nutrientes relacionados, principalmente, con la contaminación difusa de la agricultura y las descargas de aguas residuales urbanas sin tratamiento terciario (Vega, Lizama y Pastén, 2018).

El tratamiento de aguas residuales antes de la reutilización permite mitigar los riesgos para el medio ambiente. Sin embargo, las descargas de aguas tratadas no tienen estándares universales en materia de calidad. Hay dos razones que explican esto: se emplea en múltiples usos y ha sido implementada localmente de diferentes maneras, para abordar necesidades específicas que son difíciles de extrapolar a otras condiciones. Esta ausencia de normas de calidad para las descargas de aguas residuales tratadas aumenta la incertidumbre y coarta la inversión en este rubro (WWAP, 2017).

Las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se revisaron en 2006 con el objetivo de armonizar los diferentes enfoques desarrollados. El foco de las legislaciones nacionales ha sido normar la calidad del agua residual, no considerando las condiciones requeridas según su potencial uso. Esto ha llevado, en algunos casos, al establecimiento de regulaciones estrictas para proteger el medio ambiente, que son difíciles de hacer cumplir y de alcanzar por los altos costos de inversión. Países más desarrollados han elaborado estándares conservadores de bajo riesgo, basados en un alto enfoque tecnológico/de alto costo, como los criterios de reciclaje de agua de California; por su lado, en países en desarrollo se constata, más bien, una estrategia de riesgo controlado para la salud, adoptando un enfoque de baja tecnología/bajo costo, según las recomendaciones de la OMS (1989).

La nueva edición de las directrices de la OMS (OMS, 2006) propone otra óptica, basada en evaluación del riesgo según el uso de las aguas residuales tratadas, permitiendo ≤ 103 E. coli/100 ml para riego sin restricciones y ≤ 105 E. coli/100 ml para riego restringido, con barreras adicionales como limpieza de cultivos y desinfección para eliminar bacterias, entre otros.

Las regulaciones y lineamientos deben adaptarse a las necesidades de cada país, fomentando la reutilización y la recuperación de recursos y, a la vez, promoviendo el cumplimiento gradual de estándares para proteger la salud y el ambiente. Esto requiere de la identificación sistemática de todos los potenciales impactos a la salud de los ecosistemas. Además, es prioritario adoptar una gestión de riesgos proactiva, no reaccionando solo cuando los deterioros ambientales se vuelven evidentes. Para ello, es necesario también desarrollar la capacidad institucional requerida para hacer cumplir las prescripciones ambientales, así como los estándares de control de la calidad del agua (Rodríguez *et al.*, 2020).

4.3. Financieros.

Financiar la infraestructura de saneamiento y recuperar sus costos es un desafío. Para viabilizar y aumentar el reúso de las aguas residuales tratadas se deben buscar modelos financieros y comerciales innovadores, que aprovechen las posibles fuentes de ingresos adicionales de la reutilización y recuperación en las plantas de tratamiento de aguas residuales (Rodríguez *et al.*, 2020).

En este punto es importante distinguir entre las calidades de agua necesarias, ya que, dependiendo del uso que se requiera dar, los niveles de tratamiento requeridos serán distintos. Esto es fundamental, pues imponer un nivel alto de tratamiento, que asegure una mayor calidad que aquella requerida para su uso, puede inviabilizar el proyecto, por los excesivos costos de inversión y operación, como se presenta en la Tabla 3 para el caso del regadío agrícola.

Tabla 3. Costos de inversión y operación para distintos tipos de tratamiento.

Uso	Tipo de tratamiento	Costos de inversión (USD/cápita)	Costos de operación (USD/cápita)
Cultivos muy sensibles	Primario: sedimentación, flotación, coagulación-floculación, filtración	55-150	1,2
Cultivos sensibles	Lagunas aireadas	30-50	0,8
Cultivos sin restricciones	Piscinas de estabilización	20-30	0,2

En la práctica se ha comprobado que, al exigir altos niveles de tratamiento, solo los proyectos de reutilización con fines industriales o mineros resultan factibles desde el punto de vista financiero. Por su parte, ciertos proyectos con evaluaciones beneficio-costos socialmente positivos podrían no realizarse por ausencia de financiamiento (MVCS y Banco Mundial, 2017).

4.4. Económicos.

Asociado a la participación del Estado en el reúso de aguas residuales tratadas, surge la necesidad de realizar evaluaciones que garanticen que se trata de proyectos verdaderamente atractivos desde el punto de vista social. Una de las razones de la aparente falta de rentabilidad de los proyectos de reúso tiene que ver con la metodología de evaluación aplicada. Así, una evaluación 100% privada,

donde solo se recogen los costos y beneficios directos del proyecto, generalmente, no resulta rentable. Sin embargo, los proyectos de reúso implican una serie de «beneficios económicos» que son difíciles de evaluar, como son: la reducción de la contaminación de recursos hídricos superficiales, subterráneos o marítimos; la protección de los ecosistemas acuáticos; la liberación de recursos «frescos» o «limpios» para ser utilizados en la producción de agua potable; el incremento de la sustentabilidad de las actividades en que se materialice el reúso, al depender menos de la variabilidad inherente a la hidrología, en el corto y largo plazo.

La dificultad para identificar y cuantificar los beneficios indirectos del proyecto, a veces también referidos como «externalidades positivas», no obsta para que muchas veces estos beneficios indirectos sean tanto o más relevantes que los directos. Esta característica es también propia de otros proyectos de obras públicas, como embalses, conducciones de agua, gas, etc. Al considerar los beneficios indirectos (sociales, ambientales u otros), los proyectos de reúso pueden alcanzar la tan deseada rentabilidad.

Sobre este aspecto, Seguí *et al.* (2014) desarrollan un modelo de evaluación económica de proyectos de reúso que incorpora tanto la evaluación de los costos directos como los indirectos. Por su parte, Hernández *et al.* (2010) muestran la aplicación de un modelo de evaluación económica del reúso en el río Serpis (Comunidad Valenciana, España), basado en el concepto de «precios sombra» de compuestos no deseados como el nitrógeno, fósforo, sólidos suspendidos, DBO y DQO, además de residuos farmacéuticos como diclofenaco, tonalide, galaxolide, sulfametoxazol y etinyl-estradiol. La aplicación del modelo entrega resultados de beneficio/costos favorables para el reúso y estos son coherentes (aunque más favorables) con los obtenidos mediante la metodología alternativa denominada «valoración contingente». En fin, Reznik *et al.* (2017), aplicando una versión israelí del modelo MYWAS (Multi Year Water Allocation System) desarrollado en el MIT, a un período de treinta años, concluyen que el beneficio del reúso del agua se traduce en un incremento de USD 3,3 billones para todo el Estado de Israel, principalmente por la reducción de los costos de la desalinización de agua de mar y salobre; y, si se requiriera desalinizar el agua previamente al reúso, el beneficio se reduce a USD 2,7 billones.

4.5. Sociales.

Otro factor limitante para una mayor reutilización de las aguas residuales tratadas es la aceptación del consumidor y sus percepciones de riesgo, a pesar del aumento de la investigación y evidencia que muestran que tal reúso es seguro. Hay una diferencia entre la percepción de los consumidores sobre la calidad del agua tratada y la realidad (Denantes y Donoso, 2020); en particular, el riesgo de salud percibido parece reflejar creencias ilusorias. Toda la información recibida por los consumidores sobre el agua potable está en interacción y contribuye a construir una visión general de su calidad y del proveedor de agua potable. Una reducción en la diferencia entre percepciones y realidades requiere una comprensión de cómo se forman las primeras y los factores que las afectan. Además, exige analizar

las diferentes formas en que las personas aprenden y consideran un portfollio de mecanismos de transferencia, intercambio de información, visitas de campo y aplicaciones de trazabilidad, entre otras.

En definitiva, aprovechar las oportunidades para la reutilización de las aguas residuales tratadas implica cerrar la brecha entre la percepción pública y la calidad efectiva de tal recurso. Por lo tanto, la sensibilización y educación de la población son herramientas clave para fomentar el reúso sostenible de aguas residuales tratadas (WWAP, 2017).

4. Comentarios finales

Afortunadamente, hay un cambio de paradigma global en materia de aguas residuales: ya no son consideradas como un problema que hay que resolver, sino que como parte de la solución ante las brechas y crisis hídricas que afectan a muchos países (WWAP, 2017). Pero este nuevo paradigma debe ser implementado, materializado en acciones y medidas concretas, para lo cual es esencial tener un modelo regulatorio, institucional y económico/financiero que viabilice al reúso de estas aguas residuales tratadas. Ello debe incluir, particularmente, un ordenamiento jurídico adecuado, pues la regulación es escasa o inexistente en este ámbito; un régimen de financiamiento y recuperación de costos apropiado; un esquema efectivo de información, educación, conciencia pública, participación y aprobación social; y una estructura e institucionalidad que tenga como objetivo nuclear y transversal la minimización de los riesgos para las personas y el medio ambiente.

Asimismo, en la construcción de ese modelo debe tenerse presente que, cuando se experimenta una crisis hídrica estructural, como sucede hoy en Chile, no puede pretenderse que una única medida o acción será la solución o panacea. Ello es particularmente aplicable en lo relativo a las fuentes complementarias de agua; no debe confiarse todo el peso y la carga del sistema a una única alternativa, sino que debe impulsarse una combinación equilibrada y sostenible de varias de ellas, como son el reúso de aguas residuales tratadas, la desalinización, la recarga de acuíferos, entre otras. La búsqueda y definición planificada de esa combinación es un componente fundamental de la clave para superar las brechas y problemáticas de nuestro sistema de aguas.

REFERENCIAS

- Asano, T., y Levine, A. D. (1996). Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future. *Water Science and Technology*, 33, (pp. 10-11). <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=578365be96b7e438a8373c98&assetKey=AS%3A382594530201600%401468229052703>
- Aylwin, T. (1995). Posibilidad jurídica de las empresas de servicios sanitarios de usar, gozar y disponer de las aguas servidas evacuadas en sus redes de alcantarillado. *Revista de Derecho de Aguas*, VI, (pp. 161-166).
- Ballivian, P. (2018). Reúso de aguas servidas tratadas: desafíos en la regulación para un uso eficiente del recurso hídrico. *Revista de Derecho Aplicado LLM UC*, 2, doi: io.7764/rda.o.2.123
- Banco Mundial (2019). *Efficient and Effective Management of Water Resource Recovery Facilities*. www.worldbank.org
- Blumenthal, U. J., Cifuentes, E., Bennett, S., Quigley, M., y Ruiz-Palacios, G. (2001). The risk of enteric infections associated with wastewater reuse: the effect of season and degree of storage of wastewater. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 95 (1), (pp. 131-137).
- Blumenthal, U. J., y Peasey, A. (2002). *Critical review of epidemiological evidence of the health effects of wastewater and excreta use in agriculture*. <https://pdfs.semanticscholar.org/dcbd/9e4536a1f9aac5fc622585ce8a82661c3e6d.pdf>
- Denantes, J., y Donoso, G. (2020). *Evaluation of the factors influencing public perception of the quality of water and of the service provided by water supply and sanitation operators in Chile*. Working Paper Department of Agricultural Economics, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Diagua (2019). *Desarrollo de un modelo regulatorio-institucional-financiero que viabilice el reúso de las aguas residuales en Chile*. [http://repositoriodigital.corfo.cl/bitstream/handle/11373/10239/4.2 Propuesta de Marco Regulatorio para Reúso de AST rev0.pdf?sequence=56&isAllowed=y](http://repositoriodigital.corfo.cl/bitstream/handle/11373/10239/4.2%20Propuesta%20de%20Marco%20Regulatorio%20para%20Re%C3%9As%20de%20AST%20rev0.pdf?sequence=56&isAllowed=y)
- Díaz de Valdés, J. P. (2015). Aguas servidas. Análisis jurídico de su dominio y uso. *Actas de Derecho de Aguas*, 5, (pp. 51-66).
- Donoso, G., y Sanin, M. E. (2020). Análisis crítico de las políticas aplicadas en Latinoamérica en el sector agua y saneamiento. *Análisis crítico de las*

- políticas aplicadas en Latinoamérica en el sector agua y saneamiento.* <https://doi.org/10.18235/0002263>
- European Communities Commission (1991). *Council Directive regarding the treatment of urban wastewater (91/271/EEC).* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31991L0271>
- FAO (2017). Reutilización de aguas residuales urbanas puede favorecer a la agricultura y disminuir presión sobre los recursos naturales. <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/853862/>
- Hernández, F., Molinos, M., y Sala Garrido, R. (2010). Estudio de viabilidad económica para el tratamiento de aguas residuales a través de un análisis coste beneficio. *Rect@: Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, 11, (pp. 1-25).
- Jaeger, P. (2003). Naturaleza jurídica y propiedad sobre las aguas servidas, tratadas o no, que se viertan en los cauces naturales. *Revista de Derecho Administrativo Económico*, 2, (pp. 465-472).
- Jiménez, B., y Asano, T. (2008). Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs. En B. Jiménez y T. Asano (Eds.), *Scientific and Technical Report N.º 20*. IWA Publishing.
- Keraita, B., Jiménez, B., y Dreschel, P. (2008). Extent and implications of agricultural reuse of untreated, partly treated and diluted wastewater in developing countries Water reuse for agricultural irrigation View project Sustainable Sanitation (SUSA) Ghana View project. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 3 (58). <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20083058>
- Larraín, C. (2015). 25 años de la legislación sanitaria. *Actas de Derecho de Aguas*, (5), (pp. 113-133).
- Lentini, E. (2015). *El futuro de los servicios de agua y saneamiento en América Latina: Desafíos de los operadores de áreas urbanas de más de 300.000 habitantes*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15452/el-futuro-de-los-servicios-de-agua-y-saneamiento-en-america-latina-desafios-de>
- Mateo-Sagasta, J. (2017). *Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe Estado, principios y necesidades*. www.fao.org/publications
- Mateo-Sagasta, J., González, G. y Thebo, A. (2017). Producción, tratamiento y reutilización de aguas residuales municipales en América Latina y El

- Caribe. En J. Mateo-Sagasta, *Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe Estado, principios y necesidades*, (pp. 9-20).
- Ministerio de Obras Públicas (2020). *Mesa Nacional del Agua. Primer informe*. Santiago, MOP, 15 pp.
- MVCS y Banco Mundial (2017). *Tratamiento y reúso de las aguas residuales: Perú, ¿Un reflejo de la región?* 24. <http://pubdocs.worldbank.org/en/150461494428481264/Booklet-Conferencia-FINAL.pdf>
- OMS (1989). *Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture*.
- OMS (2006). *Guidelines for the Safe use of Wastewater, Excreta and Greywater in Agriculture and Aquaculture*, Vol. 1, 2, y 3.
- PPIAF, Global Water Security y Sanitation Partnership y World Bank Group (2019). *Wastewater: from waste to resource. The case of Santiago, Chile*.
- Reznik, A., Feinerman, E., Finkelshtain, I., Fisher, F., Huber-Lee, A., Joyce, B. and Kan, I. (2017). Economic implications of agricultural reuse of treated wastewater in Israel: A statewide long-term perspective. *Ecological Economics*, 135, (pp. 222-233).
- Rodríguez, D. J., Serrano, H. A., Delgado, A., Nolasco, D., y Saltiel, G. (2020). *De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe*.
- Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T., y Zahoor, A. (2013). Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, 130, (pp. 1-13). <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2013.08.007>
- Seguí-Amórtegui, L., Alfranca-Burriel, O. y Moeller-Chávez, G. (2014). Metodología para el análisis técnico-económico de los sistemas de regeneración y reutilización de las aguas residuales. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5 (2), (pp. 55-70).
- SISS (2018). *Informe de gestión del sector sanitario*. http://www.siss.gob.cl/586/articles-17722_recurso_1.pdf
- Thebo, A. L., Drechsel, P., Lambin, E. F., y Nelson, K. L. (2017). A global, spatially-explicit assessment of irrigated croplands influenced by urban wastewater flows. *Environmental Research Letters*, 12 (7). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa75d1>
- Vega, A. S., Lizama, K., y Pastén, P. A. (2018). Water quality: Trends and challenges. En G. Donoso, (Ed.) *Water policy in Chile* (pp. 25-51). Springer, Cham.

- Vera, I. (2014). Reúso de aguas residuales: principios y alcances en Chile. *Seminario internacional Alternativas hídricas para la macrozona norte*. Iquique, Centro de Investigación y Desarrollo de Recursos Hídricos, Universidad Arturo Prat.
- Vergara, A. (1995). Constitución de derechos de aprovechamiento de aguas sobre derrames. El caso de las aguas depositadas por un concesionario sanitario. *Revista de Derecho de Aguas*, (pp. 129-142).
- Vergara, A. (1996). ¿De quién son las aguas que escurren por las instalaciones sanitarias? *Revista del Abogado*, 7, (pp. 36-39).
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas) (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2017. Aguas residuales: el recurso desaprovechado*. UNESCO.