



Para citar este artículo: Pucar Aedo, F. G. & Real Ferrer, G. (2022). Reutilización de aguas en España y el Perú: avances y desafíos. *Sostenibilidad: económica, social y ambiental*, 4, 75-100. <https://doi.org/10.14198/Sostenibilidad2022.4.05>

Reutilización de aguas en España y el Perú: avances y desafíos

Reuse of wastewater in Spain and Peru: advances and challenges

Flor Gianina Pucar Aedo

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú

florgianina19@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7599-3308>

Gabriel Real Ferrer

Universidad de Alicante, España

gabriel.real@ua.es

<https://orcid.org/0000-0002-6993-3373>

RESUMEN

La presente investigación tiene como objeto abordar la situación actual del tratamiento y reutilización de los recursos hídricos, tanto en España como el Perú. Así, se analizan los aspectos legales y factores sociales, económicos y ambientales que determinan o limitan su avance en ambos países. Considerando, además, los impactos ocasionados por la pandemia, causada por la COVID-19, lo cual exige que los Estados deban garantizar el derecho al acceso de agua segura en cantidad y calidad adecuadas. Por ello, España y el Perú procuran establecer medidas de depuración y reutilización de aguas residuales, para dar atención a la creciente demanda hídrica. Por lo que refiere a España, recientemente, la Unión Europea ha establecido una legislación específica que potencia el uso seguro del agua regenerada en el sector agrícola, en el marco de la economía circular. Por su parte, en el Perú la depuración de aguas residuales y su consecuente reutilización constituyen grandes retos en la agenda política, pues la infraestructura actual de la que dispone el sector saneamiento no es suficiente.

Palabras clave: reutilización; tratamiento; depuración; aguas residuales; COVID-19; economía circular.



ABSTRACT

The present research aims to address the current situation of the treatment and reuse of water resources, both in Spain and Peru. Thus, the legal aspects and social, economic and environmental factors that determine or limit its progress in both countries are analyzed. Considering, in addition, the impacts caused by the pandemic, caused by COVID-19, which requires that States must guarantee the right to access safe water in adequate quantity and quality. For this reason, Spain and Peru are trying to establish measures for the purification and reuse of wastewater, to pay attention to the growing demand for water. With regard to Spain, recently, the European Union has established specific legislation that promotes the safe use of reclaimed water in the agricultural sector, within the framework of the circular economy. For its part, in Peru, wastewater treatment and its consequent reuse constitute great challenges on the political agenda, since the current infrastructure available to the sanitation sector is not enough.

Keywords: reuse; treatment; purification; wastewater; COVID-19; circular economy.

1. Introducción

La situación de escasez de agua y deterioro de su calidad es un problema que afecta, tanto a España como al Perú. De hecho, el cambio climático, las variaciones meteorológicas y las continuas sequías acentúan una mayor presión sobre la disponibilidad de agua dulce. Así, el constante desarrollo urbano y agrícola requiere una mayor oferta hídrica. A ello se suman los impactos causados por la pandemia de la COVID-19, la cual requiere la atención inmediata de los Estados, a fin de establecer las disposiciones de prevención y mitigación de este padecimiento. No obstante, dicha injerencia debe, por supuesto, considerar la distribución y la utilización responsable del agua, pues se trata de un recurso eficaz y estratégico para, no solo evitar mayores contagios de la referida enfermedad, sino también, combatir contra otras afecciones. Como bien refiere la Organización Mundial de la Salud (en adelante, OMS), para frenar todo tipo de enfermedades, es de vital importancia garantizar el acceso al agua salubre y a instalaciones sanitarias adecuadas para todos.

En ese sentido, la preocupación ambiental está latente en la Unión Europea (en adelante, UE), pues su afán de gestionar de manera adecuada el entorno ambiental, especialmente el recurso agua, es una prioridad a nivel de todos los países europeos, más aún cuando se trata de países que padecen de escasez hídrica, como es el caso de España.

En efecto, la escasez de agua es un problema común en la región mediterránea, que dispone de precipitaciones variadas, en ocasiones por debajo los 400 hm al año en las partes del sur de España, Italia, Grecia, Malta e Israel. Otras veces, la situación hídrica puede llegar a un nivel de escasez de agua crónico de 1 000 m³ por habitante al año. Asimismo, las grandes distancias entre los recursos hídricos y los usuarios también producen déficits hídricos graves a nivel regional y local. Esta coyuntura se ve exacerbada con el crecimiento demográfico, las sequías constantes y los posibles efectos relacionados con el cambio climático (Mateo-Sagasta, 2017).

Más aún, cuando se atraviesa por una pandemia sanitaria, como es la COVID-19, el mismo que fue notificado por primera vez en Wuhan (China) el 31.12.2019 (OMS, 2020). A partir de entonces, se observa una crisis de salud mundial, que ha pasado a ser un tema prioritario en las agendas sanitarias de los Estados miembros y otros países. Lo que implica, que la

gestión hídrica deberá enfrentar serios desafíos, ya que el acceso al agua es una condición *sine qua non* para evitar la propagación del referido virus.

Ante tal escenario, es pertinente que el objetivo de los países sea lidiar contra la transmisión del SARS-CoV-2 y, en ese camino incierto, es razonable que la toma de decisiones se ajuste a garantizar la seguridad sanitaria de sus poblaciones. Tales son los casos español y peruano. No obstante, no se deben perder de vista los aspectos ambientales, debido a que la actual pandemia ha ocasionado severos impactos en los recursos hídricos, tanto en el consumo del agua, pues, la OMS recomienda, entre otras, lavarse las manos a fondo y con frecuencia, como en la generación de aguas residuales, principalmente, de origen doméstico (OMS, 2020).

Al respecto, una reciente publicación de la Universidad de Mánchester (Inglaterra), señala que, ante el objetivo prioritario de bloquear el coronavirus SARS-CoV-2 por parte de la población inglesa y galesa, se han evidenciado cambios en la demanda del consumo del agua. Es decir, a un inicio de la pandemia, estas poblaciones adoptaron prácticas de uso intensivo de agua, para una higiene personal más constante, lavado de alimentos, limpieza más frecuente de ropa, etc. Todo ello con la finalidad de protegerse de la infección de la COVID-19; aunque, con el transcurrir de los meses, dicho consumo ha ido disminuyendo, toda vez que las personas se están acostumbrado a vivir con el referido virus (Alda, 2020).

Así, la citada investigación resalta los diversos valores que tiene el agua para las personas durante un evento de crisis, como lo es la presente pandemia, desde brindar salud pública hasta cooperar con el bienestar mental, ya que ello implica no solo evitar el contagio, sino también interiorizar ciertos patrones de conducta, como el acto de permanecer más tiempo en casa. En tal contexto, se precisa la importancia de reconocer y comprender estas dinámicas en la planificación hídrica, pues los gobiernos deben pensar en un futuro hídrico más sostenible (Alda, 2020).

En definitiva, una labor urgente de los países debe ser garantizar el acceso al agua segura, a fin de que su uso actúe como bloqueo del nuevo coronavirus; del mismo modo, deben asegurar el aumento progresivo de la oferta y disponibilidad hídrica, pues se observa una creciente demanda de los recursos hídricos, que son cada vez más insuficientes.

Sentado lo anterior, cabe destacar que, ante la escasez de agua, tanto España como el Perú, deben plantearse escenarios en los cuales se realiza una gestión adecuada del agua y se alcanza una eficiencia hídrica. Lo que, sin duda, representa grandes inversiones y altos costes económicos (Mateo-Sagasta, 2017), los mismos que tienen que ser considerados al momento de realizar una planificación hídrica.

Por tanto, el objetivo de este análisis es resaltar la problemática del déficit hídrico e incidir en el desarrollo de una economía circular en la gestión del agua. Pues, se sabe que el tratamiento y la reutilización ¹de aguas residuales conllevan la protección de los recursos hídricos en general, así como el incremento de fuentes alternativas de agua. Así, el presente trabajo se ha dividido en secciones. Por una parte, se analiza la normativa de alcance europeo, haciendo

¹ El término reutilización es utilizado en la legislación española, proveniente del verbo reutilizar, el cual significa, según el diccionario de la Lengua Española, “Volver a utilizar algo, bien con la función que desempeñaba anteriormente o con otros fines”. En tanto, la legislación peruana acoge el término reúso, que se origina a partir del prefijo “re” y el verbo “usar”, que literalmente significa “volver a usar”; asimismo, el referido verbo es utilizado como sinónimo de la acción de reciclar que, según el diccionario de la Lengua Española, significa en su primera acepción “someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar”.

énfasis en el español, que regula el régimen jurídico del tratamiento y la reutilización de aguas residuales, considerando las últimas disposiciones legales, de igual forma, los factores sociales, económicos y ambientales que involucran la gestión de sus recursos hídricos y, finalmente, los retos que se avizoran en dicha materia, a nivel comunitario y nacional. Por otra, se estudia la reutilización de aguas residuales en el Perú, analizando su marco normativo y revelando sus avances y desafíos.

2. Metodología

El nivel de actualización del presente artículo, se determinó atendiendo a las bibliografías consultadas, las cuales se encuentran en los últimos 10 años de publicación. Periodo de revisión 2011 – 2021. No obstante, es posible considerar algunas publicaciones con anterioridad a los 10 años, debido a que presentan sustentos teóricos relevantes.

3. Marco normativo del tratamiento y reutilización de aguas residuales en Europa

Pues bien, a nivel comunitario, la Directiva 91/271/CEE del Consejo de la Comunidad Económica Europea (en adelante, CEE) de 1991, con la finalidad de proteger el ambiente de los efectos adversos de los vertidos de las aguas residuales, dispuso una serie de medidas para contrarrestar tales impactos. Siendo una de ellas la recolección y tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Ahora bien, sólo algunos países europeos son los que cuentan con normas o reglamentaciones acerca de la regeneración de las aguas residuales y su reutilización, pese a que la precitada Directiva señala, en su artículo 12º, que “las aguas residuales tratadas deberán reutilizarse cuando sea adecuado”. Aunque el término adecuado se torna relativo y no se encuentra definido legalmente. No obstante, para ello es necesario que los países de la UE desarrollen sus propias reglamentaciones nacionales, a fin de considerar la reutilización como una fuente segura de agua adicional. Tal como se establece en la Directiva 2000/60/CE, Directiva Marco sobre las Aguas (en adelante, DMA), la reutilización es una alternativa que implica la integración de normas sanitarias, ambientales, infraestructura y suministro de servicios y reglamentación financiera para el ciclo del agua, con el objetivo de alcanzar una eficiencia global y la protección del ciclo del agua; es decir, la propuesta dada por la DMA es el fomento de las diversas opciones de reutilización del agua, previo un sistema integrado de suministro y vertido del agua de diferentes formas (Mateo-Sagasta, 2017).

En consecuencia, la Directiva 91/271/CEE, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, fue la primera disposición normativa del Derecho Comunitario; no obstante, anteriormente, se habían emitido otras normas que repercutieron de forma indirecta sobre esta materia, cuya finalidad es la regulación del saneamiento de las aguas residuales urbanas, pues define los sistemas de colectores para la recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas, obligando así a los Estados miembros a adoptar las medidas necesarias para asegurar que dichas aguas sean depuradas de manera adecuada antes de su disposición final (Pérez et al., 2014).

Esta Directiva define tres diferentes tipos de aguas residuales. La primera, las aguas residuales domésticas son las generadas por el metabolismo humano en las viviendas y actividades domésticas. La segunda, las aguas residuales industriales, entendidas como todas las vertidas

desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial que no sean domésticas ni de escorrentía pluvial. Y, finalmente, las aguas residuales urbanas, que son las aguas domésticas o su mezcla con las provenientes de actividades industriales y/o aguas de correntía pluvial (Pérez et al., 2014).

De otra parte, como se ha comentado con anterioridad, se ha hecho evidente la intención de la Comunidad Europea de prevenir y luchar contra la contaminación de las aguas, a partir de la primera Directiva 75/440/CEE en 1975, hasta la DMA, cuya finalidad es conservar el buen estado de las aguas para los diferentes usos, además, esta última incorpora el principio de la demarcación hidrográfica para optimizar esa gestión. Asimismo, la Directiva 91/271/CEE para el tratamiento de las aguas residuales, menciona por primera vez la reutilización, sus requisitos específicos para ser vertidas, la vigilancia de los Estados miembros y los resultados de la Comisión; de igual forma, está presente la Directiva 86/278/CEE para el uso de los lodos de las depuradoras (Fernandes, 2011).

En suma, desde hace décadas, la UE pone de manifiesto el interés en la protección de la calidad de las aguas residuales, considerando incluso a España como uno de sus países miembros propulsor de la normativa hídrica; por lo que la legislación comunitaria, en su planificación hidrológica, incorporando la reutilización para distintos usos, tuvo como norma inspiradora la Ley de Aguas de 1985, pasando por su Texto Refundido de 2001 (Fernandes, 2011).

Entonces, surgen las Directivas 91/271/CEE y 98/15/CE, que modifica la anterior, en lo relativo a las especificaciones del cuadro 2 del Anexo I, que son transpuestas al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto (en adelante, RD) Ley 11/1995, desarrollado por el RD 927/1988, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y Planificación Hidrológica; el RD 2116/98, por el que se modifica el RD 509/96, de desarrollo del RD Ley 11/95, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Todas estas disposiciones establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, cuyo contenido no estaba incluido en el Título V de la Ley de Aguas, ni en el Título III de la Ley 22/1988, Ley de Costas; así, incorporan al ordenamiento jurídico nacional, lo establecido por la Directiva 91/271/CEE, respecto al tratamiento de las aguas residuales urbanas; imponiendo a determinadas aglomeraciones urbanas la obligación de disponer de sistemas colectores para la recogida y conducción de aguas residuales, y de aplicar a éstas, distintos tratamientos antes de su vertido a las aguas continentales o marítimas, según lo establecido en el artículo 92° de la Ley 29/1985. Para efectos de tales vertidos es necesario tener en cuenta si se trata de zonas sensibles o zonas menos sensibles, lo que determinará un tratamiento más o menos riguroso. Del mismo modo, se fijan los requisitos técnicos que deberán cumplir los sistemas colectores y las instalaciones de tratamiento de las aguas residuales, así como los requisitos de los vertidos procedentes de instalaciones secundarias o de aquellos que vayan a realizarse en zonas sensibles y se regula el tratamiento previo de los vertidos de las aguas residuales industriales cuando éstos se realicen a sistemas colectores o a instalaciones de depuración² de aguas residuales urbanas, de acuerdo con el Texto

² El término en español depuración se refiere a un servicio relacionado con el agua y el saneamiento que, según el Diccionario Panhispánico del Español Jurídico, se trata de la “acción y efecto de depurar las aguas residuales mediante el tratamiento que sea preciso para devolverlas en las mejores condiciones posibles a cauce público”, utilizando para ello las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR). En tanto, en el Perú, para los fines del sector saneamiento se utiliza el término tratamiento, refiriéndose al proceso con operaciones de distintos tipos, sean estos físicos, químicos, o biológicos, cuyo objetivo es la eliminación y/o reducción de la

Consolidado, última actualización publicada el 12.09.2015 BOE, sobre las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

De otra parte, es oportuno mencionar que el canon por el saneamiento, cuyo origen se encuentra en la DMA, del Parlamento Europeo y el Consejo, consiste en un impuesto indirecto y propio que grava la producción de aguas residuales generadas por el metabolismo humano, la actividad doméstica, pecuaria, comercial o industrial, que realicen su vertido final a una red de saneamiento municipal, conforme se establece en el artículo 6° de la Ley Orgánica 8/1980. A través de este tributo las comunidades autónomas (en adelante, CCAA) financian las actividades de prevención de la contaminación, saneamiento, explotación y conservación de las infraestructuras de depuración de aguas residuales. En consecuencia, se trata de un tributo ecológico de carácter finalista que responde a los principios de “recuperación de costes” y de “quien contamina paga”. Tiene como objetivo mejorar el nivel de preservación del medio, y su tarifación depende de los usos: “en el caso del doméstico se divide en tramos de población a los que corresponde una cuota de consumo y otra cuota de servicio; y en el caso del uso industrial existe una cuota de servicio y otra de servicio que varía en función del calibre del contador” (Rico et al., 2016).

Así las cosas, sin duda, el saneamiento y depuración de las aguas residuales urbanas son una necesidad a nivel regional, nacional y global, toda vez que, luego de ser utilizada el agua en usos domésticos e industriales, su calidad se ve alterada y modificada, impidiendo su vertido en esas condiciones a los cuerpos receptores de agua. Por ello es imprescindible que dichas aguas sean sometidas a los procesos tratamiento y depuración, además de constituir una exigencia legal, los cuales permiten obtener una calidad adecuada para su disposición final.

3.1. Gestión de aguas residuales

Como bien afirma Ángel Ruiz (2001), resulta ser un desafío actual el deficiente saneamiento y depuración de las aguas residuales, pues ello va en perjuicio de la conservación de la calidad de las aguas y la protección del dominio público hidráulico; aunque, en el pasado, desde el siglo XIX, también hubo una importante preocupación por gestionar adecuadamente las aguas residuales, pero su motivación se centraba en cuestiones higiénico-sanitarios, con la finalidad de alejar cualquier fuente de enfermedades o focos infecciosos. Así, la inquietud y atención por la depuración fue posterior.

Por lo que se refiere a la gestión de aguas residuales ante dichos focos, cabe traer a colación los últimos estudios sobre el rol protagónico de las referidas aguas, en la detección temprana del SARS-CoV-2. Estas investigaciones realizadas desde hace un tiempo en Holanda, España, China, entre otros países, muestran cómo se puede anticipar, a través de una muestra representativa tomada de las redes de aguas residuales, casos de contagio de este virus y otros, en una determinada población, hasta dos semanas antes de su detección clínica. Lo cual permite tomar medidas oportunas para evitar su propagación a una población más numerosa (Red Iberoamericana para el Estudio y la Gestión Sostenible del Agua y el Saneamiento – también denominada Red Aguas–, 2020).

contaminación o de las características no deseables de las aguas. Es así que la legislación peruana considera a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) como infraestructura indispensable que permitan la depuración de las mismas.

De hecho, uno de los primeros países en realizar y aplicar tales estudios ha sido Holanda (Medema et al., 2020), que monitorea sus aguas residuales en busca de vectores de enfermedades desde hace más de 10 años, y a partir del año pasado monitorea específicamente el virus SARS-CoV-2. Otros países han comenzado el monitoreo temprano del referido virus en aguas residuales, entre los que se encuentra España, con resultados importantes para el control de la COVID-19. Respecto a las redes de investigación que se enfocan en el estudio del agua, la Red Iberoamericana para el Estudio y la Gestión Sostenible del Agua y el Saneamiento, viene estableciendo propuestas para los países integrantes de la misma, con el fin de desarrollar protocolos de monitoreo del SARS-CoV-2 en aguas residuales, pues, considera que el establecimiento de un conjunto de procedimiento e instrumentos, denominado Sistema de Alerta Temprana (SAT) base, contribuirá con los países iberoamericanos y otros interesados, en la anticipación de la ocurrencia de un brote o rebrote de la COVID-19 (Red Aguas, 2020).

Así, el Estado Español viene desarrollando el proyecto de “Vigilancia microbiológica en aguas residuales y aguas de baño como indicador epidemiológico para un sistema de alerta temprana para la detección precoz de SARS-CoV-2 en España”; pues, considera que debido a ello es posible detectar la circulación del referido virus en la población (Gobierno de España, 2021).

Como bien indican Warish Ahmed y otros investigadores australianos, según el estudio de prueba de concepto, se ha demostrado que el ARN del SARS-CoV-2 se puede detectar en aguas residuales no tratadas en Australia, esto es, los datos iniciales señalan que el monitoreo de aguas residuales tiene un gran potencial para proporcionar señales de advertencia tempranas sobre la circulación del SARS-CoV-2 en una comunidad, especialmente en aquellas personas que presentan síntomas leves o son asintomáticos (Warish et al., 2020). En tal contexto, se trata de anticipar la aparición de nuevos casos de contagios de la COVID-19, a través del rastreo del ARN (Ácido Ribonucleico) del virus SARS-CoV-2 en las aguas residuales. Sin embargo, también precisan que es complicado detectar el número de individuos infectados en una zona, debido a la limitación de información respecto a las tasas de excreción humana. Por tanto, sugieren mejorar los aspectos metodológicos en la recolección del virus de las aguas residuales, a fin de realizar muestreos representativos.

En consecuencia, ante la actual situación sanitaria mundial, se pone de manifiesto la importancia de la epidemiología de las aguas residuales, las misma que es conceptualizada como el estudio de compuestos que la población ha excretado, determinando su distribución y frecuencia (Bijlsma, 2015). En ese sentido, un aspecto fundamental para ello, son la red de alcantarillado y las depuradoras de aguas residuales, pues, el sistema de saneamiento resulta ser la infraestructura base que permite obtener el muestreo, para su análisis y demás estudios concernientes a la detección del SARS-CoV-2 y otros virus que pudieran surgir (Santos, 2020).

3.1.1. Tratamiento de aguas residuales en España

Respecto a las aguas residuales urbanas, la vigente legislación española de régimen local sitúa el saneamiento en el campo de las competencias de la Administración Local. Los diversos municipios son los responsables del establecimiento de los sistemas colectores o de alcantarillado que recojan las aguas residuales, así como las instalaciones necesarias para su depuración antes de ser vertidas, tal como se precisa en el artículo 26° de la Ley de Bases de

Régimen Local. Lo cierto es que el servicio público de alcantarillado es un servicio de prestación obligatoria por todos los municipios (Ruiz de Apocada, 2001). No obstante, en la *praxis*, estas competencias no necesariamente se ejercen por el conjunto de municipios, recayendo tal responsabilidad entre los distintos niveles administrativos, principalmente, con la Administración Autónoma.

El ordenamiento jurídico español en materia de aguas, está conformado por el texto refundido de la Ley de Aguas, el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminares I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985 y el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación. Ahora bien, dicho marco normativo establece, en principio, la prohibición con carácter general del vertido directo o indirecto de aguas y productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o cualquier otro elemento del Dominio Público Hidráulico, salvo se disponga de una autorización expedida por autoridad competente. Además, precisa que las autorizaciones de vertidos determinarán los límites de la composición del afluente, tanto cualitativos como cuantitativos, que podrán superar los valores legalmente establecidos. En este contexto, la autorización administrativa del vertido supone la protección de las aguas continentales o cualquier otro elemento de dominio público hidráulico. Como señala Martín Mateo, quedan prohibidos los vertidos nocivos, aunque su autorización se encuentra condicionada a no superar los límites determinados o a la previa depuración de las aguas devueltas al cauce (Martín, 1985).

Así, la conservación del medio hídrico constituye un mandato legal imperativo y la base de una economía sostenible. Es un hecho que, a raíz de una fuerte demanda hídrica se pone en riesgo el ambiente; el deterioro de las fuentes naturales de agua es una consecuencia de la contaminación urbana, industrial y agrícola, la cual afecta el desarrollo económico, limitando sus potenciales usos, sea para el abastecimiento público o actividades recreativas (Trapote, 2013).

Respecto al concepto de contaminación, en el artículo 93° del TRLA se define como “la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica”.

En efecto, un cuerpo de agua se considera contaminado cuando la composición o el estado de sus aguas han sido directa o indirectamente modificados o alterado por diversas actividades humanas, es decir, como consecuencia de las aguas residuales municipales no tratadas o tratadas parcialmente, vertidos industriales o de origen agropecuario, contaminación difusa (escorrentías, aguas de tormentas, transporte por vía atmosférica, etc.) (Trapote, 2013).

Ante tal escenario, resulta insoslayable el desarrollo del conjunto de operaciones encaminadas a eliminar o reducir los agentes contaminantes presentes en el agua residual (Trapote, 2013). Y es que, a niveles altos de contaminantes incorporados en los cuerpos de agua, no es factible su autodepuración o capacidad de resiliencia. Siendo necesario para ello la intervención antrópica mediante el uso de la tecnología.

En tal contexto, el tratamiento de las aguas residuales en España abarca los tratamientos primario, secundario y terciario. El primero consiste en que los sólidos de gran volumen son separados mediante barreras físicas, permitiendo que las partículas de menor tamaño puedan sedimentar. En tanto, el segundo se refiere a una combinación de procesos biológicos, que

promueven la biodegradación de la materia orgánica por los microorganismos. Estos tratamientos incluyen las lagunas de estabilización, los filtros percoladores y los procesos de lodos activados, en base al Sistema Español de Inventario de Emisiones. Por último, el tercero posibilita la reutilización del agua, debido a que se trata de un proceso de depuración avanzado para mejorar la calidad del efluente, con la intención de darle un uso posterior. Actualmente, en el país, predominan los tratamientos terciarios para los usos agrícolas y ambientales, los cuales se refieren a las líneas de tratamiento físico-químico, seguida de una filtración con arena, así como un tratamiento de desinfección por radiación ultravioleta con dosificación de hipoclorito sódico; de igual manera, la ultrafiltración para garantizar menores niveles de turbidez. Cuando se trate de aguas salobres, se incorpora un proceso de filtración por membranas que puede ser de ósmosis inversa o electrodiálisis reversible (Asociación Española de Desalación y Reutilización, AEDyR, 2019a).

En cuanto a los lodos o fangos procedentes de la actividad de depuración de las aguas residuales, éstos se producen en las etapas primaria y secundaria. El lodo del tratamiento primario está compuesto por los sólidos separados de la línea de aguas. Mientras que el lodo generado en el tratamiento secundario es el resultado de un crecimiento biológico de los microorganismos, así como de la agregación de pequeñas partículas. Luego de dichos procesos, ambos lodos deben ser tratados para ser depositados de manera segura, y no vertidos al mar o aguas continentales, como tradicionalmente se ha estado haciendo (Ruiz de Apodaca, 2001).

El principal problema que se genera en el medio marino por vertido de lodos de depuradora es debido a su gran contenido de materia orgánica; esto es, los valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de estos desechos o residuos, por lo general, son elevados. Asimismo, por su alto contenido en compuestos de fósforo y nitrógeno, pueden dar origen al proceso de eutrofización, siendo la mayor preocupación la contaminación por metales pesados (Ruiz de Apodaca, 2001).

Según Chiner Montoro, el residuo es considerado un “concepto dinámico que corre paralelo a los avances que la sociedad y la tecnología experimentan” (como se citó en Ruiz de Apodaca, 2001). Por su parte, Martín Mateo conceptúa los residuos según la situación actual como “subproductos marginales identificados en cuanto tales por la Ley cuya libre disposición puede crear problemas ambientales” y, en un contexto general, es definido como “cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga intención u obligación legal de desprenderse sino se le permite asumir su tratamiento” (Ruiz de Apodaca, 2001). Así, los lodos o fangos de depuradoras no son considerados más simples residuos. Puesto que la Directiva 91/156/CEE, lo que pretende con la última definición es saber qué tipo de sustancias u objetos pueden ser objetivamente comprendidas dentro del concepto residuo.

Sobre el particular, Gabriel Real (2016) precisa que la adecuada gestión de los residuos, en el marco de la sostenibilidad, contribuye con los aspectos ambientales, económicos y sociales de una sociedad. Lo contrario significaría el aumento de la contaminación del suelo, las aguas superficiales y subterráneas y, por supuesto, la contaminación atmosférica local; en consecuencia, no es conveniente un tratamiento ineficiente de dichos residuos, pues repercute e impacta en el ambiente de forma negativa.

De otro lado, conviene mencionar que los tres factores que determinan la huella de carbono de una unidad de tratamiento de aguas residuales son: emisión de metano y óxido nítrico y consumo de energía de fuentes externas. Pues existen aspectos relevantes en el diseño y

operación de una planta de tratamiento que influyen en el desempeño ambiental de la misma, principalmente, cuando se trata de las emisiones de GEI. Por consiguiente, existen dos formas principales de reducir dichas emisiones en proyectos relacionados con el tratamiento de aguas residuales: a) reduciendo la emisión de metano en planta por medio de su captura y quemado; y, b) Desplazando una fuente de energía externa, lo cual se puede obtener haciendo más eficiente el uso de energía eléctrica con mejores controles de proceso o generando energía *in situ*, utilizando una renovable e interna, como el biogás (Nolasco, 2010).

En consecuencia, en un proceso de tratamiento aeróbico, la materia orgánica que ingresa al sistema es utilizada como fuente de energía, otra parte se transforma en lodos y un pequeño porcentaje es expulsado con el efluente. En tanto, un proceso anaeróbico no requiere suministro de oxígeno; por tal razón, su consumo energético es ínfimo, además, genera una cantidad de lodos considerablemente menor y, como producto de la degradación de la materia orgánica, se obtiene metano, que puede ser utilizado con fines energéticos (Nolasco, 2010). En concreto, el tratamiento de aguas residuales resulta ser una fuente relevante de metano, que puede ser aprovechada en diversas actividades como la agricultura.

Por último, se sabe que otro de los problemas de la inadecuada gestión de las aguas residuales es la transmisión de enfermedades a través del agua, un inconveniente de salud muy frecuente a nivel mundial, básicamente, en los países en desarrollo. En tal sentido, el tratamiento de las aguas residuales resulta ser una actividad imprescindible para proteger la salud pública y el entorno natural. Y la reutilización es una forma de valorar el referido tratamiento, que permite preservar las fuentes naturales de agua y, por supuesto, el entorno en general (Fernandes, 2011).

3.1.2. Régimen Jurídico de la reutilización de aguas depuradas y regeneradas en España

Es conveniente hacer un análisis sobre el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas en España y examinar la normativa reguladora de la misma. En tal contexto, se debe recordar que dicha actividad tiene sus cimientos jurídicos en la Ley de Aguas de 1985, derogada a la fecha, pues se mencionaba sobre ella lo siguiente “(...) el Gobierno establecerá las condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas según los usos previstos”. Posterior a ello, mediante el RD 849/1986, se aprobó el RDPH, en el cual se define jurídicamente la reutilización de aguas depuradas y se establecen las condiciones y los trámites para la concesión de reutilización de aguas, que variará según sea realizada por el primer usuario o por un tercero.

No obstante, en esa época la reutilización no se encontraba como prioridad en los planes hidrológicos del país. Lo cual tuvo que ser modificado para ser promovida a nivel nacional, dando como resultado la aprobación de la Ley 11/2005 que modificó el Plan Hidrológico Nacional (en adelante, PHN) y la aplicación del programa A.G.U.A., puesto que, así como la desalinización, la reutilización adquiere un papel importante en la solución de los problemas de escasez hídrica en algunas zonas del país.

Posteriormente, con el advenimiento de la promulgación del RD1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de aguas depuradas con una ley específica, se evidencia un avance significativo que asegura la protección de la salud pública y el ambiente y, a su vez, fomenta su desarrollo en la planificación de los recursos hídricos. Además,

determina las responsabilidades de las Administraciones Públicas, los concesionarios y usuarios finales (Melgarejo, 2009).

Vale precisar que el RD 1620/2007 considera aspectos de marcos normativos de otros países, en particular el Título 22 del Código de Regulaciones de California, en Estados Unidos, y las recomendaciones de la OMS (AEDyR, 2019b). Esto a fin de adoptar los mejores estándares para la reutilización de aguas depuradas.

Pues bien, esta ley define las aguas reutilizadas e incorpora la denominación de aguas regeneradas; de igual forma, establece los requisitos básicos para realizar la actividad de utilización de aguas regeneradas y los procedimientos para obtener la concesión al organismo de cuenca, que debe solicitar previamente a las autoridades sanitarias un informe. Asimismo, en ella se regulan los diversos usos de dichas aguas, así como los criterios mínimos obligatorios exigibles para la utilización de las aguas regeneradas según los usos, y el control de calidad para cada uso respectivo a través de la frecuencia mínima de muestreos, los métodos analíticos de referencia y los criterios de conformidad. (Melgarejo, 2009).

En efecto, el RD 1620/2007 ha significado un gran avance en cuanto se refiere a los aspectos técnicos normativos de la reutilización de agua generada, debido a su adecuada metodología. No obstante, se consideran aún débiles los aspectos ambientales sociales y económicos, puesto que el fomento de la reutilización requiere de mecanismos que potencien dicha actividad, así como la adecuación de los sistemas a los parámetros de calidad más rigurosos para los usos correspondientes. Esto es, definir estándares mínimos para la calidad de la reutilización del agua para abastecimiento, riego agrícola y recarga de acuíferos. Con lo cual se generarían mayores costes de los previstos hasta el momento, además de afectar a las pequeñas plantas potabilizadoras (Melgarejo, 2019).

Siguiendo con el análisis de la presente ley, cabe precisar que, si bien introdujo el concepto de aguas regeneradas como aquellas aguas residuales depuradas que, para tal caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad a un uso específico, en el ámbito de las aguas residuales y desde el punto de vista técnico, el efluente tratado, aguas tratadas y aguas regeneradas son sinónimos (Melgarejo, 2009). Por lo cual se puede inferir que la intención de la normativa al respecto es destacar el establecimiento de exigencias mínimas requeridas para adecuar la calidad de las aguas regeneradas a los usos correspondientes.

En otro orden de cosas, conforme a los objetivos de la DMA, el aprovechamiento de las aguas regeneradas resulta ser una oportunidad para su cumplimiento, pues, procura asegurar agua de calidad y cantidad suficientes (Molina, 2016). Así, previo a un tratamiento adecuado, permite generar caudales ecológicos y volúmenes ambientales (Melgarejo, 2019), y una menor presión de las aguas prístinas, en particular las subterráneas; del mismo modo, se pretende reducir los vertidos de aguas residuales al ambiente.

Con la finalidad de proteger las masas de agua y reducir las fuentes de captación para conservar en equilibrio el sistema de explotación de las fuentes naturales de agua, conviene depurar y luego regenerar los caudales de aguas residuales para ser aprovechados, aunque ello pueda afectar los volúmenes de agua circulante. Pues ello será parte de la evaluación de la externalidad positiva para realizar un mejor balance hídrico (Molina, 2016).

Conviene en este punto precisar que la calidad del agua regenerada deberá ser la adecuada para los usos requeridos, a fin de que su utilización no implique impactos negativos y que los costes sean sostenibles y viables respecto a los precios del resto de fuentes de suministro (Molina, 2016). De hecho, en términos económicos y sostenibles resulta más ventajoso considerar la reutilización de dichas aguas, pues es un recurso estable al estar condicionado al abastecimiento, y son más baratas que las aguas obtenidas a través de los trasvases y la desalinización (Melgarejo, 2019).

Otro de los beneficios que pueden otorgar las aguas regeneradas es la recarga de acuíferos, ante lo cual la DMA señala que es necesario obtener la autorización expresa de las autoridades competentes, y la garantía de que ello no perjudicará la situación ambiental del acuífero. Siendo así, esta recarga artificial con aguas regeneradas no constituirá un vertido directo al cuerpo natural de aguas subterráneas, ya que se encuentra expresamente prohibido; por tanto, resulta ser una actividad viable (Molina, 2016).

En consecuencia, el RD 1620/2007 establece los usos permitidos, estructurándolos en cinco ámbitos: agrarios, ambientales, recreativos, urbanos (Residencial y Servicios) e industriales, que agrupan las calidades del agua regenerada; por tanto, se determinan 14 calidades de agua en función de la calidad bacteriológica que, a su vez, se agrupan en 6 tipos de calidad de agua (A, B, C, D, E y F), considerando principalmente los límites señalados con relación a los Valores Máximos Admisibles. De manera genérica, por cada uso se definen cuatro parámetros, dos de tipo biológico (huevos de nemátodos intestinales y *Escherichia coli*) y dos de tipo físico-químico (los sólidos en suspensión y turbidez), así como otros parámetros necesarios para actividades específicas.

A propósito de los tipos de la calidad, es necesario precisar que respecto a la calidad F, la cual es requerida para un uso ambiental particular referido al mantenimiento de humedales y caudales mínimos, la citada ley no estipula límites precisos, debido a que éstos serán determinados en cada caso concreto; por ende, no es posible su generalización normativa (AEDyR, 2019b).

Asimismo, en el capítulo II de la referida norma se precisan los usos prohibidos que son: el consumo humano, salvo en situaciones catastróficas; usos propios de la industria alimentaria excepto para aguas de proceso y limpieza; uso en instalaciones hospitalarias; para el cultivo de moluscos filtradores en acuicultura; uso recreativo como aguas de baño; uso en torres de refrigeración y condensadores evaporativos, excepto lo previsto en este uso industrial en la norma; uso en fuentes y láminas ornamentales en espacios públicos o interiores de edificios públicos; y cualquier otro uso que las autoridades consideren que conlleva riesgos para la salud o perjuicio para el ambiente.

3.2. Avances y desafíos de la reutilización a nivel comunitario y nacional

Según estimaciones, los recursos naturales de agua en España son alrededor de 100.000 hm³/año, de los cuales el 74% corresponde a las aguas superficiales y el 26% a las aguas subterráneas. En tanto, la cantidad de recursos disponibles es considerablemente inferior, en un valor próximo a los 43.000 hm³/año, que son distribuidos de forma irregular entre las diferentes regiones del país (Fernandes, 2011).

Se considera en la actualidad que a nivel mundial se desalan y se reutilizan más de 200 mmc/día de agua, una cifra bastante considerable que demuestra el uso de tecnologías adecuadas para asegurar la disponibilidad de recursos hídricos en varias zonas del mundo. Tal es el caso de España, donde la producción conjunta de sus 765 plantas desalinizadoras es de un total de cinco mmc al día de agua desalinizada para consumo humano, abastecimiento y uso agrario e industrial. Además, el proceso de desalinización es aplicable no solo a las aguas marinas y salobres, sino también a las aguas residuales. De hecho, se le considera un país líder en Europa en el uso de la tecnología de desalinización por ósmosis inversa en el ámbito de la reutilización (AEDyR, 2019c).

Pues bien, debido a la escasez hídrica en algunos lugares de España, como la CA de Valencia (Melgarejo, 2009), la reutilización constituye, como en el caso de la región de Murcia, un 64,7% del agua total suministrada. De hecho, como cada vez más se incrementa el uso de volúmenes de aguas residuales tratadas, dicha reutilización se encuentra presente en diferentes actividades, como la agricultura, la industria, el riego de áreas verdes, jardines y áreas de ocio (Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento [AEAS], 2017).

Asimismo, un caso ejemplar de depuración, regeneración y reutilización de aguas residuales, es la ciudad de Alicante y Valencia, donde se disponen de depuradoras de última tecnología, como son: Villena, Almoradí, Chestre-Chiva y Bétera; siendo la primera una de las más innovadoras de la provincia de Alicante, con un potencial de recuperación de 10.000 metros cúbicos diarios de agua de calidad para el uso agrícola. Asimismo, se logró reducir la huella de carbono de la depuradora, gracias a la implementación de una instalación de generación de energía solar, así como a otras medidas de eficiencia energética (Vives, 2021). Así, Valencia es la CA con mayor porcentaje (40%) de distribución de volúmenes reutilizados, frente a las demás, a fin de incrementar la disponibilidad hídrica y dar atención a los usos más demandantes como el agrícola (Melgarejo, 2009).

Por tanto, la estrategia integral para el incremento de la oferta hídrica y el mejoramiento de su calidad, radica en el aprovechamiento de las aguas residuales que, por lo general, suelen ser desechadas. Lo cual resulta viable, pues la reutilización de las aguas residuales tratadas debe garantizar la salud pública y la preservación del ambiente. Más aún, cuando a nivel global se habla de las nuevas tendencias en la gestión de recursos hídricos, como es el fomento del concepto de economía circular, “(...) que consiste en un ciclo continuo de desarrollo positivo que conserva y mejora el capital natural, optimiza el uso de los recursos y minimiza los riesgos del sistema al gestionar una cantidad finita de existencias y flujos renovables.” (Iturregui, 2019).

En sentido amplio, la economía circular pretende que los productos y recursos en general conserven su utilidad y valor durante todo el tiempo posible y se reduzca al mínimo la generación de residuos. (Melgarejo, 2019). Pues bien, promover la reutilización de aguas residuales tratadas constituye un mecanismo sostenible del ciclo del agua. En palabras de Joaquín Melgarejo, “En el sector del agua, el concepto de economía circular se materializa en volver a utilizar el agua una y otra vez, tal como sucede en el ciclo natural” (Melgarejo, 2019).

Al respecto, la UE, teniendo en cuenta que la economía circular es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad, establece como prioridad en sus políticas ambientales la utilización eficiente de sus recursos, generando un crecimiento sostenible e integrador. Así, implementa un marco de medidas, según el Plan de Acción para la Economía Circular, diseñado en 2015, incorporado a nivel nacional a través del documento España

Circular 2030, cuyo objetivo es optimizar la utilización de los recursos, materia y recursos disponibles, para lograr un modelo de desarrollo y crecimiento más innovador, competitivo y sostenible (Ministerio Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2018).

Del mismo modo, en pleno contexto de la pandemia por la COVID-19, la UE ha adoptado el Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de mayo de 2020, relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua, el mismo que será aplicable a partir del 27 de junio de 2023, de manera directa y obligatoria para los Estados miembros. Su finalidad estriba en el aseguramiento de que la calidad de las aguas sea adecuada para el riego agrícola, fomentando así la protección del ambiente y la salud humana y animal.

En tal contexto, el citado Reglamento establece los requisitos mínimos de calidad y control del agua y disposiciones sobre la gestión del riesgo para la utilización segura de las aguas regeneradas, en el marco de una gestión integrada del agua. Así, la UE pondera la transición hacia una economía circular, acentuando la adaptación al cambio climático. De igual forma, pretende contribuir, tanto con los objetivos de la Directiva 2000/60/CE, en la lucha contra la escasez hídrica, como al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (en adelante, ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, en particular el objetivo N° 6 de garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

Promover la reutilización de agua para el riego agrícola, se justifica por ser el uso de mayor demanda hídrica a nivel mundial, considerando a la agricultura una actividad con potencial para el uso de agua regenerada. Asimismo, la UE pretende evitar que los países miembros generen obstáculos en el funcionamiento del mercado interior, con especial énfasis en los productos agrícolas primarios, debido a que la imposición de requisitos difiere de un país a otro (AEDyR, 2019d).

De conformidad al Considerando N° 9 del Reglamento (UE) 2020/741, la reutilización de aguas depuradas adecuadamente, tienen menor impacto en el ambiente frente a otros métodos alternativos que incrementan la oferta hídrica, como los trasvases de agua o la desalinización.

Sentado lo anterior, España deberá realizar la transposición de la normativa comunitaria al ordenamiento jurídico nacional; es decir, el actual RD 1620/2007 deberá ser congruente con lo que se establece en el Reglamento UE 2020/741 del Parlamento Europeo y el Consejo, pues como indica la AEDyR (2019e), “En nuestra normativa, las calidades del agua destinadas a estos usos están comprendidas en las calidades B, C y D. Por lo tanto, la normativa española distingue mayor cantidad de usos para riego agrícola, pero menor diferencia de calidades entre los tipos, ya que en la normativa europea son tres usos distintos y cuatro niveles de calidad”. Lo cual implica, en resumen, incorporar parámetros más estrictos y exigentes.

Así, la actualización normativa española tendrá relevancia en el nuevo ciclo de planificación hidrológica del período 2021-2027, mediante los respectivos reales decretos de aprobación (AEDyR, 2019e). Por tanto, se espera un escenario prometedor para el sector agua, tanto a nivel de la UE como en España, considerado un país que alberga zonas con gran déficit hídrico de Europa.

4. El tratamiento y reutilización de aguas residuales en el Perú

Sin duda, crece el interés por intensificar el uso de mejores tecnologías para la producción de agua potable en zonas con mayor población, pero con recursos hídricos limitados. Es decir, podría no haber suficiente agua para todos los usos (doméstico, agrícola, industrial, recreativo y ambiental), ocasionando escasez y estrés hídrico (Mateo-Sagasta, 2017). Por consiguiente, la utilización de aguas no convencionales, como los efluentes urbanos tratados, resulta ser una opción cada vez más empleada para aumentar la disponibilidad de recursos hídricos y conseguir progresivamente un mayor equilibrio entre la oferta y demanda de agua.

Como indica Daniel Prats (s.f.), la recuperación de calidad y reutilización de las aguas residuales posibilita el incremento de los recursos hídricos disponibles y reduce el impacto de su disposición sobre el ambiente; así, hace una distinción entre la reutilización directa e indirecta a través de cursos naturales del agua. “En los sistemas de explotación interiores en los que las aguas residuales, con más o menos tratamiento, se vierten en ríos o embalses, y las aguas sobrantes de regadío que drenan los suelos pueden retornar a cauces a través de canales o azarbes o alcanzar acuíferos, las aguas residuales son diluidas con los caudales circulantes y son parcialmente reutilizadas en zonas aguas abajo para nuevos usos urbanos, agrícolas e industriales”. No obstante, ello no ocurre así en zonas costeras, debido a que las aguas residuales son descargadas al mar a través de emisarios submarinos o acuíferos y cauces sin posibilidad de aprovechamiento.

A mayor abundamiento, Maria Claudia Da Silva (Leite, 2017) precisa que en la reutilización del agua deben distinguirse tres supuestos, los cuales son: a) La reutilización directa planificada, que ocurre cuando los efluentes, luego de ser tratados, son conducidos desde el punto de descarga hasta el sitio donde serán utilizados para riego o la industria, evitando ser vertidos directamente al ambiente; b) La reutilización indirecta planificada, en la cual los efluentes, previamente tratados, se vierten de forma planificada en los cuerpos de aguas superficiales o subterráneas, para ser utilizados aguas abajo por cualquier beneficiario, de manera controlada, y c) La reutilización indirecta no planificada, se realiza cuando el agua utilizada en alguna actividad humana se descarga al ambiente para ser utilizada aguas abajo, nuevamente, en su forma diluida, sin planificación.

En ese sentido, las zonas costeras son áreas con mayores problemas de suministro del recurso agua, como es el caso de Lima Metropolitana, donde se concentra un tercio de la población nacional. “Los registros históricos evidencian la recurrencia de periodos secos en los cuales las descargas medias de los ríos Chillón, Rímac y Lurín, que la abastecen pueden disminuir notoriamente, causando en ella un fuerte desabastecimiento, en especial durante el período de estiaje”. Por lo general, el “Fenómeno El Niño” exacerba dicha situación, y aún se proyecta que los períodos secos aumenten a causa del cambio climático. (Paucar & Iturregui, 2020). En consecuencia, se hace imprescindible la reutilización planificada de agua residual tratada a través de su almacenamiento y transporte hasta el punto de aprovechamiento, aclarando que se trata de una reutilización directa, pues no requiere una dilución previa en un curso natural de agua (Leite, 2017).

4.1. El tratamiento de aguas residuales

En el Ordenamiento jurídico peruano se señala que “el Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de su reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reuso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán”, de acuerdo con lo establecido en la Ley General del Ambiente. Asimismo, en ella se precisa que serán las entidades responsables del servicio de saneamiento las que se encarguen del tratamiento de los residuos líquidos domésticos y las aguas pluviales. Aunque no se evidencie una conceptualización del tratamiento, se entiende que es un proceso indefectible que debe ser realizado a fin de no causar estragos en la calidad de las aguas.

Sobre el particular, en el artículo 6° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos (en adelante, LRH), se establece que el tratamiento o depuración es considerado un bien artificial asociado al agua, lo cual indica que se trata de un proceso industrial que incrementa la disponibilidad de recursos hídricos. Empero, según el equilibrio propio de la naturaleza, los mecanismos de depuración ocurren de manera natural en los cursos de agua, más aún cuando estos son caudalosos, rápidos y se encuentran aislados, a fin de no ser utilizados. (Trapote, 2013). Así, su capacidad de autodepuración es mayor, toda vez que son más tolerantes a una mayor cantidad de aguas residuales. Sin embargo, si la cantidad de cualquier tipo de contaminante es excesiva, de todas formas se producirán graves daños en los cuerpos de agua (Suarez, 2008).

A propósito de la naturaleza jurídica, cabe precisar que el tratamiento de aguas residuales, en su condición de bien artificial asociado al agua, no constituye un bien de dominio público hidráulico; no obstante, se considera de propiedad del Estado cuando se ejecuta con fondos públicos, según el artículo 8° de la LRH.

Pues bien, la LRH otorga al titular la potestad, a través de la licencia de uso de agua, para que ejecute inversiones en el tratamiento y reutilización para el uso concedido, de acuerdo con el artículo 50°. De igual modo, según el artículo 133°, para la autorización de vertimiento se establece como condición sine qua non someter las aguas residuales a los tratamientos previos necesarios. En tal sentido, es pertinente que el tratamiento sea un mecanismo de protección ambiental, cuya regulación sea de aplicación efectiva.

Es de apreciar que una parte de las aguas descargadas a la red de alcantarillado es derivada a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (en adelante, PTAR) para su tratamiento, mediante la aplicación de diversas tecnologías. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, OEFA, 2014). Esto a fin de utilizar las aguas tratadas para el riego de cultivos y áreas verdes, la piscicultura o, simplemente, verterlas a las aguas naturales receptoras.

Cabe tener en cuenta que, mediante el Decreto Supremo (en adelante, DS) N° 021-2009-VIVIENDA y su Reglamento, aprobado por DS N° 010-2019-VIVIENDA, se definen los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, con la finalidad de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar su adecuado funcionamiento; garantizando el tratamiento de las referidas aguas.

4.2. Marco normativo de la reutilización

Así como el tratamiento, la reutilización de aguas residuales es considerada un bien artificial asociado al agua, de conformidad al artículo 6° de la LRH. Siendo así, también son de propiedad del Estado, si son ejecutados con fondos públicos.

Pues bien, según el artículo 82° de la LRH, la Autoridad Nacional del Agua (en adelante, ANA), a través del Consejo de Cuenca, autoriza la reutilización del agua residual tratada, según el fin para el que se destine la misma, en coordinación con la autoridad sectorial competente y, cuando corresponda, con la Autoridad Ambiental Nacional. De tal forma que el titular de una licencia de uso de agua está facultado para reutilizar el agua residual que genere, siempre que se trate de los mismos fines para los cuales fue concedida la licencia. En tanto se presenten actividades distintas, se requiere solicitar a la ANA la autorización correspondiente. Cabe advertir que la distribución de las aguas residuales tratadas debe tomar en cuenta la oferta hídrica de la cuenca.

Asimismo, en el artículo 148° del Reglamento de la LRH se establece que se podrá autorizar el reúso de aguas residuales sólo cuando se cumplan con las siguientes condiciones que se presentan a continuación:

- a. *Sean sometidos a los tratamientos previos y que cumplan con los parámetros de calidad establecidos para los usos sectoriales, cuando corresponda.*
- b. *Cuente con la certificación ambiental otorgada por la autoridad ambiental sectorial competente, que considere específicamente la evaluación ambiental de reúso de las aguas.*
- c. *En ningún caso se autorizará cuando ponga en peligro la salud humana y el normal desarrollo de la flora y fauna o afecte otros usos.*

De hecho, en cuanto al literal b., la Autoridad Sanitaria, que es representada por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), del Ministerio de Salud, es la encargada de velar por la preservación de la calidad del recurso hídrico, vía la formulación de políticas nacionales de salud ambiental, el establecimiento de normas técnicas sanitarias para el manejo, reúso de aguas residuales domésticas, la vigilancia de la calidad sanitaria de los sistemas de agua potable, así como del agua como recurso, controlar a los agentes contaminantes, registrar y controlar los vertimientos y evaluar los riesgos ambientales, para lo cual considera los instrumentos vigentes como los Límites Máximos Permisibles (en adelante, LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental en agua (en adelante, ECA-Agua) (Méndez & Marchán, 2008).

Cabe mencionar que para proceder con la autorización de reúso de agua residual es necesario tomar en cuenta los valores de calidad establecidos por el organismo correspondiente o, en su defecto, las guías correspondientes de la OMS, según el artículo 150° del Reglamento de la LRH.

Respecto a los títulos habilitantes, como se dijo con anterioridad, la LRH señala que el titular de una licencia de uso de agua está facultado para reutilizar el agua residual que genere, siempre que se trate de los mismos fines para los cuales fue concedida la licencia. Así, su reglamento establece que el titular de un derecho de uso de agua tiene la potestad de reusar el agua residual que genere cuando se trate de los mismos fines para los cuales fue otorgado su

derecho. Sin embargo, el Tribunal Nacional de Resolución de Controversias Hídricas (TNRCH) advierte que la norma no es precisa para el caso de los usuarios industriales, por tanto, define las pautas para el reúso de aguas residuales a través de la Resolución N° 052-2015-ANA/TNRCH.

De otra parte, los servicios de saneamiento en el Perú incluyen, entre otros, los servicios de tratamiento de aguas residuales para disposición final o reúso, de conformidad al Reglamento de la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento (en adelante, la Ley Marco). Esto es, el agua residual tratada ha sido sometida a diferentes procesos para la eliminación de componentes físicos, químicos y microbiológicos para su disposición final o reúso. Por lo que la Ley Marco faculta a las Empresas Prestadoras de Servicios (en adelante, EPS) para brindar el servicio de tratamiento de aguas residuales para fines de reúso, así como para comercializar el agua residual tratada, los residuos sólidos y subproductos generados en las plantas de tratamiento de agua residual; asimismo, pueden comercializar el agua residual sin tratamiento, para fines de reúso, previa condición de que los terceros interesados realicen las inversiones y asuman los costos de operación y mantenimiento para su tratamiento y reúso.

Del mismo modo, las EPS son responsables de la implementación de tecnologías apropiadas para el tratamiento de agua residual favorable al ambiente, a fin de evitar la afectación de las fuentes receptoras de agua y promoviendo su reúso, según el Reglamento de la Ley Marco. En consecuencia, son las encargadas de acondicionar la calidad del agua para los fines estimados, según los parámetros establecidos para ello.

En virtud del principio de protección del ambiente y uso eficiente del agua, establecido en la Ley Marco, las entidades del gobierno nacional, gobiernos regionales y gobiernos locales, instituciones públicas y privadas utilizan, de manera preferente, agua residual tratada para el riego de áreas verdes, parques y jardines, así como para el desarrollo de otras actividades que no requieran necesariamente el uso de agua potable. Por lo que se prioriza el agua potable para fines que requieran agua de mayor calidad.

4.3. Avances y retos de la reutilización de aguas residuales

Conforme al conjunto de estrategias con relación a la administración del agua, establecidas por la Asociación Internacional del Ana (IWA), para hacer efectiva la economía circular del agua, se promueve el reciclaje y la reutilización de los recursos hídricos, a fin de aumentar el suministro de agua y mejorar su calidad (Da Silva & Luiz, 2019). Cabe precisar que el agua reutilizada debe ser inocua para la población y el ambiente.

Ante ello, en el Perú se observan avances en la gestión de aguas residuales, en el marco de la economía circular, con el objetivo de incrementar la disponibilidad hídrica, debido a un tratamiento eficiente de dichas aguas, que hacen posible la obtención de un agua segura y residuos sólidos utilizables (Paucar & Iturregui, 2020). Pues bien, la gestión y manejo de los residuos sólidos también se hace presente en la depuración de las aguas residuales; y prueba de ello, en el 2017, se aprobó el Reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las PTAR, mediante el Decreto Supremo 015-2017-VIVIENDA.

Como consecuencia del proceso de transformación de los lodos en biosólidos, generados en las PTAR, se promueve su comercialización a través de: a) prestadores de servicios de saneamiento; b) empresas del sector privado que operen PTAR domésticas o municipales; c)

empresas del sector privado dedicadas a la producción, comercialización y/o disposición final de biosólidos; y d) empresas operadoras de residuos sólidos que dispongan de la infraestructura y tecnología útil para la producción, comercialización y disposición final de biosólidos (Paucar & Iturregui, 2020).

Asimismo, en medio de la pandemia, con la intención de promover el riego con agua residual tratada, el Ministerio de Agricultura, mediante la Resolución Ministerial, N° 203-2020-MINAGRI, aprobada el 01.09.2020, dispuso la publicación del “Proyecto de Decreto Supremo que aprueba los Niveles de Calidad del Agua Residual Tratada con Fines de Reúso Agrario” y su exposición de motivos, en concordancia con los lineamientos de las Políticas Nacionales Agraria y Ambiental, con la finalidad de recoger sugerencias y comentarios de la población respecto de dicho proyecto.

En definitiva, es un progreso para el Sector Agrario, en el cual se observa un vacío legal respecto de los niveles de la calidad del agua residual tratada para los usos agrarios. Siendo así, podemos distinguir claramente entre los adelantos que muestra la normativa española y las propuestas que presenta la peruana en ese sector. Por otro lado, la referida propuesta normativa es la evidencia de un sistema de tratamiento deficiente o inexistente; por tal razón, es pertinente su aprobación, a fin de lograr la modernización y mejora de tales sistemas.

Las exigencias normativas que proponen mejor calidad del agua residual implican un aumento de los costes en la implementación de las PTAR. Empero, desde una visión macro, reutilizar el agua significa reducir la demanda de las aguas superficiales y subterráneas, preservar el ambiente, economizar la energía y reducir las inversiones en infraestructura y proporcionar una mejora en los procesos industriales (Da Silva & Luiz, 2019).

En esa línea, cabe destacar que la reutilización de las aguas residuales depuradas propicia la reducción de impactos ambientales y el ahorro de costes (Melgarejo, 2019). Así, el uso eficiente de los recursos hídricos, basado en una economía circular, potencia el reciclaje del agua y los residuos provenientes de los sistemas de tratamiento. Lo cual implica superar la percepción social negativa, buscar fuentes de financiamiento y afrontar desafíos tecnológicos. (Cansi & Cruz, 2020). Como indica José Díaz (2021), “Hay que mejorar la eficiencia del uso del agua en los ciclos productivos para reducir su demanda mediante instrumentos de política”

En tal contexto, y a fin de incentivar la mejora de la infraestructura para un tratamiento adecuado de las aguas residuales, se señalan algunos mecanismos para desarrollar proyectos en el Sector Saneamiento, como son las Obras por Impuesto (en adelante, OPI) y Asociaciones Público Privadas (en adelante, APP), ambos mecanismos contribuyen al cierre de brechas en infraestructura, de conformidad a la Ley N° 29230, Ley que impulsa la inversión pública Regional y Local con Participación del Sector Privado y al Decreto Legislativo N° 1362. Así, los servicios públicos, que incluyen, entre otros, al agua y saneamiento, pueden verse favorecidos, debido a que los proyectos son financiados total o parcialmente por el sector privado, evitando utilizar recursos públicos (Ministerio de Economía y Finanzas, MEF, s.f.).

Respecto a las OPI, la Ley pretende impulsar la ejecución de proyectos de inversión pública de impacto regional y local, con la participación del sector privado, mediante la suscripción de convenios con los gobiernos regionales y/o locales. Lo que representa, una oportunidad para el trabajo en equipo entre el sector público y privado, a fin de potenciar la infraestructura existente en el país.

En tanto, La APP es definida como “un contrato a largo plazo entre una parte privada y una entidad pública, para brindar un activo o servicio público, en el que la parte privada asume un riesgo importante y la responsabilidad de la gestión, y la remuneración está vinculada al desempeño” (MEF, s.f.). El Banco Mundial (2017) informa que este mecanismo es decisivo para mejorar la calidad de la infraestructura, así como la eficiencia del gasto. Por tanto, es necesario promover esta figura contractual en el Sector Agua y Saneamiento, pues urge contar con más sistemas de tratamiento de aguas residuales y mejorar la eficiencia de las existentes.

Por tanto, en la transición hacia una economía circular en el Sector Agua y Saneamiento, es fundamental el aporte del sector privado en la generación de infraestructura adecuada para la gestión de los recursos hídricos. Sin duda, la reducción de la brecha de infraestructura es una tarea prioritaria para el Estado, debido a que ello permitirá el cumplimiento de los objetivos y metas de la política hídrica.

Sobre el particular, si bien los serios impactos de la presente pandemia nos colocan en una situación crítica, para el cumplimiento de los ODS, propuestos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), también nos plantean un escenario de oportunidades en lo que respecta a las metas del Objetivo 6 “Agua limpia y Saneamiento”, debido a que se trata de servicios básicos e imprescindibles para salvaguardar la salud de la población.

Más aún, cuando la situación de emergencia sanitaria, provocada por el coronavirus SARS-CoV-2, nos plantea como enfoque preventivo frente a la COVID-19 y otras infecciones, una adecuada higiene y el lavado de manos, según señala la OMS (2020). Lo cual insta a los Estados a acelerar el acceso universal al agua y saneamiento, conforme al Objetivo 6 “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”.

Como bien refiere la ONU, la pandemia de la COVID-19 ha puesto en evidencia, una vez más, que es de vital importancia el saneamiento, la higiene y un acceso adecuado a agua limpia para prevenir y controlar las enfermedades. No obstante, lamentablemente, hay miles de millones de personas que carecen de acceso a agua salubre y saneamiento, y los fondos son insuficientes.

En lo que respecta al Perú, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en el período de mayo de 2019 a abril de 2020, 29 millones 525 mil personas, que representan el 90,8% de la población del país, acceden a agua para consumo humano proveniente de una red pública, el resto se abastecen de otras formas. (Romero, 2020).

En virtud de ello, se puede colegir que el país está logrando avances significativos, en el acceso al agua potable a nivel nacional; sin embargo, aún está pendiente reducir la demanda de explotación de las aguas superficiales y subterráneas. Lo que significa, promover con perseverancia, la reutilización, esto es, mejorar los sistemas de tratamiento de las aguas residuales y establecer los adecuados niveles de calidad que requieren los posteriores usos.

5. Conclusiones

No cabe duda de que, en la actualidad, España es uno de los países europeos que más ha fomentado la reutilización de aguas residuales, disponiendo desde el año 2007 de una legislación específica, dada la adopción de la normativa por la UE. En efecto, El RD 1620/2007 marcó un hito en la gestión de los recursos hídricos, específicamente, las aguas residuales. De esta forma, algunas ciudades del país, como Valencia, Murcia, Alicante, entre otras, utilizan tecnología de vanguardia para el tratamiento y depuración de dichas aguas, logrando incrementar la disponibilidad hídrica y minimizar los impactos de sus vertidos en el ambiente. Considerando la existencia de una irregular distribución espacio temporal de los recursos hídricos en el referido país.

Por su parte, en el Perú, si bien se han dado algunas soluciones legislativas en el sector saneamiento, como la aprobación de la Política Nacional de Saneamiento, el Plan Nacional de Saneamiento, la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento y el Reglamento del Reaprovechamiento de los Lodos generados en las PTAR, para promover el tratamiento y reutilización de las aguas residuales y aprovechar el uso de los subproductos provenientes del citado tratamiento, está pendiente establecer una legislación específica como en el caso de España, para regular la reutilización de aguas residuales, y prohibir expresamente que ésta se realice sin un tratamiento previo. Aunque, se avizora interesantes propuestas normativas respecto a los niveles de calidad de las aguas residuales en el sector agrario, lo que ya es una realidad en la normativa española, que será reforzada con la adopción del Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo.

Está claro que, en ambos países, y a nivel mundial, la agricultura es la actividad de mayor consumo de agua. Por ello, resulta conveniente potenciar el ahorro de agua proveniente de fuentes naturales, e incentivar la reutilización de aguas residuales, en el marco de una economía circular. La misma que se destaca por ser una economía eficiente en el uso de los recursos; más, cuando se trata de los recursos hídricos.

Es de apreciar, que antes de que surja la presente pandemia, ya existía un déficit en la prestación de los servicios de acceso al agua potable y saneamiento. En la actualidad, la situación se torna crítica, debido a la carencia de tales servicios en ciertas poblaciones. Por tanto, se pone de manifiesto la importancia de disponer de la infraestructura adecuada para garantizar servicios esenciales y de primera necesidad. Para lo cual es crucial la colaboración del sector privado, ya que se encuentra, por lo general, en mejor posición económica que el Estado.

En consecuencia, y a fin de cumplir los ODS, tanto España como el Perú, deben gestionar de manera eficiente sus recursos hídricos, si bien cada país tiene su propio ordenamiento jurídico en materia de Agua y Saneamiento, la finalidad en ambos es afrontar la escasez hídrica, asegurando la disponibilidad del agua en cantidad y calidad adecuada en sus poblaciones.

Finalmente, si bien la pandemia por la COVID-19, coloca al sector Agua en una situación crítica, también enfatiza la necesidad de promover y gestionar el uso eficiente de los recursos hídricos. Por tal razón, representa una oportunidad para desarrollar políticas destinadas a atender las demandas hídricas, con mejores metodologías e innovadora tecnología. En miras de alcanzar una economía circular en el sector Agua y Saneamiento, es fundamental apostar por la reutilización de aguas residuales, debidamente depuradas. Lo cual no solo contribuye

al incremento de la disponibilidad hídrica, sino también a la protección de la salud pública y el ambiente.

Referencias

- AEDyR. (2019, 8 febrero). La desalación y reutilización de agua a nivel mundial. *Asociación Española de Desalación y Reutilización*. <https://aedyr.com/desalacion-reutilizacion-agua-mundial/>
- AEDyR. (2019, 4 junio). Tratamientos terciarios para la reutilización de agua. En *Asociación Española de Desalación y Reutilización*. <https://aedyr.com/tratamientos-terciarios-reutilizacion-agua/>
- AEDyR. (2019, 2 julio). Reutilización de agua y su régimen jurídico en España. *Asociación Española de Desalación y Reutilización*. <https://aedyr.com/reutilizacion-agua-regimen-juridico-espana/>
- AEDyR. (2019, 16 julio). Reutilización de agua en Europa. Hacia una regulación común. *Asociación Española de Desalación y Reutilización*. <https://aedyr.com/reutilizacion-agua-europa-hacia-regulacion-comun/>
- AEDyR. (2019, 3 septiembre). Novedades del nuevo Reglamento europeo sobre reutilización de agua: usos, calidades y controles. *Asociación Española de Desalación y Reutilización*. <https://aedyr.com/novedades-nuevo-reglamento-europeo-reutilizacion-agua-usos-calidades-controles/>
- Ahmed, W., Angel, N., Edson, J., Bibby, K., Bivins, A., O'Brien, J. W., Choi, P. M., Kitajima, M., Simpson, S. L., Li, J., Tschärke, B., Verhagen, R., Smith, W. J. M., Zaugg, J., Dierens, L., Hugenholtz, P., Thomas, K. V., y Mueller, J. F. (2020). First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Science of the Total Environment*, 728, 138764. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764>
- Alda Vidal, C. (2020, 12 noviembre). Coronavirus lockdown caused dramatic changes in water consumption, research finds. *Smart Water Magazine*. <https://smartwatermagazine.com/news/university-manchester/coronavirus-lockdown-caused-dramatic-changes-water-consumption-research>
- Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento. (2017). *Informe sobre aguas residuales en España*. <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/informe-sobre-aguas-residuales-en-espana>
- Aznar-Crespo, P., Aledo, A., y Melgarejo, J. (2019). Percepción social e implementación de la reutilización de aguas regeneradas por parte de comunidades de regantes. En J. Melgarejo Moreno (Ed.), *Congreso Nacional del Agua Orihuela. Innovación y Sostenibilidad*. Universidad de Alicante. <https://doi.org/10.14198/Congreso-Nacional-del-Agua-Orihuela-2019>

- Banco Mundial. (2017, 4 mayo). Las APP son cruciales para mejorar la calidad de la infraestructura en América Latina. *Banco Mundial Birf-Aif*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2017/05/04/ppps-vital-to-improve-infrastructure-quality-in-latin-america>
- Bijlsma, L. (2015, 14 julio). ¿Qué es la epidemiología de las aguas residuales? *iAgua*. <https://www.iagua.es/noticias/espana/universitat-jaume-i-castellon/15/07/14/que-es-epidemiologia-aguas-residuales>
- Cansi, F. y Cruz, P. M. (2020). "Agua nueva": notas sobre sostenibilidad de la economía circular. *Sostenibilidad: económica, social y ambiental*. <https://doi.org/10.14198/Sostenibilidad2020.2.04>
- Da Silva Antunes de Souza, M. C. y Pasold, C. L. (2019). La reutilización del agua en el ámbito de la economía circular y sostenibilidad. *Revista Chilena de Derecho y Ciencia Política*. <https://doi.org/10.7770/RCHDCP-V10N2-ART2024>
- Díaz Lázaro, J. A. (2021, 10 marzo). La economía circular, el agua y la reutilización. *iAgua*. <https://www.iagua.es/blogs/jose-antonio-diaz-lazaro/economia-circular-agua-y-reutilizacion>
- Dirección General de Política de Promoción de la Inversión Privada. (s.f.). Mecanismos para la promoción de la inversión privada. Asociaciones público privadas y obras por impuestos. Ministerio de Economía y Finanzas. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_privada/eventos/taller_PRODUCIR_02092016.pdf
- Fernandes Moreira, V. (2011). *La eficacia del sistema de protección y reutilización del agua en España y Brasil. Un análisis jurídico ambiental derivado de la política de la Unión Europea*. [Tesis doctoral]. Universidad de Salamanca. https://gedos.usal.es/bitstream/handle/10366/108959/DDAFP_Fernandes_Moreira_V_LaEficaciaDelSistema.PDF;jsessionid=7405F1849DFEB9127204002620937A05?sequence=1
- Iturregui Byrne, P. (2016). *Negocios verdes en el Perú. Un informe para el sector privado*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Leite Garcia, M., y Groth, T. R. (2017). *XXVI Encontro Nacional do Conpedi Brasília – DF: Direito e Sustentabilidade II, CONPEDI*. <https://www.conpedi.org.br/>
- Martín Mateo, R. (1985). Jurisprudencia ambiental del Tribunal Supremo Español desde el cambio político. *Revista de Administración Pública*, 108, p. 190.
- Mateo-Sagasta, J. (2017). *Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe Estado, principios y necesidades*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

- Medema, G., Heijnen, L., Elsinga, G., Italiaander R., y Brouwer, A. (2020). Presence of SARS-Coronavirus-2 RNA in Sewage and Correlation with Reported COVID-19 “Prevalence in the Early Stage of the Epidemic in the Netherlands”. *Environmental Science & Technology Letters*, 7, 511-516. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.estlett.0c00357>
- Melgarejo Moreno, J. (2009). Efectos ambientales y económicos de la reutilización del agua en España. *Clm. economía*, 15, 245-270.
- Melgarejo Moreno, J. (2019). *Congreso Nacional del Agua Orihuela. Innovación y Sostenibilidad*. Universidad de Alicante. <https://doi.org/10.14198/Congreso-Nacional-del-Agua-Orihuela-2019>
- Méndez Vega, J. P., y Marchán Peña, J. (2008). *Diagnostico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS saneamiento en el Perú y Propuestas de Solución*. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. (2018). *España Circular 2030. Estrategia española de economía circular*. https://www.miteco.gob.es/images/es/180206economicircular_tcm30-440922.pdf
- Molina Giménez, A. (2016). Aproximación al régimen jurídico de la reutilización de aguas regeneradas en España. *Agua y Territorio*, 8, 36-47.
- Nolasco, D. A. (2010). *Desarrollo de proyectos MDL en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Desarrollo-de-proyectos-MDL-en-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales.pdf>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Ministerio del Ambiente del Perú. https://oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Organización Mundial de Salud. (2019). https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019?gclid=EAIAIQobChMIhqZ0smr7gIV88uGCh1ImQAMEAAYASAAEgK1c_D_BwE
- Organización Mundial de Salud. (2020). https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses?gclid=EAIAIQobChMIkQh8uaP7wIVGPjICh1UJA83EAAAYASAAEgJTRPD_BwE
- Osorio Robles, F. (2010) *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes. Aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales*. Ediciones Díaz de Santos.
- Paucar Aedo, Flor, y Iturregui Byrne, P. (2020). Los desafíos de la reutilización de las aguas residuales en el Perú. *South Sustainability*. <https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/download/599/659/>

- Pérez Morales, A., Gil Meseguer, E., y Gómez Espín, J. M. (2014). Las aguas residuales regeneradas como recurso para los regadíos de la demarcación hidrográfica del Segura (España). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 64, 151-175. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4653667.pdf>
- Prats Rico, D. (s.f.). *Conceptos generales sobre reutilización. Calidad del agua y usos posibles*. <https://studylib.es/doc/5661653/conceptos-generales-sobre-reutilizaci%C3%B3n-calidad-del-agua>
- 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 no explotado*. WWAP, UNESCO.
- Real Ferrer, G. (2016). Residuos y Sostenibilidad. El Modelo Europeo. La opción por la termovalorización. *Revista Aranzadi de Derecho Ambiental*, 35, 57-87.
- Red Iberoamericana para el Estudio y la Gestión Sostenible del Agua y el Saneamiento. (2020). *Establecimiento de un sistema de alerta temprana para el monitoreo, Seguimiento y respuesta a la pandemia de la COVID 19 en Colombia, a Partir de las aguas residuales domésticas*. <https://www.uniagraria.edu.co/red-aguas/>
- Rico Amorós, A. M., Arahuetes Hidalgo, A., y Morote Seguido, Á. F. (2016). Depuración y reutilización de aguas residuales regeneradas en las regiones de Murcia y Valencia. En J. F. Vera, J. Olcina, y M. Hernández (Eds.), *Paisaje, cultura territorial y vivencia de la Geografía. Libro Homenaje al profesor Morales Gil*. Universidad de Alicante.
- Romero Córdor, E. (Ed.). (2020). Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico, Instituto Nacional de Estadística e Informática. http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf
- Ruiz de Apodaca Espinoza, Á. M. (2001). *Derecho Ambiental Integrado: La regulación de los lodos de depuradora y de sus destinos*. Universidad de Navarra.
- Santos, M. (2020, 3 diciembre). Controlar las aguas residuales, una herramienta barata y rentable para frenar al COVID. *El Ágora diario del agua*. <https://www.elagoradiario.com/agua/agua-y-salud/aguas-residuales-herramienta-rentable-covid/>
- Saurí Pujol, D. (2019). Reciclaje y reutilización de agua en el sector doméstico: El caso de Sant Cugat del Vallés (Barcelona). En J. Melgarejo Moreno (Ed.), *Congreso Nacional del Agua Orihuela. Innovación y Sostenibilidad*. Universidad de Alicante. <https://doi.org/10.14198/Congreso-Nacional-del-Agua-Orihuela-2019>
- Suarez López, J. (2008). *Calidad de Aguas en Ríos Autodepuración*. Universidade da Coruña. ftp://ceres.udc.es/master_en_ingenieria_del_agua/master%20antiguo_antes%20del%202012/Segundo_Curso/Modelos_de_Calidad_de_Aguas/material%202010-2011/MCA_Tema_5_MODELOS_DE_CALIDAD_DE_AGUAS_EN_RIOS.pdf

- Trapote Jaume, A. (2013). *Depuración y Regeneración de Aguas Residuales Urbanas*. Universidad de Alicante.
- Vives, M. (2021, 29 noviembre). Conoce las mejoras de las cuatro depuradoras de agua en Alicante y Valencia. *Información*. <https://www.informacion.es/alicante/2021/11/29/mejoras-cuatro-depuradoras-agua-residuales-59547724.html>
- Winpenny, J., Heinz, I., y Koo-Oshima, S. (2013). *Reutilización del agua en la agricultura: ¿beneficios para todos?* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. <http://www.fao.org/3/i1629s/i1629s.pdf>