



SOCIEDAD-MEDIO AMBIENTE

El futuro fluye

Gotas de cambio en el análisis de la
contaminación y sostenibilidad hídrica.
Casos de estudio

***Editor.* Oscar Tinoco Gómez**

Jorge Enrique Castillo Cueva
Schelah Nadia De la Colina Rivas
Miguel Angel Oruna Rodriguez
Alberto Rodriguez Palacios Miñano
Aldo Guillermo Rivadaneira Cuya
Darwin Dean Duran Janampa
Percy Wenceslao Lature Bustamante
Alcides Guillermo Joo Aguayo
Augusto Denis Madueño Macedo

Eduardo Julian Villarroel Nuñez
Juan Enrique Sigarróstegui Gutiérrez
Duilio Angel Aranda Ipince
Silvia Coronado Ramirez
Luis Adrián González Quiñónez
Pedro Jesús De Bracamonte Morales
Julio Douglas Vergara Trujillo
Deina Candelaria Tinoco Orihuela
Oscar Rafael Tinoco Gómez

El futuro fluye

Gotas de cambio en el análisis de la
contaminación y sostenibilidad hídrica.

Casos de estudio

Editor. Oscar Tinoco Gómez

El futuro fluye

Autores:

- | | |
|-------------------------------------|--|
| © Jorge Enrique Castillo Cueva | © Eduardo Julian Villarroel Nuñez |
| © Schelah Nadia De la Colina Rivas | © Juan Enrique Sigarróstegui Gutiérrez |
| © Miguel Angel Oruna Rodriguez | © Duilio Angel Aranda Ipince |
| © Alberto Rodriguez Palacios Miñano | © Silvia Coronado Ramirez |
| © Aldo Guillermo Rivadaneira Cuya | © Luis Adrián González Quiñónez |
| © Darwin Dean Duran Janampa | © Pedro Jesús De Bracamonte Morales |
| © Percy Wenceslao Lature Bustamante | © Julio Douglas Vergara Trujillo |
| © Alcides Guillermo Joo Aguayo | © Deina Candelaria Tinoco Orihuela |
| © Augusto Denis Madueño Macedo | © Oscar Rafael Tinoco Gómez |

Editado por :

© Oscar Rafael Tinoco Gómez
Calle El Abutillon 3881, Urb. Las Palmeras - Los Olivos
otinocog@unmsm.edu.pe

Diagramación de texto, maquetación y diseño:

© Carlos Alberto Vega Vidal

Hecho el depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2025-00101

Primera edición digital, Enero 2025

ISBN: 978-612-03-0468-6

Libro electrónico disponible en: [http:// librosctscafe.ctscafe.pe/](http://librosctscafe.ctscafe.pe/)

ISBN: 978-612-03-0468-6



9 786120 304686

Capítulo 1

Reúso de las aguas residuales en Perú: retos y oportunidades

Oscar Rafael Tinoco Gómez

INTRODUCCIÓN

Importancia del recurso hídrico en el planeta tierra

A principios del presente siglo, el Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo daba cuenta aspectos fundamentales para abordar su estudio en la actualidad:

- La importancia del agua radica, entre otras cosas, “es el elemento más frecuente en la Tierra, únicamente 2,53% del total es agua dulce y el resto es agua salada”.
- Se estima que “las dos terceras partes del agua dulce se encuentran inmovilizadas en glaciares y al abrigo de nieves perpetuas”.
- El papel de las precipitaciones sigue siendo “la principal fuente de agua para todos los usos humanos y ecosistemas”.
- La humanidad “extrae un 8% del total anual de agua dulce renovable y se apropia del 26% de la evapotranspiración anual y del 54% de las aguas de escorrentía accesibles”.
- Debido a la explosión demográfica en curso, “el consumo de agua per cápita aumenta (debido a la mejora de los niveles de vida), la población crece y en consecuencia el porcentaje de agua objeto de apropiación se eleva”. Esto permite señalar “que la cantidad de agua existente para todos los usos está comenzando

a escasear y ello nos lleva a una crisis del agua”.

- Debido a la acción antrópica, “los recursos de agua dulce se ven reducidos por la contaminación. Unos 2 millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas (fertilizantes, pesticidas y residuos de pesticidas)”.
- Se estima que “la producción global de aguas residuales es de aproximadamente 1.500 km³. Asumiendo que un litro de aguas residuales contamina 8 litros de agua dulce, la carga mundial de contaminación puede ascender actualmente a 12.000 km³”.
- Se estima que “a mediados del presente siglo, 7.000 millones de personas en 60 países sufrirán escasez de agua, en el peor de los casos, y en el mejor se tratará de 2.000 millones de personas en 48 países”.
- Se estima que al 2003 “1.100 millones de personas carecen de instalaciones necesarias para abastecerse de agua y 2.400 millones no tienen acceso a sistemas de saneamiento”.
- Estudios de larga data permiten afirmar que “una reducción del agua disponible ya sea en la cantidad, en la calidad, o en ambas, provoca efectos negativos graves sobre los ecosistemas”.
- Si bien es cierto que “el medio ambiente tiene una capacidad natural de absorción y de autolimpieza”. Pero, si se excede, “la biodiversidad se pierde, los medios de subsistencia disminuyen, las fuentes naturales de alimentos (por ejemplo, los peces) se deterioran y se generan costos de limpieza extremadamente elevados”.
- Alrededor del “48% de la población mundial actual vive en pueblos y ciudades. En el 2030 la proporción será de alrededor del 60%”. Se deduce que “a mayor crecimiento económico mayor urbanización, tal como ha sucedido en los últimos cuarenta años. Esto conducirá a una excesiva concentración de los desechos. Se proyecta que si “la gestión de los residuos es precaria o inexistente, las ciudades se transforman en los entornos más peligrosos que existen en el mundo”.
- Según estimaciones “el uso anual global de agua por parte de la industria aumentará de 725 km³ en 1995 a unos 1.170 km³ en 2025. El uso industrial representará entonces un 24% del consumo total de agua”.

- Se ha constado que “la mayor parte de los efluentes vertidos de muchas industrias son de materias primas en exceso, que podrían ser captados y reutilizados, reduciendo así los insumos y los costos”.
- “De los 8,000 millones de habitantes en el mundo, más de 2,300 millones viven en países que sufren insuficiencia del recurso hídrico, al menos en parte del año”.
- “Unos 3,600 millones no cuentan con instalaciones sanitarias y 2,300 millones no podían lavarse las manos en casa”.
- Finalmente, “el 26% de los residentes carece de agua potable y el 46% no tiene acceso a un saneamiento gestionado en forma segura”.

Mucho de lo señalado en dicho informe mantiene vigencia y/o se ha verificado en el devenir de estas últimas dos décadas

El agua es uno de los principales recursos del planeta tierra y en particular del Perú. Esto se refleja en un informe de la Unesco, en donde se señala que “El agua fomenta la prosperidad, al satisfacer las necesidades humanas básicas, promover la salud, los medios de vida y el desarrollo económico, garantizando, además, la seguridad alimentaria y energética y protegiendo la integridad del medio ambiente”. (Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2024).

Asociado al desarrollo social y económico, a la creciente urbanización de localidades rurales y un crecimiento demográfico con tendencia creciente, la demanda de agua dulce registra un incremento anual del 1% (Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2024). Dicho informe resalta los siguientes indicadores:

- Alrededor del 50% de la población mundial presenta “escasez de agua al menos durante parte del año”.
- Aproximadamente el 25% de la población mundial presenta “niveles de estrés hídrico extremadamente altos y utiliza más del 80% de su suministro renovable anual de agua dulce”.

Según la FAO (2013), el nivel de consumo de agua “ha estado creciendo a más del doble de la tasa de aumento de la población en el siglo “. Todo ello conduce al incremento del estrés hídrico a nivel mundial. Un informe de Unesco (2020) proyecta “que, debido al cambio climático, para el año 2050 alrededor de 685

millones de personas viviendo en más de 570 ciudades, enfrentarán a una disminución adicional de disponibilidad de agua dulce de por lo menos 10%”. (Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, 2020). Los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) al 2030 dependen en mucho de una gestión adecuada del agua.

El recurso hídrico en el Perú

En el caso peruano, un documento de la Autoridad Autónoma del Agua (ANA, 2015) sobre Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos resume los principales aspectos de los recursos hídricos y su problemática:

- Debido a la presencia de la Cordillera de los Andes existen 159 cuencas, concentradas en tres regiones hidrográficas: en la región hidrográfica del Pacífico (21,8% del territorio, 62 cuencas); en la del Amazonas (74,6% del territorio, 84 cuencas) y en la del Titicaca (3,6% del territorio, 13 cuencas).
- Nuestro país “cuenta con importantes recursos hídricos provenientes de fuentes naturales como glaciares, lagos, lagunas, humedales, ríos y acuíferos. De igual manera, fuentes alternativas como aguas desalinizadas provenientes del mar y aguas residuales tratadas”.
- El Perú “concentra el 71% de los glaciares tropicales de los Andes Centrales habiéndose registrado un total de 3044 glaciares. En los últimos cuarenta años se ha observado un “sostenido retroceso atribuible al calentamiento global, que repercute en la provisión de recursos hídricos para el consumo humano, agricultura, industria y generación de Energía”.
- Se ha constatado que “las ventajas del proceso de desalinización del agua de mar son enormes. Sin embargo, el costo de desalinización sigue siendo elevado en comparación con el uso de fuentes superficiales de agua, costo que tiende a disminuir con las mejoras tecnológicas”.
- Las aguas residuales tratadas “constituyen una importante fuente alternativa de agua que podrían sustituir importantes volúmenes de agua de primer uso, en actividades que no requieren la calidad de agua potable”.
- La implementación del tratamiento de aguas residuales impactará” en la reducción de riesgos para la salud pública, la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación y posterior disminución de los niveles de contaminación que afectan la calidad del agua”.

De acuerdo a la ley de recursos hídricos del estado peruano (2015) “el agua tiene valor sociocultural, valor económico y valor ambiental, por lo que su uso debe basarse en la gestión integrada y en el equilibrio entre estos. El agua es parte integrante de los ecosistemas y renovable a través del ciclo hidrológico”.(Título I, Artículo 1, Ley 29338)

Según un Informe del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI,2024):

- El **73,1% de los peruanos** presenta dificultades de acceso “a agua gestionada de manera segura (no reciben el servicio por fuentes de redes públicas, pilones o pilas)”
- Se constata que la carencia de agua segura es superior en el área rural con 97,5%; mientras que en la urbana se registra un 67,8% en el 2023”.
- Se estima que “**21,6% de peruanos no cuenta con alcantarillado, desagüe**, ni otra forma de disposición sanitaria de excretas. Esta población se considera a los que no cuentan con zanjas, pozo séptico, tanque u otros dentro o fuera de sus viviendas”.
- Respecto al “acceso a sistemas de alcantarillado y sanitarios” se estima que su carencia afecta en “zonas rurales al 59,9% de las comunidades, en comparación con solo el 12,3% en áreas urbanas. Esto implica que “existe una brecha significativa respecto a infraestructura sanitaria a entre ambos entornos”.

MARCO TEÓRICO

Aguas residuales

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) publicó en el año 2014 las directrices sobre la fiscalización ambiental de las aguas residuales en el Perú. En dicho documento se presentan las siguientes definiciones:

Las **aguas residuales** son “aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado”.

Las **aguas residuales industriales** “son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras”.

Las **aguas residuales domésticas** “son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente”.

Las **aguas residuales municipales** “son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado”.

Casi todas las actividades de los seres humanos que involucran el uso de agua generan aguas residuales. Existe una relación directamente proporcional entre “la demanda global de agua, el volumen de aguas residuales generadas y su nivel de contaminación en todo el mundo” (Informe UNESCO, 2017)

En el mismo documento (OEFA, 2014) se resaltan los siguientes problemas de las aguas residuales en el Perú:

- A nivel nacional existe “déficit de cobertura por Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS)”
- Existen **50 EPS** Saneamiento que cubren “al **69,65%** de la población urbana. La **población no cubierta** vierte directamente sus aguas residuales sin tratamiento al mar, ríos, lagos, quebradas o las emplean para el riego de cultivos”.
- Estas “aguas residuales sin tratamiento alguno y las aguas residuales tratadas inadecuadamente contaminan los cuerpos de agua natural”
- Existe “sobrecarga de aguas residuales en las plantas de tratamiento cuya infraestructura es insuficiente, lo cual origina que los efluentes tratados excedan los límites máximos permisibles (LMP), y no se cumplan con los estándares de calidad ambiental (ECA)”.
- Existen “Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (**PTAR**)”, **las mismas que utilizan diferentes tecnologías** (lagunas facultativas, lagunas aireadas, lodos activados o filtros percoladores).

En el Perú existen diferentes entidades relacionadas a la gestión de los recursos hídricos, entre las que destacan OEFA, ANA, Ministerio de Agricultura (MINAGRI), Ministerio de la Producción (PRODUCE), Ministerio del Ambiente

(MINAM), gobiernos regionales y gobiernos locales. Por otro lado, las actividades industriales se concentran mayoritariamente en las zonas urbanas.

El documento de OEFA (2014) ilustra dos casos típicos del vertimiento de aguas residuales por la industria, con y sin asociarse a una PTAR.

Imagen N°1: Caso 1



Fuente: OEFA, 2014

Imagen N°2: Caso 2



Fuente: OEFA, 2014

El informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos a nivel mundial señala las siguientes cifras: “países de ingresos altos tratan cerca del 70% de las aguas residuales municipales e industriales que generan. Países de ingresos medios-altos el 38%, 28% en países de ingresos medios-bajos. En países de ingresos bajos solo el 8% recibe algún tratamiento”.

Desde la perspectiva técnica, en el mismo informe se afirma que “las aguas residuales se componen, básicamente, de un 99% de agua y un 1% de sólidos disueltos, suspendidos o coloidales”.

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

La ODS 6: factor clave para el tratamiento de las aguas residuales

En septiembre de 2015, la Organización de las Naciones Unidas estableció la Agenda 2030, constituida por 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS), cada uno de los cuales comprende metas específicas que deben alcanzarse hasta el 2030. Esta Agenda, a través de sus 17 ODS presenta 169 metas y 231 indicadores, cuyo logro compromete a sus los Estados miembros.

El **ODS 6** se orienta a “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”.

El Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, publicado el año 2023, señala un dato alarmante: “el mundo no está alcanzando la mayoría de los Objetivos para el 2030”. Entre las principales anotaciones de este informe con respecto al ODS se señalan las siguientes:

- Se reconocen importantes avances pero “miles de millones de personas continúan sin acceso a agua potable segura, saneamiento ni higiene”.
- Si se quiere llegar a “la cobertura universal para el 2030 será necesario aumentar sustancialmente las tasas actuales de progreso en el mundo: seis veces en el caso del agua potable, cinco veces en el del saneamiento y tres veces en el de la higiene”.
- Se reporta que “la eficiencia en el uso del agua aumentó un 9 %, pero el estrés hídrico y la escasez de agua siguen siendo motivo de preocupación en muchas partes del mundo”.
- A la gravedad de la situación descrita se le asocian los conflictos armados y el incesante cambio climático.
- Finalmente se señala: “Resulta alentador que 44 países hayan estado a punto de alcanzar la meta y que 22 hayan demostrado que es posible un progreso real y rápido, pero es necesaria una aceleración urgente en 107 países”.

La meta 6.3 de la Agenda 2030 establece: “De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial”

Para el seguimiento de esta meta 6.3 se establecieron los siguientes indicadores:

6.3.1 Proporción de aguas residuales tratadas de manera adecuada

6.3.2 Proporción de masas de agua de buena calidad

En el caso peruano la Autoridad Nacional del Agua (ANA) presenta los siguientes indicadores, con cifras trabajadas por el INEI:

Grafico N°1



Este informe advierte limitaciones respecto a bases de datos adecuadas para tal efecto; aún así se concluye que “el 77.1% de la población cuenta con servicios de saneamiento básico (BSS), es decir que la instalación privada permite la separación de las excretas del contacto humano”.

Con respecto al segundo indicador relacionado con la meta 6.3, el informe de la ANA (2020) ilustra el procedimiento de su cálculo: se basa “en la medición de cinco parámetros básicos: fósforo total, nitrógeno amoniacal, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, que representan las presiones más importantes a nivel global, tales como el enriquecimiento de nutrientes, agotamiento de oxígeno, salinización y acidificación”.

En la siguiente figura se ilustra el resultado de la medición de este indicador:

Gráfico N°2



Fuente: Autoridad Nacional del Agua – ANA. Dirección de Calidad y Evaluación de recursos Hídricos

Del gráfico se desprende que se registra el 74.4% de cuerpos de agua con mala calidad ambiental en el Perú.

RETOS Y OPORTUNIDADES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ

En el año 2017, el Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos abordó el tratamiento de las aguas residuales desde una perspectiva diferente y retadora: la posibilidad y necesidad de su reuso. En el mismo sentido, Rodríguez et al (2020), en un estudio auspiciado por el Banco Mundial, plantean que este tratamiento debe ir de “residuo a recurso”, en donde abordan esta problemática “Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe”. Esto último ubica el tema en los ámbitos de la denominada “economía circular”.

El Informe Mundial del 2017 sobre el desarrollo de los recursos hídricos considera fundamental desarrollar cuatro ciclos en la gestión del agua:

Cuadro N°1

Ciclo	Descripción
1. Prevención o reducción de la contaminación en la fuente	Priorizar aquellos métodos de control de la contaminación hídrica que se centren en la prevención y minimización de las aguas residuales, en lugar de los sistemas de tratamientos en la etapa final. Si no se realizan mediciones, no se puede identificar el problema y no se puede evaluar la eficacia de las políticas.
2. Recolección y tratamiento de aguas residuales	Las redes centralizadas de eliminación de desechos por flujos de agua siguen siendo el método más común de saneamiento y evacuación de las aguas residuales de origen doméstico, comercial e industrial. En el mundo, cerca del 60% de las personas están conectadas a un sistema de alcantarillado (si bien solo un pequeño porcentaje del total de aguas residuales recolectadas recibe tratamiento) En muchos países, los sistemas de tratamiento de aguas residuales centralizados a gran escala ya no serían la opción más viable para la gestión de aguas urbanas. Se ha observado una creciente tendencia a contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados, que atienden establecimientos individuales o pequeños grupos de establecimientos.
3. La utilización de aguas residuales como fuente alternativa de agua	En general, la reutilización de agua es más viable desde el punto de vista económico si el punto de reutilización se encuentra cerca del punto de producción. Tratar el agua residual hasta alcanzar un nivel de calidad de agua apropiado para el usuario (es decir, tratamientos «adecuados para el fin específico») aumenta las posibilidades de recuperar costos. La utilización de aguas residuales es también una opción más competitiva si consideramos que los precios del agua dulce también manifiestan los costos de oportunidad por su utilización y las tasas por contaminación reflejan los costos de eliminación de los contaminantes de los flujos de aguas residuales. El uso planificado de aguas residuales tratadas, completa o parcialmente, para los servicios de los ecosistemas puede aumentar la eficiencia del recurso y generar beneficios para los ecosistemas al reducir las extracciones de agua dulce y reciclar y reutilizar los nutrientes, permitiendo así el desarrollo de la industria pesquera y otros ecosistemas acuáticos gracias a la reducción de la contaminación del agua y la recarga de acuíferos agotados.
4. La recuperación de subproductos útiles	Existe un amplio potencial de las aguas residuales como fuente de recursos, como energía y nutrientes, que están poco abordados. Se puede recuperar energía, por ejemplo, para la generación de energía eléctrica, calefacción y refrigeración. La recuperación energética también puede ayudar a las instalaciones a reducir tanto costos operativos como su huella de carbono, lo cual permitiría mayores fuentes de ingresos mediante créditos de carbono y programas de comercio de emisiones de carbono. La recuperación combinada de nutrientes y energía también tiene gran potencial. La recuperación energética <i>ex situ</i> comprende la incineración de lodos en plantas centralizadas mediante procesos de tratamiento térmico. Es probable que la recolección y utilización de orina sea un elemento de la gestión ecológica de aguas residuales cada vez más importante, ya que esta contiene el 88% de nitrógeno y el 66% del fósforo que se encuentran en los desechos humanos, ambos componentes esenciales para el crecimiento de las plantas.

Fuente: Elaboración propia

Respecto al ciclo de gestión de los recursos hídricos, el Informe de las Naciones Unidas (2017) destaca que “la gestión de las aguas residuales generalmente recibe poca atención social y política en comparación con los retos del abastecimiento de agua, especialmente en el contexto de la escasez de agua”. Pero también señala que la inercia en el accionar respecto de las aguas residuales puede tener efectos nocivos “para la sostenibilidad del abastecimiento de agua, la salud humana, la economía y el medio ambiente”.

Es necesario añadir que tanto en el caso de las aguas residuales no tratadas o

parcialmente tratadas, cuando éstas se vierten se genera impactos negativos a los suelos, las aguas superficiales y también a las aguas subterráneas. Tener en cuenta, además, que los vertidos líquidos en lagos y ríos desembocan generalmente en los océanos.

Hasta el presente todavía no es posible determinar un patrón de la composición de las aguas residuales, es más, se puede señalar que ésta “varía en el mundo y está determinada por un amplio conjunto de factores, entre ellos el uso doméstico del agua y el nivel de comercialización/industrialización”.

En la siguiente tabla se muestran se presentan algunos de los principales contaminantes probablemente presentes en diferentes fuentes de agua residuales, a nivel mundial.

Cuadro N°2

Principales contaminantes de las aguas residuales, su fuente y efectos

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

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

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

Las aguas residuales generadas por el sector industrial constituyen otro tema controversial en el mundo. Esto debido a que los datos correspondientes son muy escasos. Según PNUMA (2007) se proyecta que para el año 2025 “el volumen de aguas residuales industriales se duplicará”

Cada actividad industrial, en promedio, genera efluentes con determinadas características, aspecto importante en la perspectiva de buscar la posibilidad del reuso.

En la siguiente tabla se ilustra estas características.

Cuadro N°3

Contenido de aguas residuales típicas en algunas industrias importantes	
Industria	Contenido típico de los efluentes
Pulpa y papel	• Ácidos lignosulfónicos clorados, ácidos de resina clorados, fenoles clorados e hidrocarburos clorados. Alrededor de 500 compuestos orgánicos clorados identificados • Compuestos colorados y halógenos orgánicos absorbibles (AOX) • Contaminantes que se caracterizan por DBO, DQO, sólidos en suspensión (SS), toxicidad y color
Hierro y acero	• Agua de enfriamiento que contiene amoníaco y cianuro • Productos de galvanización: benceno, naftaleno, antraceno, cianuro, amoníaco, fenoles, cresoles hidrocarburos aromáticos policíclicos • Aceites hidráulicos, sebo y sólidos en partículas • Agua ácida de enjuague y residuos de ácidos (clorhídrico y sulfúrico)
Minas y canteras	• Mezcla de partículas de roca • Tensioactivos • Aceites y aceites hidráulicos • Minerales no deseados, i.e., arsénico • Lodos con partículas muy finas
Industria de alimentos	• Altos niveles de concentraciones de DBO y SS • DBO y pH variable según la verdura, fruta o carne y la estación • Procesamiento de verduras: partículas altas, algunos compuestos orgánicos disueltos, tensioactivos • Carne: orgánicos fuertes, antibióticos, hormonas de crecimiento, pesticidas e insecticidas • Gastronomía: material orgánico vegetal, sal, saborizantes, materia colorante, ácidos, álcalis, aceites y grasas
Destilación	• DBO, DQO, SS, nitrógeno, fósforo, variable por procesos individuales • Variable de pH debido a agentes de limpieza ácidos y alcalinos • Temperatura alta
Productos lácteos	• Azúcares disueltos, proteínas, grasas y residuos de aditivos • DBO, DQO, SS, nitrógeno, fósforo
Químicos orgánicos	• Pesticidas, productos farmacéuticos, pinturas y tintes, productos petroquímicos, detergentes, plásticos, etc. • Materiales de productos base, subproductos, material de producto en forma soluble o en partículas, agentes de lavado y limpieza, disolventes y productos de valor agregado tales como plastificantes
Textiles	• DBO, DQO, metales, sólidos en suspensión, urea, sal, sulfuro, H₂O, NaOH • Desinfectantes, biocidas, residuos de insecticidas, detergentes, aceites, lubricantes de tejer, acabados para hilar, solventes usados, compuestos antiestáticos, estabilizantes, agentes tensioactivos, auxiliares orgánicos de procesamiento, materiales catiónicos, color • Ácido o alcalinidad alta • Calor, espuma • Materiales tóxicos, residuos de limpieza, tamaño
Energía	• Producción de combustibles fósiles: Contaminación de gases de petróleo y gas y fracking • Agua de calefacción/enfriamiento

Fuente: Basado en IWA Publishing (S.F), PNUAMA (2010) y Moussa (2008).

En un mundo globalizado y cada día más competitivo es necesario abordar el tratamiento de las aguas residuales como un reto y como una oportunidad de nuevos negocios, adoptando los esquemas de la economía circular y el paradigma de producción más limpia. Esto que ya fue vislumbrado en el 2017 (Informe Naciones Unidas sobre los recursos hídricos) como por investigadores auspiciados por el Banco Mundial (2020) se va concretizando de manera paulatina pero no tan intensa para los requerimientos del pleno cumplimiento del ODS 6 en la Agenda 2030. El informe de Naciones Unidas (2017) resume varias posibilidades de reuso del recurso hídrico en la industria:

- “El agua de enfriamiento y calefacción, así como las aguas pluviales, pueden ser adecuadas para el lavado, ajuste del pH y protección contra incendios.
- Otro caso, “el agua de procesos que no se trata lo suficiente para que su calidad sirva para los fines previstos tiene más potencial para reciclaje, (en materiales de transporte, agua de enjuague, torres de enfriamiento de agua, alimentación de calderas”, entre otros)”
- Otro aspecto importante: “el uso de aguas residuales o aguas residuales tratadas

por reciclaje es un proceso que se puede realizar muchas veces.”

- Simbiosis industrial. Constituye “una oportunidad notable para el uso de aguas residuales industriales y el reciclaje es la cooperación entre plantas” Esto se considera más “en parques industriales ecológicos que localizan estratégicamente industrias adyacentes entre sí para aprovechar de mejor manera la gestión y el reciclaje de aguas residuales”. Simbiosis que presenta un potencial interesante para las Pymes en el Perú.
- Sistemas de uso múltiple: procesos que “implican la reutilización en cascada de agua de mayor a menor calidad dentro de una cuenca hidrográfica pueden tener componentes industriales, por ejemplo, donde las aguas residuales domésticas pueden recuperarse para lavado y enfriamiento”

Por otro lado, El informe de investigadores auspiciados por el Grupo Banco Mundial (2020) también refuerza la idea de darle un uso adecuado a los residuos líquidos en general y a los efluentes industriales en particular. Se resalta, por ejemplo, la adopción del enfoque de economía circular en este propósito:

“Una de las principales ventajas de adoptarla en la gestión de aguas residuales es que la recuperación y el nuevo uso del recurso podrían transformar el saneamiento de ser un servicio costoso a uno que es autosostenible y añade valor a la economía”

De esto se desprende algo fundamental. Si deseamos transformar residuos en recursos, es menester alinear el tratamiento de las aguas residuales con metas que nos aproximen a una economía circular, de modo tal que la empresa orientada a los residuos se constituya en un socio clave de la empresa que las genera.

Este informe presentado por Rodríguez et al (2020) resume cuatro acciones fundamentales que garanticen esta necesaria transición de una economía lineal a una circular:

Cuadro N°4

Acción	Descripción
Desarrollar iniciativas para las aguas residuales como parte del marco de planificación de cuenca hidrográfica para maximizar los beneficios, mejorar la eficiencia y la asignación de recursos e involucrar a los actores pertinentes.	Priorizar “la planificación a nivel de cuenca” Para permitir “el aprovechamiento óptimo de instalaciones y programas de saneamiento, incluida la ubicación, calendarización y etapas de la infraestructura de tratamiento”
Desarrollar la empresa de servicios de agua del futuro sustituyendo el concepto de las plantas de tratamiento de aguas residuales por instalaciones de recuperación de recursos para aprovechar el valor del agua residual	Se requiere que “las plantas de tratamiento deban verse como instalaciones para la recuperación de recursos valiosos del agua residual: agua (para agricultura, el medio ambiente, la industria e incluso consumo humano), nutrientes (nitrógeno y fósforo), y energía”.
Explorar y apoyar el desarrollo de financiamiento innovador y de modelos de negocio sostenibles en el sector	Se requieren “subsídios más eficientes para el saneamiento, por lo menos durante un período de transición. Sin embargo, la existencia de subsidios, no significa que el sector deba depender totalmente de financiamiento convencional”. Es importante “desarrollar modelos financieros y de negocio innovadores que aprovechen esos posibles flujos adicionales de nuevos ingresos”
Poner en práctica los marcos de política, institucional y reglamentario (PIR) necesarios para promover un cambio de paradigma en el sector	Si se desea promover “el desarrollo de estos proyectos innovadores a escala, se requieren cambios al entorno de PIR y es necesario valorar correctamente los recursos hídricos”. Es necesario fortalecer “los esfuerzos actuales en planificación de cuencas en la región”. El rol de “los gobiernos” debe consistir en “apoyar a las organizaciones de cuenca para que éstas puedan mejorar su pericia técnica y su capacidad de planificación, supervisión y ejecución.”

Fuente: Elaboración propia

Obermann (2024), en el “I Foro de Economía Circular en agua y saneamiento” realizado en Lima, resume algunos aspectos que es necesario resaltar:

- Las aguas residuales son parte de la solución, no del problema

Se requiere adoptar un conjunto de medidas que promuevan el reuso de estas aguas residuales

Gráfico N°3



Fuente: Obermann (2024)

Plantea además enfocar los esfuerzos de todos los actores involucrados para lograr los objetivos de la Agenda 2030 en el Perú, relacionados con el ODS 6.

Gráfico N°4



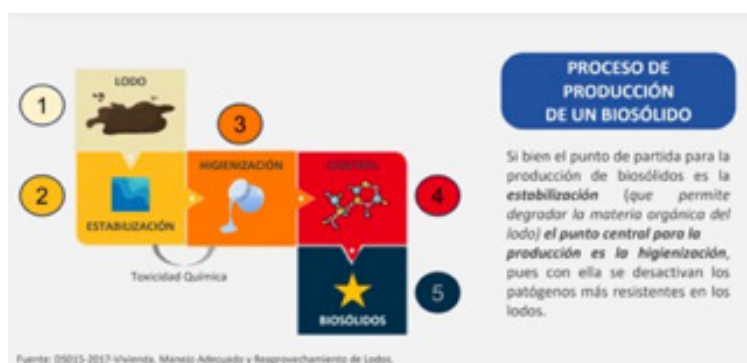
Fuente: Obermann (2024)

Alegre (2024) en el “I Foro de Economía Circular en agua y saneamiento” realizado en Lima, aborda la gestión circular de los biosólidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Cabe precisar que se define el “biosólido” como “el producto que resulta de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de AR domésticas y municipales”.

En su ponencia el Ingeniero Alegre ilustra el manejo de los biosólidos en dicho proceso.

Gráfico N°4



Fuente: Alegre (2024)

Alegre (2024) resalta la importancia de aplicar economía circular en estos procesos de manejo de biosólidos, a partir del Informe de Naciones Unidas (2017)

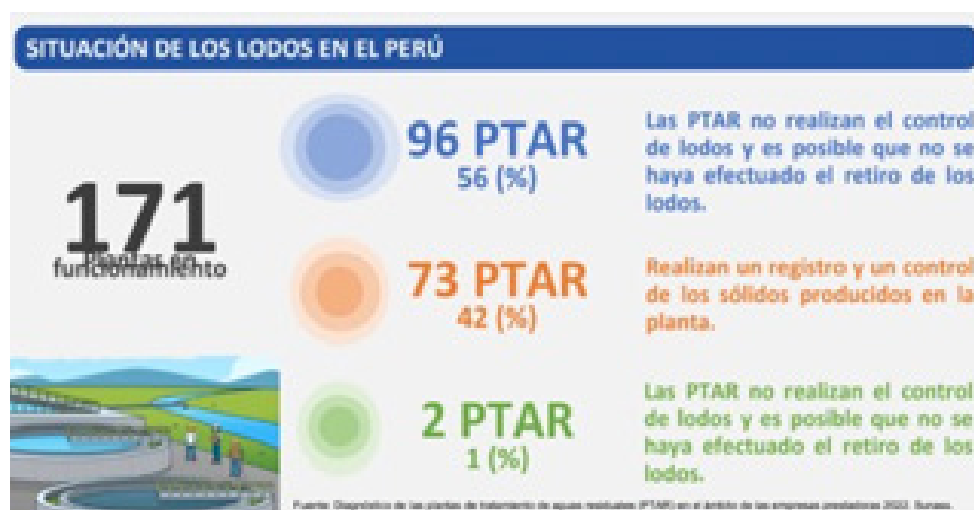
Gráfico N°5



Fuente: Banco Mundial (2017)

Finalmente, a partir de un informe de la SUNASS, Alegre (2024) ilustra indicadores sobre el manejo de los lodos en nuestro país.

Gráfico N°6



Fuente: Alegre (2024)

Además, Alegre (2024) da a conocer casos de éxito en el aprovechamiento de biosólidos en oportunidades de negocio:

Foto N°1



Fuente: Alegre (2024)

Foto N°2



Fuente: Alegre (2024)

Foto N°3



Fuente: Alegre (2024)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es sumamente importante que en el Perú se asuma como oportunidad el tratamiento de las aguas residuales. Desde el Estado se requiere la difusión de las normas legales correspondientes y se aliente a las PTAR y empresas en su conjunto para que transiten por este proceso. Las empresas generadoras de efluentes pueden y deben canalizar el reúso de las AR como una oportunidad de negocio, según la naturaleza de sus actividades.

REFERENCIAS

- Alegre, Marcos** (2024) Gestión circular de los biosólidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales: transformando desafíos en oportunidades. I Foro de Economía Circular en agua y saneamiento. Lima, Perú.
- ANA** (2015) Política y estrategia nacional de recursos hídricos.
- ANA** (2020) Indicadores Objetivo Desarrollo Sostenible 6. Perú..
- INEI** (2024) Informe sobre la situación de la pobreza en el Perú en 2023
- Obermann, Ingmar** (2024) Factores claves para promover el reúso de aguas y subproductos del sector saneamiento en Perú. I Foro de Economía Circular en agua y saneamiento. Lima, Perú.
- Rodriguez, Diego J.; Serrano, Hector Alexander; Delgado, Anna; Nolasco, Daniel; Saltiel, Gustavo.** (2020). De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe. © World Bank, Washington, DC. <http://hdl.handle.net/10986/33436> License: CC BY 3.0 IGO
- Unesco** (2020) Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020. Agua y cambio climático.

Unesco (2003) Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el mundo. Agua para todos, agua para la vida.

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

Acerca de los autores

Oscar Rafael Tinoco Gómez

Nació en Huaraz, capital del departamento de Ancash, sus estudios primarios los realizó entre Huaraz y Lima, la secundaria en la Gran Unidad Escolar Ricardo Bentín, Lima, su formación profesional la realizó en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), donde se recibió como Ingeniero Industrial. Su grado de Doctor lo obtuvo en la Universidad Nacional Federico Villarreal, en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Actualmente es Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UNMSM, docente Renacyt nivel VI y coordinador del Grupo de Investigación “Producción más limpia”.

Jorge Enrique Castillo Cueva

Doctorando en Ingeniería Industrial en UNMSM, Magister en Administración Estratégica de Negocios en CENTRUM, escuela de negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Ingeniero Industrial de la UNMSM, director de DASAMI Perú SAC, Catedrático universitario.

Schelah Nadia De la Colina Rivas

Doctorando en Ingeniería Industrial en UNMSM. Magister en Administración Estratégica de Empresas en CENTRUM. Especialista en Logística, Gestión de calidad e inocuidad de alimentos en empresas agroindustriales, exportadoras y retail. Consultor de empresas. Catedrático Universitario.

Miguel Angel Oruna Rodriguez

Magister en Administración de Empresas de la UPC. Ingeniero Industrial especializado en la optimización, control y seguimiento de procesos Administrativo, logísticos y de calidad. Profesional, Técnico en Computación e Informática; experiencia comprobada en administración de proyectos, desarrollo académico e investigación. Docente en las más reconocidas universidades e instituciones educativas del país en curso de pre y postgrado.

Alberto Rodríguez Palacios Miñano

Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister Gestión y Restauración del Medio Natural de la UB. Coordinador Académico de la UPN, Consultor en Gestión Ambiental y Docente Universitario.

Aldo Guillermo Rivadaneira Cuya

Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Administración de Empresas, Titulado en Ingeniería Industrial. Gerente Administrativo de LYM Asesoría y Turismo. Consultor de empresas manufactureras y de servicios. Docente Universitario.

Darwin Dean Duran Janampa

Nació en Huánuco en el año 1983. Ingeniero Industrial de profesión, Magister en ingeniería industrial por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, con estudios de doctorado en la UNMSM, especialización en ingeniería de proyectos, docencia superior y universitaria, estadística aplicada a la investigación científica, adscrito al Colegio de Ingenieros del Perú.

Percy Wenceslao Lature Bustamante

Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Gestión Estratégica Empresarial, Ingeniero Mecánico de Fluidos, Especialista en Theory of Constraints. Jefe del Equipo Control y Reducción de Fugas (e), Consultor Interno TOC en SEDAPAL.

Alcides Guillermo Joo Aguayo

Docente Investigador, Ingeniero de Proyectos, Magister en Project Management, Doctorando en Ingeniería Industrial. Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Project Management, Universidad Esan. Ingeniero Mecatrónico (UNI), docente nombrado facultad de Ingeniería Industrial (UNMSM), miembro del Grupo de Investigación Producción más limpia.

Augusto Denis Madueño Macedo

Nació en Lima en el año 1961. Ingeniero Industrial por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, doctorando en la misma especialidad por la UNMSM. Especialización en Informática e Ingeniería de Sistemas. Actualmente se desempeña como especialista en Innovación y Transferencia Tecnológica en el Instituto Tecnológico de la Producción, a la par que es docente en las áreas de pregrado y posgrado de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UNMSM. Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Educación, Ingeniero Industrial (UNMSM), miembro de la Red DOLAC - Red de Docentes de América Latina y del Caribe.

Eduardo Julian Villarroel Nuñez

Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Administración Estratégica de Negocios, Ingeniero Industrial, Ingeniero Químico. Director Académico de Ingeniería UTP, Consultor Empresarial en Estrategia y Mejora continua. Docente Universitario.

Juan Enrique Sigarróstegui Gutiérrez

Ingeniero Industrial por la Universidad Ricardo Palma con Maestría en Administración de Negocios de la URP y Doctorando en Ing. Industrial en la Universidad Mayor de San Marcos – 3er ciclo; experiencia en el planeamiento, control, operación y gestión de procesos en las áreas de mantenimiento, logística y calidad.

Duilio Angel Aranda Ipince

Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Administración Estratégica de Negocios. Director de AID Consulting, Agente Internacional de SEBRAE|PR en el Perú, Consultor de empresas y Docente Universitario.

Silvia Coronado Ramirez

Doctorando en Ingeniería Industrial, Ingeniero Industrial por la Universidad Nacional del Callao, Magister en Administración Estratégica de Negocios, Directora de Gestión Académica UTP. Docente universitario.

Luis Adrián González Quiñónez

Docente Investigador, Ingeniero de Mantenimiento, Máster en Sistemas de Gestión

Pedro Jesús De Bracamonte Morales

Ingeniero Industrial egresado de la Universidad Nacional de Trujillo, con Maestría en Gestión Pública otorgada por la Universidad San Martín de Porres USMP, y una segunda Maestría en Administración de Negocios MBA Executive en la Universidad César Vallejo UCV. Con 25 años de experiencia profesional y más de 10 años de labor docente.

Julio Douglas Vergara Trujillo

Ingeniero Industrial egresado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, MBA en Administración de Negocios y Finanzas Internacionales (UCSS-Universidad de Génova)

Deina Candelaria Tinoco Orihuela

Ingeniera Metalurgista y de Materiales egresada de la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP), con maestría en Seguridad y Salud en el Trabajo y una segunda maestría en Ingeniería Ambiental en la Universidad Nacional del Centro del Perú, con experiencia en el sector minero metalúrgico, industrial y docente en la Universidad Continental y Universidad Nacional del Centro del Perú.

ISBN: 978-612-03-0468-6

