

IO1 Módulo 2

“La reutilización del agua de las plantas de tratamiento de aguas residuales”

Por Universitat Rovira i Virgili



Substance of circular Economy concept as Efficacious
Determinant for the development of Successful entrepreneurship

2020-1-ES01-KA202-083137



Índice

La reutilización del agua de las plantas de tratamiento de aguas residuales.....	2
1. Introducción	2
2. Economía circular y las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	3
2.1. ¿Cuáles son los principales procesos de tratamiento de aguas residuales?	4
3. Innovación y economía circular en plantas de tratamiento de aguas residuales: retos y barreras.	6
3.1. Aplicación de biosólidos en los suelos	7
3.2. Recuperación de Nutrientes.....	10
3.3. Agua reciclada	12
3.4. Recuperación de energía.....	16
4. Casos de estudio.....	18
Caso de estudio no. 1: De las aguas residuales a las aguas agrícolas - una tecnología innovadora para combinar el tratamiento y la reutilización en la agricultura	19
Caso de estudio no. 2: Una tecnología avanzada de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos peligrosos	21
Caso de estudio no. 3: Procesos de ahorro de agua para la producción textil.....	23
5. Cuestionario	25
Referencias.....	27



La reutilización del agua de las plantas de tratamiento de aguas residuales

1. Introducción

Actualmente nos enfrentamos a muchos retos en cuanto al suministro de recursos y asimilación de desechos. Para hacer frente a esto, el discurso político europeo aborda la aplicación de la economía circular y pide un enfoque en la innovación en relación con las empresas y especialmente la industria. Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) pueden ser una parte importante de la sostenibilidad circular debido a la integración de la producción de energía y la recuperación de recursos durante la producción de agua limpia. En un futuro próximo, las PTAR se convertirán en sistemas tecnológicos “ecológicamente sostenibles”. Últimamente, muchas iniciativas y startups relacionadas con la Economía Circular han aumentado considerablemente.

En este módulo abordamos uno de los principales retos en el ámbito de las aguas residuales: convertir las aguas residuales en diferentes recursos a través de iniciativas que promuevan la economía circular.

El propósito de este módulo es presentar la aplicación de nuevos conceptos y tecnologías para mejorar la sostenibilidad a largo plazo de la gestión de aguas residuales. Se presentan experiencias innovadoras de aplicar la economía circular al área de aguas residuales para mejorar el conocimiento de emprendedores y startups e inspirarlos para su aplicación.

En este módulo presentamos enfoques comunes entre las iniciativas de economía circular y las aguas residuales, exploramos áreas de oportunidad común y cómo la aplicación de ideas de economía circular puede generar un mayor valor. También identificamos proyectos, enfoques y objetivos que están alineados tanto con la Gestión Sostenible del Agua como con la Economía Circular.

Al final de este módulo, aprenderás:

- Los principios de la economía circular y las plantas de tratamiento de aguas residuales
- Los principales procesos de tratamiento de aguas residuales
- La aplicación de la economía circular en una PTAR: retos y barreras
- Al final del módulo, hemos incluido 3 estudios de caso que se analizan con mayor detalle.

Para una comprensión completa de este módulo, recomendamos tener algunos conocimientos previos sobre el tema.



2. Economía circular y las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

La 'Agenda: 2030' de las Naciones Unidas ha definido el acceso universal al agua potable como uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y alienta a los gobiernos a establecer PTARs para mejorar la calidad del agua y garantizar el acceso al agua potable para las personas que enfrentan graves problemas relacionados con el agua. Los recursos hídricos en todo el mundo se están contaminando cada vez más debido a la falta de regulaciones estrictas sobre las industrias para la eliminación de desechos. Las industrias y fábricas que descartan desechos industriales, metales pesados, colorantes, materia orgánica, bacterias y material tóxico en los recursos hídricos son muy contaminantes.

Principios de la economía circular

Para considerar cualquier iniciativa relacionada con la economía circular, es necesario señalar la correlación entre la economía circular y el tratamiento de aguas residuales. Para ayudar a los emprendedores a centrarse en la transición a una economía circular y desarrollar soluciones con expertos en sistemas de agua, debe haber un entendimiento común de los conceptos clave.

La economía circular consiste en actividades que preservan el valor en forma de energía, trabajo y materiales. La economía circular surge principalmente a través de tres "acciones" clave, es decir, los llamados Principios de las 3R: Reducción, Reutilización y Reciclaje.

- 1) El principio de **Reducción** tiene como objetivo minimizar la entrada de energía primaria, materias primas y desechos mejorando la eficiencia en los procesos de producción (denominada ecoeficiencia) y de consumo, como introduciendo mejores tecnologías en PTAR.
- 2) El principio de **Reutilización** se refiere a "cualquier operación mediante la cual los productos o componentes se vuelvan a utilizar para el mismo fin para el que fueron concebidos". Por ejemplo, la escasez de agua en las regiones áridas y semiáridas ha llevado a la reutilización del agua como suministro alternativo de agua en algunas partes del mundo.
- 3) El principio de **Reciclaje** se refiere a "cualquier operación de recuperación mediante la cual los materiales de desecho se reprocesan en productos, materiales o sustancias, ya sea para el propósito original o para otros fines. Por ejemplo, el reciclaje de lodos de las PTAR permite beneficiarse de los recursos todavía utilizables y reducir la cantidad de residuos que necesitan ser tratados y / o eliminados, reduciendo así también el impacto ambiental relacionado.

Dentro del marco de las PTAR, se pueden agregar tres principios adicionales presentados por la **Fundación Ellen MacArthur** [1] al principio de las 3R:

- 1) **El Diseño Adecuado** resalta la importancia de la etapa de diseño en la búsqueda de soluciones para evitar el desperdicio y la contaminación. Este principio se aplica en las PTAR optimizando la cantidad de energía, minerales y químicos utilizados en los sistemas operativos.
- 2) **Mantener los Recursos en Uso** significa optimizar el rendimiento de los recursos de las PTAR (uso y reutilización de agua, energía, recuperación de nutrientes y químicos). Por ejemplo:
 - **Optimización de la extracción de energía o recursos** del sistema de agua,
 - **Maximización de su reutilización.** Según las legislaciones nacionales vigentes en todo el mundo, los propósitos de reutilización son variados, desde agrícolas, industriales, urbanos, recreativos, ambientales hasta el consumo humano. En la actualidad, un 80% de las aguas residuales se vierten en las vías fluviales del mundo sin ningún tipo de tratamiento.
 - **Optimización del valor generado en las interfaces del sistema hídrico** (valorización de lodos de depuradora) con otros sistemas como agricultura y otros usos,
 - **Recuperación de nutrientes** de aguas residuales y su uso como fertilizantes.

- 3) **Regeneración del capital natural:** este principio se basa en el hecho de que no solo tenemos que proteger, sino mejorar activamente el medio ambiente. Lo que tenemos que hacer es:
- Preservar y mejorar el capital natural (por ejemplo, prevención de la contaminación, calidad de los efluentes, etc.) y
 - Asegurar una interrupción mínima de los sistemas naturales de agua debido al uso humano.

AGUAS RESIDUALES Y ECONOMÍA CIRCULAR



Fuente: Ilustración propia

2.1. ¿Cuáles son los principales procesos de tratamiento de aguas residuales?

El tratamiento de aguas residuales es el procesado del agua de tal forma que pueda reutilizarse directamente o descargarse en el medio ambiente con un impacto negativo mínimo en el medio ambiente. Las aguas residuales están llenas de contaminantes, como bacterias, productos químicos y otras toxinas. Su tratamiento es la reducción de los contaminantes hasta niveles aceptables para que el agua sea segura. Los procesos para el tratamiento de aguas residuales son los siguientes:

Procesos de tratamiento físico / químico

Los procesos físicos **eliminan los sólidos** de las aguas residuales a medida que fluyen a través de pantallas (o medios filtrantes), o bien se eliminan por sedimentación por gravedad o flotando al aire. Las partículas quedan atrapadas en la superficie y pueden eliminarse. También se pueden usar productos químicos en estos tratamientos para inducir cambios en los contaminantes que permitan eliminarlos. Los cambios pueden llevar a que las sustancias formen flóculos o una masa de partículas más pesada para facilitar la eliminación por procesos físicos. Los lodos, los residuos sólidos que se depositan en la superficie de los tanques, se eliminan por grandes raspadores y se empujan al centro de los tanques cilíndricos, y luego se bombean fuera de los tanques para su posterior tratamiento. El agua restante se bombea después para un tratamiento secundario (proceso biológico).

Procesos de tratamiento biológico

Los procesos de tratamiento biológico (también *procesos de lodos activados*) son sistemas que utilizan microorganismos para **degradar los contaminantes orgánicos** de las aguas residuales. El aire se bombea a tanques de aireación que mezclan las aguas residuales con el microorganismo, lo que hace que las bacterias y otros microbios se propaguen y consuman la materia orgánica restante. Los microorganismos metabolizan nutrientes, coloides y materia orgánica disuelta, resultando en aguas residuales tratadas. El exceso de microbios se elimina de las aguas residuales tratadas mediante



procesos físicos. Este proceso conduce a la producción de grandes partículas que se depositan en el fondo de los tanques (lodos biológicos).

Manipulación de biosólidos

La materia sólida que sedimenta después de las etapas de tratamiento primario y secundario se dirige a los digestores, y éstos se calientan a temperatura ambiente. Luego, los desechos sólidos se tratan donde se someten a **digestión anaeróbica**. Durante el proceso se producen gases de metano y se forman biosólidos ricos en nutrientes que se reciclan y deshidratan en empresas locales. El **gas metano**, un subproducto de manipular biosólidos, suele usarse como fuente de energía en las PTAR. Puede utilizarse para **producir electricidad** en motores o simplemente para impulsar equipos de planta. Este gas también se puede utilizar en calderas para generar calor para digestores.

Tratamiento terciario

La etapa de tratamiento terciario tiene la capacidad de eliminar hasta el 99 por ciento de las impurezas de las aguas residuales. El tratamiento depende del uso final del agua (potable, agricultura, industria, etc.). Esto produce agua efluente que tiene casi la calidad del agua potable. Desafortunadamente, este proceso tiende a ser un poco caro ya que requiere equipos especiales, productos químicos, suministro constante de energía y operadores de equipos bien capacitados y altamente capacitados.

Desinfección

Después de los procesos fisicoquímicos y biológicos, aún quedan microorganismos en el resto de las aguas residuales tratadas. Para eliminarlos, las aguas residuales deben desinfectarse en tanques que contengan una mezcla de **cloro e hipoclorito de sodio**. El efluente (aguas residuales tratadas) se libera posteriormente al medio ambiente a través de las vías fluviales locales. Esta agua ahora se puede utilizar en industrias, para riego y otros fines.

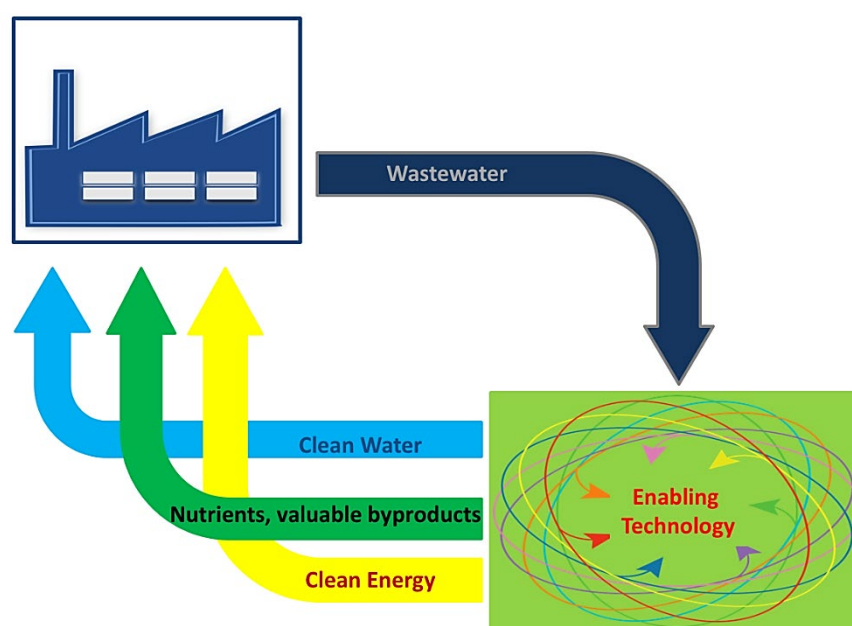


Fuente: <https://pixabay.com/images/search/wastewater%20treatment%20plant/>

3. Innovación y economía circular en plantas de tratamiento de aguas residuales: retos y barreras.

El sistema de agua es parte de los sistemas ambientales, agrícolas, industriales y municipales. Saber cómo estos sistemas están conectados entre sí es fundamental para la identificación de oportunidades de economía circular que existen dentro del sistema de agua y otros sistemas asociados también.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) pueden ser una parte importante de la sostenibilidad circular debido a la integración de la producción de energía y la recuperación de recursos durante la producción de agua limpia [2, 3]. En un futuro próximo, las PTAR se convertirán en sistemas tecnológicos “ecológicamente sostenibles”. Actualmente, las necesidades globales de nutrientes y la recuperación de agua y energía de las aguas residuales dictan el desarrollo de la industria de las aguas residuales [4-6]. Esta figura de Cerahelix.com muestra el ciclo del agua en un modelo de economía circular:



Fuente: <https://www.cerahelix.com/news/treat-reuse-extract-create-and-repeat-the-circular-economy-explained-using-the-water-cycle-as-an-example/>

Para enfrentar el desafío de reducir la contaminación de las aguas residuales avanzándonos al crecimiento de la población, los cambios en los procesos industriales y los desarrollos tecnológicos, la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. (EPA de los EE. UU.) creó un documento para hacer que la información sobre los avances recientes y las técnicas innovadoras sea disponible para todos [7]. El objetivo del documento es sencillo: **proporcionar una guía para las personas que buscan información sobre tecnologías innovadoras y emergentes de tratamiento de aguas residuales**. La guía enumera las nuevas tecnologías, evalúa sus méritos y costos y proporciona fuentes para una mayor investigación tecnológica. Este documento debe servir como una guía para los propietarios / empresas de servicios públicos de aguas residuales, operadores, planificadores y consultores.

En los siguientes apartados presentamos los recursos más importantes que se pueden obtener de las PTAR y las posibilidades para los emprendedores, a la vez que mostramos las fortalezas y debilidades de estos procesos.



3.1. Aplicación de biosólidos en los suelos

Los biosólidos (lodos de depuradora) están formados por compuestos valiosos para uso agrícola (materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes como calcio, azufre y magnesio) y contaminantes que incluyen metales pesados, compuestos orgánicos y patógenos. Si bien pueden ser un recurso valioso, deben usarse con precaución. A menudo contienen microorganismos que pueden transmitir enfermedades, contaminantes químicos u otras sustancias inestables.

Los biosólidos pueden enriquecer el suelo y complementar o reemplazar los fertilizantes comerciales. La aplicación de biosólidos a la tierra se lleva a cabo en varios sitios, incluidos terrenos agrícolas, bosques, sitios de recuperación de minas y otras tierras, parques y campos de golf. La aplicación de biosólidos a la tierra tiene efectos significativamente positivos sobre la **fertilidad del suelo**, lo que garantiza su uso de una manera más sostenible. Además de su alto valor nutricional, los biosólidos mejoran las propiedades del suelo (**acondicionamiento del suelo**) aumentando la **materia orgánica del suelo**, la **agregación de partículas del suelo**, la **estructura y la porosidad del suelo** y disminuyendo la **densidad aparente**.

La aplicación terrestre de lodos de depuradora se practica ampliamente en Europa y otros países [8]. El riesgo asociado con la aplicación de biosólidos al suelo depende del origen de las cargas contaminantes que ingresan a las plantas de tratamiento de aguas residuales (cargas municipales versus cargas industriales). Los principales problemas asociados con la eliminación de tales biosólidos son **los problemas de salud y seguridad**, el olor, las molestias y otras preocupaciones públicas. Además, las tasas excesivas de aplicación a la tierra pueden afectar negativamente la calidad del agua subterránea debido a la **lixiviación de nutrientes**. Por esta razón, la EPA de EE. UU. ha desarrollado una guía para aquellos profesionales de la aplicación de biosólidos a la tierra basada en los estándares federales para asegurar el uso o eliminación de lodos de aguas residuales. La intención de este programa federal es **garantizar que los lodos de aguas residuales se utilicen o eliminen de una manera que proteja tanto la salud humana como el medio ambiente**. La Parte 503 de las Normas para el uso o disposición de lodos de depuradora, establece los requisitos generales, los límites de contaminantes, las normas operativas y las prácticas de gestión, así como la frecuencia de los requisitos de seguimiento, mantenimiento de registros y presentación de informes, para los lodos de depuradora que se aplican a la tierra, que se colocan en un vertedero o en un incinerador de lodos de depuradora [9].



Tratamientos necesarios antes de la aplicación de biosólidos a los suelos

Para cumplir con las reglas propuestas por la legislación, los lodos de depuradora deben ser tratados en las PTAR (**deshidratados y estabilizados**) antes de la aplicación al suelo, ya sea en términos de fertilización del suelo o recuperación de tierras. Los procesos de tratamiento de biosólidos antes de su aplicación al suelo son la digestión anaeróbica o aeróbica, el compostaje, el secado y el tratamiento químico (mayoritariamente tratamiento alcalino).

- **Digestión anaeróbica (en general):** Es un proceso biológico natural en el que un gran número de bacterias anaeróbicas convierten la **materia orgánica en metano y dióxido de carbono** (una mezcla llamada biogás). Este proceso estabiliza la materia orgánica en los sólidos de las aguas residuales, reduce los patógenos y los olores, y reduce la cantidad total de sólidos / lodos al convertir partes de la fracción de sólidos volátiles (VS) en biogás.
- **Digestión anaeróbica:** El proceso se puede dividir en tres pasos separados, cada uno de los cuales es realizado por un grupo diferente de microorganismos:
 - 1) **Hidrólisis**, durante la cual las proteínas, celulosa, lípidos y otros compuestos orgánicos complejos se descomponen en moléculas más pequeñas y se vuelven **solubles** al utilizar agua para dividir los enlaces químicos de las sustancias.
 - 2) **Fermentación de ácidos volátiles**, durante la cual los productos de la hidrólisis se convierten en ácidos orgánicos a través de los procesos bioquímicos de **acidogénesis** (donde los monómeros se convierten en ácidos grasos) y **acetogénesis** (los ácidos grasos se convierten en ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno).
 - 3) **Formación de metano**, durante la cual los ácidos orgánicos producidos durante la fermentación se convierten en metano y dióxido de carbono.
- **Compostaje.** El compostaje de residuos de aguas residuales es un **proceso aeróbico biotermal** que descompone la porción orgánica del residuo en aproximadamente un 25 por ciento. Antes del compostaje, es necesario deshidratar el residuo. La **deshidratación** no solo reduce el volumen del excedente, sino que también disminuye la cantidad de humedad que se evaporará durante el calor generado por la **descomposición de la porción orgánica** del residuo, también lo estabiliza y transforma el exceso en biosólidos utilizables. El problema del compostaje de residuos crudos es el olor más intenso de los residuos con mayor porcentaje de materia orgánica. Se pueden utilizar varios métodos para controlar el olor. En general, el olor se controla agregando **cal viva** (CaO) para cambiar el pH de los residuos. Si el olor continúa siendo un problema, el simple procedimiento de extraer aire a través de las pilas de abono y descargar el aire en un biofiltro puede reducir aún más el olor.
- **Secado.** El tipo y la población de microorganismos varía durante el proceso de compostaje. Por lo tanto, es fundamental controlar el entorno de compostaje para que los microorganismos puedan prosperar. Los parámetros del entorno de compostaje incluyen la **temperatura de la pila de compost**, el contenido de **humedad del compost**, los niveles de **oxígeno y dióxido de carbono** en la pila de compost y la **disponibilidad de nutrientes** que incluyen carbono, nitrógeno, fósforo y potasio para los microorganismos. Estos parámetros deben ser monitoreados ya que afectan la vitalidad de los microorganismos. El oxígeno se suministra a la pila de compost mediante la introducción de aire. La tasa de aire suministrado depende del contenido de humedad de la pila de compost. Cuanto mayor sea el contenido de humedad, se requiere una mayor tasa de aire. Se debe mantener un nivel mínimo de oxígeno, mientras que no se debe permitir que los niveles de dióxido de carbono excedan un nivel máximo.



Fuente: <https://pixabay.com/images/search/sewage%20sludge%20composting/>



3.2. Recuperación de Nutrientes

La recuperación de nutrientes es la práctica **de recuperar nutrientes como el nitrógeno y el fósforo de los arroyos de agua usados que de otro modo serían descartados** y convertirlos en un fertilizante ecológico para fines ecológicos y agrícolas. Este proceso ayuda a **limpiar el efluente** al eliminar estos nutrientes y, en última instancia, **transformarlos en una materia prima eficiente y reutilizable**. Con estos objetivos en mente, se han desarrollado diferentes procesos en la industria de las aguas residuales para recuperar de manera óptima estos nutrientes.

El proceso de recuperación de nutrientes ofrece a los municipios la oportunidad de generar ingresos al mismo tiempo que proporciona a las empresas agrícolas fósforo refinado y utilizable, un recurso natural cada vez más escaso. Además, permite que las entidades de aguas residuales sirvan como algo más que instalaciones de tratamiento, pero en última instancia como **agentes de recuperación de recursos**, transformando la percepción del tratamiento tradicional de aguas residuales. Por lo tanto, el reciclaje de nutrientes de las PTAR tiene un impacto positivo en el medio ambiente al reducir la demanda de fertilizantes fósiles convencionales y, en consecuencia, reducir el consumo de agua y energía.

La recuperación de nutrientes de las aguas residuales puede realizarse a partir de **aguas residuales sin tratar, corrientes de aguas residuales semitratadas y lodos de depuradora** (biosólidos) [10].

Actualmente, el **fósforo (P)** se recicla en las PTAR principalmente mediante métodos químicos como **el proceso de cristalización de estruvita**, por ejemplo, las tecnologías Pearl, NuReSys y AirPrex, que se han implementado a gran escala [11]. En la actualidad, en Europa se recuperan técnicamente más de 2000 Mg P / año [12]. Los principales problemas asociados con la cristalización de estruvita son los **altos costos químicos y la formación involuntaria de estruvita** que bloquea las válvulas, tuberías, bombas, etc. Aunque los altos costos de operación limitan la viabilidad económica de la recuperación de nutrientes, el sistema podría generar una amplia gama de otros beneficios. Por ejemplo, la recuperación de nutrientes de las aguas residuales podría reducir sustancialmente **la producción de lodos** y precipitados no deseados, por lo que los costos de eliminación relacionados con las sustancias inesperadas pueden controlarse mejor o incluso reducirse. Además, la recuperación de nutrientes de las aguas residuales podría mejorar la **deshidratación** de los lodos tratados y disminuir la **velocidad de escalado**, ambas cosas resultando en una **mejora de la gestión de las aguas residuales** [14]. Evidentemente, la recuperación de nutrientes también podría reducir la **concentración de amonio y fosfato** en el vertido generado por una planta de tratamiento de aguas residuales, lo que evita la eutrofización en los ambientes acuáticos. Sin embargo, tanto los beneficios ambientales como las regulaciones gubernamentales no servirían para desencadenar la recuperación de nutrientes si los incentivos económicos son insuficientes.



Nuevas tecnologías en Recuperación de Nutrientes

Además del método químico para recuperar P de las PTAR (explicado en el apartado anterior) existen nuevas tecnologías que también se pueden utilizar para recuperar nutrientes en el tratamiento de aguas residuales y sus mecanismos, incluyendo **tecnologías biológicas, sistemas de membranas y sistemas avanzados de membranas**. Han sido resumidos recientemente por Ye et al [15].

Los mismos autores también presentaron un análisis económico de estos sistemas de recuperación de nutrientes comparándolos en términos de aspectos positivos y negativos. Descubrieron que las **tecnologías basadas en membranas para la recuperación de nutrientes** son económica y técnicamente viables. Los **biorreactores de membrana osmótica (OMBR)** y los **sistemas bioelectroquímicos (BES)** se ven particularmente favorecidos, debido a su bajo potencial de ensuciamiento de la membrana y su bajo consumo de energía. En comparación con los sistemas **híbridos aeróbicos basados en OMBR**, el **OMBR anaeróbico (AnOMBR)** también muestra un bajo nivel de contaminación de la membrana y bajo consumo de energía. Sin embargo, estos hallazgos se basan en pocos estudios de sistemas basados en AnOMBR; Es necesario realizar más investigaciones sobre la recuperación de nutrientes a través de los sistemas híbridos AnOMBR antes de confirmar completamente sus beneficios.

Ye et al. 2020 señaló que las **pilas de combustible microbianas (MFC)**, como tecnología avanzada para la recuperación de nutrientes, podrían **generar electricidad** y ofrecer una zona de pH alto para la precipitación química [15]. La tecnología es bastante prometedora para recuperar nutrientes. Por lo tanto, el MFC y sus modificaciones deben explorarse ampliamente para recuperar nutrientes en el tratamiento de aguas residuales.

En este escenario, los **procesos de ósmosis directa (FO), destilación por membranas (MD) y electrodiálisis (ED)** son las tres principales tecnologías de membranas empleadas para la recuperación de nutrientes. Los procesos MD y ED son compatibles con los MFC mientras se aplican MFC para recuperar nutrientes de aguas residuales diluidas. Sin duda, dicha integración podría **incrementar la calidad y cantidad de los nutrientes recuperados** y es viable en el futuro. Otro aspecto importante es aumentar la **liberación anaeróbica de fosfato** en los tanques existentes en cantidades suficientes [16]. Además, la propiedad de la solución de alimentación puede determinar el rendimiento del biorreactor de membrana al ejercer un impacto directo sobre las propiedades del lodo, el ensuciamiento de la membrana y el flujo de permeado [17]. Sin embargo, el papel de la solución de alimentación en los sistemas OMBR no se ha analizado lo suficiente. Es necesario realizar más estudios para evaluar la viabilidad de diferentes fuentes de aguas residuales con referencia a la recuperación de nutrientes y proponer el pretratamiento adecuado para la solución de alimentación si es necesario. En este caso, se puede mejorar la viabilidad técnica del sistema de recuperación de nutrientes, así como su rendimiento.

En el futuro, se puede esperar que las nuevas investigaciones conduzcan a un mayor desarrollo de **sistemas económicos de tratamiento de aguas residuales, y biorreactores de membrana osmótica (OMBR) y sistemas híbridos basados en sistemas bioelectroquímicos (BES)** en particular.

Esto puede crear nuevas oportunidades para emprendedores y empresas emergentes.



3.3. Agua reciclada

¿Por qué reutilizar las aguas residuales tratadas?

Solo el 2,5% del agua disponible en el planeta es agua dulce. Con el rápido aumento de la población mundial, la aceleración de la urbanización y el calentamiento global, este recurso se está volviendo escaso. **La extracción excesiva de agua** es una de las principales causas de la escasez de agua. Las principales presiones derivadas del consumo de agua se concentran en el **riego y demanda doméstica**, incluido el turismo. Usar **aguas residuales tratadas como fuente alternativa de suministro de agua es actualmente algo reconocido por las estrategias de sostenibilidad internacionales, europeas y nacionales**. El Objetivo de Desarrollo Sostenible de la ONU sobre el Agua (ODS 6) apunta específicamente a un aumento sustancial del reciclaje y la reutilización global segura para 2030. **La reutilización del agua es una prioridad principal en el Plan de Implementación Estratégico de la Asociación Europea de Innovación sobre el Agua**, y la maximización de la reutilización del agua es un objetivo fijado en la Comunicación "Plan para salvaguardar los recursos hídricos de Europa". **La reutilización de aguas residuales tratadas puede proporcionar importantes beneficios ambientales, sociales y económicos**. Según el Blueprint, la reutilización del agua puede mejorar el estado del medio ambiente tanto cuantitativa como cualitativamente, aliviando la presión sustituyendo la extracción. **En comparación con las fuentes alternativas de suministro de agua, como la desalinización o la transferencia de agua, la reutilización del agua a menudo requiere menores costos de inversión y energía, lo que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.**

La reutilización del agua beneficia al sector del agua en general, que es un componente clave del panorama ecoindustrial de la UE. La reutilización del agua tiene un potencial significativo en términos de **creación de empleos verdes en la industria relacionada con el agua, y se estima que un aumento del 1% de la tasa de crecimiento en la industria del agua de la UE podría crear hasta 20 000 nuevos puestos de trabajo** [18]. Actualmente, la cantidad de aguas residuales urbanas tratadas que se reutilizan anualmente representa aproximadamente el 2,4% de los efluentes de aguas residuales urbanas tratadas y menos del 0,5% de las extracciones anuales de agua dulce de la UE. Pero el potencial de la UE es mucho mayor, estimado en seis veces el volumen actual. Tanto los Estados miembros del sur como España, Italia, Grecia, Malta y Chipre como los Estados miembros del norte como Bélgica y Alemania ya han puesto en marcha numerosas iniciativas relativas a la reutilización del agua **para riego, usos industriales y recarga de acuíferos**. Chipre y Malta ya reutilizan más del 90% y el 60% de sus aguas residuales respectivamente, mientras que Grecia, Italia y España reutilizan entre el 5 y el 12% de sus efluentes, lo que indica claramente un potencial para una mayor absorción.

La reutilización de aguas residuales tratadas de PTAR para agricultura y riego de tierras, fines industriales, descarga de inodoros y reposición de aguas subterráneas es un elemento clave de la estrategia actualmente implementada centrada en liberar agua dulce para uso doméstico, mejorar la calidad de los efluentes de las PTAR y, en consecuencia, una mayor calidad de las aguas fluviales utilizadas para la extracción de agua potable [19]. El uso de aguas residuales tratadas para riego en la agricultura se conoce desde hace muchos años y puede proporcionar suministro de agua para **reemplazar la demanda agrícola** y reducir el **estrés hídrico local**. Además, los nutrientes contenidos en las aguas residuales reducen la necesidad de aplicación de fertilizantes comerciales. **Se recomienda utilizar el efluente del tratamiento secundario para el riego de cultivos no alimentarios mientras que el efluente del tratamiento terciario para el riego de cultivos alimentarios.**

La reutilización de aguas residuales urbanas puede ser **planificada** (directa o indirecta) o **no planificada**, lo que en su mayoría está relacionado con usos no potables, sin embargo, existen casos de reutilización potable no planificada. La reutilización del agua urbana se refiere principalmente al



riego residencial y al uso comercial para protección contra incendios, lavado de coches, descarga de inodoros, etc. **Los principales problemas asociados con la reutilización urbana son: riesgos para la salud humana y alto costo de los sistemas duales para el suministro de agua reciclada** [20]. En la reutilización potable indirecta, el efluente de la PTAR de alta calidad se descarga directamente en las fuentes de agua subterránea o superficial con la intención de aumentar los suministros de agua potable. Otra solución puede ser la reutilización potable directa (tubería a tubería) mediante la introducción directa de aguas residuales tratadas en un **sistema de distribución de agua** [21].

Aun así, la reutilización potable directa aumenta considerablemente los costos operativos debido a los requisitos muy altos de calidad del efluente. La falta de aceptación social también es importante.



Fuente: <https://pixabay.com/images/search/water%20garden/?pagi=2>



Agua recuperada para procesos industriales

Dependiendo de los requisitos de calidad del agua, las limitaciones de espacio y las consideraciones presupuestarias, se encuentran disponibles varios métodos para reciclar o reutilizar el agua industrial. **Los beneficios pueden incluir la reducción de los costos de agua dulce, los flujos de aguas residuales y el tamaño de la huella hídrica.** La eficiencia operativa y la sostenibilidad también se pueden aumentar junto con la capacidad de producción mejorada debido al aumento de agua limpia disponible.

Tecnologías

Desde la perspectiva del tratamiento de aguas residuales, la **microfiltración (MF)**, la **ultrafiltración (UF)**, la **nanofiltración (NF)** y la **ósmosis inversa (RO)** son las técnicas de separación por membranas más comunes aplicadas en las industrias. La **ósmosis directa (FO)** también se ha introducido recientemente como una técnica de membrana avanzada para el tratamiento de aguas residuales. Una gama de otras tecnologías avanzadas de purificación de agua, que incluyen **carbón activado, intercambio iónico, desionización, electrodesionización, UV (ultravioleta), desinfección con ozono y dosificación química**, se utilizan para aplicaciones industriales.

En el tratamiento de aguas residuales, la tecnología de membranas ha sido reconocida como la tecnología clave para la separación de contaminantes de fuentes contaminadas [22]. Las membranas son barreras selectivas que separan dos fases diferentes, permitiendo el paso de ciertos componentes y la retención de otros. El agente que inicia los procesos de la membrana puede ser un **gradiente de presión y un potencial químico o eléctrico** a través de la membrana. Los procesos de membrana dependen de **una separación física**, generalmente sin cambio de fase y sin adición de productos químicos en la corriente de alimentación, por lo que se destacan como una técnica de tratamiento de aguas residuales alternativa a los procesos convencionales (es decir, destilación, precipitación, coagulación / floculación, adsorción por carbón activo, iones intercambio, tratamiento biológico, etc.) [22, 23]. El **bajo consumo de energía, la reducción del número de pasos de procesamiento, una mayor eficiencia de separación y una mayor calidad del producto final** son las principales ventajas de estos procesos [22-24]. Sin embargo, la **limitada resistencia química, mecánica y térmica de las membranas** restringe su aplicación. Se han realizado grandes esfuerzos para mejorar tanto el flujo como la selectividad de las membranas. Además, algunos investigadores se han centrado en controlar el **ensuciamiento de las membranas**, que es el problema más importante en la aplicación de membranas en el tratamiento de aguas residuales. Como resultado, el rendimiento ha aumentado significativamente y los mercados comerciales de membranas se han expandido durante los últimos años.

El éxito de las operaciones de membrana en el tratamiento de aguas residuales se atribuye a la compatibilidad entre diferentes operaciones en sistemas integrados. El tratamiento de aguas residuales mediante sistemas integrados sugiere hoy en día reducir los efectos nocivos para el medio ambiente, disminuir el consumo de agua subterránea y energía, y recuperar compuestos valiosos como subproducto. El **biorreactor de membrana (MBR), que combina la filtración por membrana con el tratamiento biológico, es reconocido como uno de los sistemas de membranas híbridas más exitosos en el tratamiento de aguas residuales.**

Las operaciones de membrana impulsadas por presión, MBR, así como una combinación de operaciones de membrana en sistemas híbridos en el tratamiento de aguas residuales se utilizan en diversas industrias.



Agua recuperada para riego

La **agricultura** es, con mucho, **el mayor consumidor mundial de agua**. El riego de las tierras agrícolas representó el 70% del agua utilizada en todo el mundo. En varios países en desarrollo, el **riego** representa hasta el 95% de todos los usos del agua y desempeña un papel importante en la producción de alimentos y la seguridad alimentaria. Las futuras estrategias de desarrollo agrícola de la mayoría de estos países dependen de la posibilidad de mantener, mejorar y expandir la agricultura de regadío.

La reutilización del agua se practica de forma habitual y satisfactoria en varios Estados miembros de la UE, así como en, por ejemplo, Israel, California, Australia y Singapur. Sin embargo, esta práctica se ha llevado a cabo hasta ahora por debajo de su potencial en la UE. El **conocimiento limitado de los beneficios potenciales** entre las partes interesadas y el público en general, y la **falta de un marco coherente y de apoyo** para la reutilización del agua se identificaron como dos barreras principales que impiden una difusión más amplia de esta práctica en la UE. Por estos motivos, la Comisión propuso en 2018 un reglamento para impulsar la reutilización del agua cuando sea rentable y segura para la salud y el medio ambiente.

El **nuevo Reglamento sobre requisitos mínimos para la reutilización del agua para el riego agrícola** ha entrado en vigor recientemente y se espera que estimule y facilite la reutilización del agua en la UE [25]. La Comisión también ha preparado diferentes documentos clave que se pueden encontrar en ec.europa.eu [18].

Los patógenos potenciales deben eliminarse de las aguas residuales. Cuando los organismos patógenos no se procesan específicamente durante el tratamiento, se debe evaluar cuidadosamente el uso de aguas residuales tratadas. **Diferentes parámetros afectan la eliminación eficiente de microorganismos patógenos e indicadores** [26]. La evaluación de tecnologías para la eliminación de patógenos se basa principalmente en indicadores de contaminación fecal, como coliformes totales, coliformes termo tolerantes o *Escherichia coli*. El **cloro, los rayos ultravioletas (UV), el ozono, los estanques de maduración, la CW, la filtración por membranas, la filtración en lecho profundo y los métodos electroquímicos** son técnicas que se utilizan para la **desinfección** [26]. Cuando se trata del uso de **oxidantes para la desinfección, hipoclorito de sodio (NaClO) y ozono**, se pueden encontrar varios ejemplos de prácticas en la literatura relacionada con los sistemas de recuperación para riego. Varias directrices recomiendan el **tratamiento ultravioleta** como la mejor tecnología disponible para la desinfección de agua regenerada que no está asociada con costos excesivos, en particular para aplicaciones de reutilización de contacto de alto a medio [26]. Con respecto al tratamiento biológico, los **estanques de maduración** se consideran la mejor práctica de varias directrices, incluida la OMS, [27]. Este método tiene algunas ventajas y desventajas. Puede encontrar más información en TheWaterTreatments.com [28]

Como alternativa a la filtración en lecho y al tratamiento químico, **la filtración por membranas** es una tecnología que a menudo se considera eficaz para eliminar patógenos de las aguas residuales utilizadas en el riego. Los resultados indican que es posible una reducción completa de los virus con una **membrana de ultrafiltración (UF)**, lo que significa que podría omitirse un proceso de desinfección química [27].

Los **químicos disruptores endocrinos (EDC)** han recibido una mayor atención en los últimos años debido a sus efectos nocivos en humanos y animales. La presencia de EDC en el agua de riego y los suelos agrícolas puede provocar la contaminación de los productos agrícolas, lo que representa un riesgo para la salud humana. Las nuevas tecnologías para eliminar los EDC de las aguas residuales suponen nuevas oportunidades para los empresarios y las empresas emergentes.



Fuente: <https://pixabay.com/images/search/agriculture%20water/?pagi=2>

3.4. Recuperación de energía

La recuperación de energía en las plantas de tratamiento de aguas residuales representa una palanca política importante para la sostenibilidad, ya que puede **reducir significativamente la huella de carbono** del tratamiento de aguas residuales. El tratamiento de aguas residuales requiere un consumo energético considerable. Un análisis de la energía química y térmica contenida en las aguas residuales revela que hay hasta 14 veces más energía de la necesaria para el tratamiento. Aunque gran parte de esto es calor de bajo grado, **en teoría debería ser posible lograr una energía positiva en las plantas de tratamiento.**

En las PTAR, la **recuperación de energía se puede realizar a través de** [29-30]:

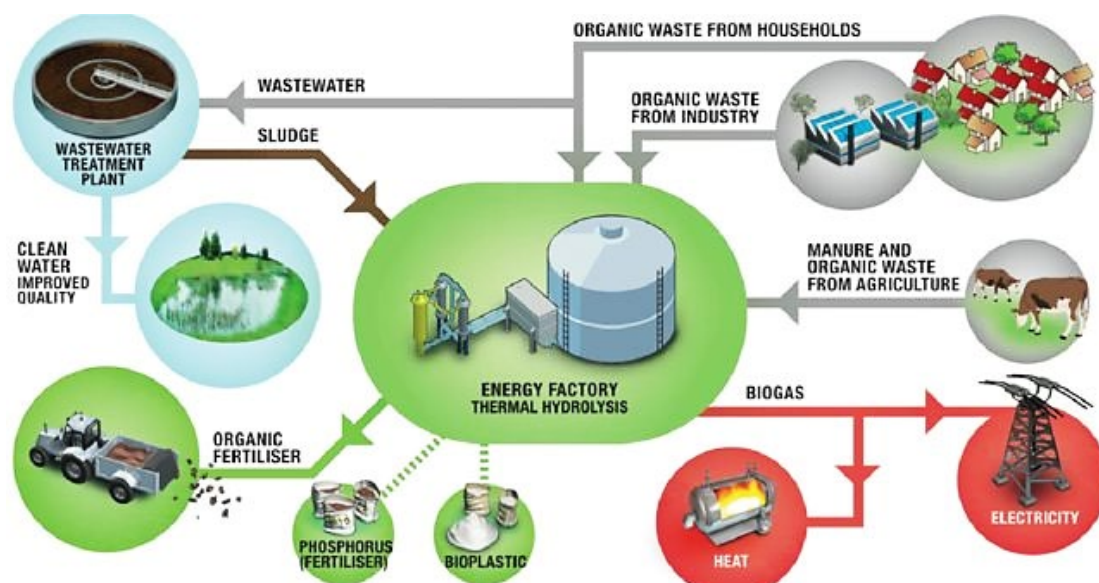
- **Producción de biogás.** En un digestor por **digestión anaeróbica (DA)** se genera biogás, que es la principal fuente de energía en las PTAR. El biogás se puede utilizar para calefacción y / o generación de electricidad. La **mejora de la eficiencia de la DA** es una práctica común para aumentar la autosuficiencia energética de las PTAR.
- **Bombas de calor** en efluentes de plantas de tratamiento, y
- Recuperación de energía de varias corrientes de alta temperatura mediante **intercambiador de calor**

Las optimizaciones de la DA incluyen diferentes métodos de pretratamiento de lodos de depuradora con el objetivo de una mayor biodegradabilidad de los lodos. Actualmente las tecnologías más comunes disponibles en el mercado son **los pretratamientos mecánicos y térmicos. Las tecnologías de hidrólisis térmica (THP)** como Cambi, Biothelys, Exelys son las tecnologías más comunes que se utilizan para mejorar la digestión anaeróbica en las PTAR. La primera PTAR de América del Norte (Washington, DC, EE. UU.) Que utilizó la tecnología Cambi experimentó un aumento del 50% en la producción de biogás. La **codigestión de lodos de depuradora con otros residuos biodegradables** es otra opción, que proporciona una serie de beneficios económicos y medioambientales. La codigestión de residuos orgánicos en combinación con lodos de depuradora no solo permite que las PTAR sean energéticamente neutras, sino que también reduce el coste de la gestión de residuos orgánicos municipales e industriales. Por ejemplo, la codigestión de lodos de depuradora con seis co-sustratos diferentes se ha implementado en Mossberg (Alemania) durante 10 años. La producción de calor y energía en la PTAR Mossberg es significativamente mayor que la demanda interna de la PTAR. El exceso de energía se alimenta a la red, mientras que el exceso de calor se utiliza para secar los lodos deshidratados de otras PTAR.



Las tecnologías más utilizadas por las plantas de tratamiento de aguas residuales autosuficientes existentes son **las tecnologías de “energía y calor combinados (CHP)”**, que generan electricidad y calor a partir de biogás al mismo tiempo. Las fuentes de calor fiables y económicas para su uso en **bombas de calor (HP)** son los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales [31]. El calor de **los HP se puede utilizar para calentar y enfriar los edificios residenciales, sociales y administrativos de la planta y / o la infraestructura vecina.**

En la ciudad danesa de Odense, una planta de tratamiento suministra calor y energía eléctrica a una población de casi 400.000 habitantes y ha logrado una positividad energética del 150 por ciento, generando así electricidad y calor para la red local. La transformación fue posible gracias a un análisis cuidadoso de los datos operativos históricos que identificaron una serie de opciones de optimización energética, muchas de las cuales se implementaron con modificaciones en las estrategias operativas en lugar de actualizaciones significativas de equipos. Desde que se realizaron los cambios iniciales, se implementaron una serie de mejoras en las instalaciones para lograr un 200% de positividad energética. Las intervenciones técnicas se basaron en la adopción de una mentalidad muy clara de "neutralidad de carbono" en toda la organización, que a su vez condujo al desarrollo y al compromiso con un objetivo medioambiental corporativo muy agresivo [32].



Fuente: <https://www.billundbiorefinery.com/>



4. Casos de estudio

Presentamos aquí 3 casos de estudio de emprendedores y startups. Los estudios de caso presentados aquí han sido seleccionados en base a su **innovación y tecnología** que utilizan, **circularidad, replicabilidad, grado de impacto y cobertura**. En cada caso de estudio, destacamos los principales desafíos y las posibles soluciones.



Caso de estudio no. 1: De las aguas residuales a las aguas agrícolas - una tecnología innovadora para combinar el tratamiento y la reutilización en la agricultura

Desafío

Como mencionamos anteriormente, la agricultura es, con mucho, el mayor consumidor de agua. El uso de aguas residuales tratadas para el riego en la agricultura puede reemplazar la demanda agrícola y reducir el estrés hídrico local. Por otro lado, las futuras estrategias de desarrollo agrícola de la mayoría de los países en desarrollo dependen de la posibilidad de mantener, mejorar y ampliar la agricultura de regadío.

En el **proyecto RichWater**, un grupo de pequeñas empresas de nueva creación reunió sus conocimientos para crear un enfoque integrado para combinar **el tratamiento y el riego en un solo sistema** que puede aprovechar al máximo los nutrientes. Su ambición es desarrollar un prototipo comercial mejorado en el sur de España para reutilizar las aguas residuales de la comunidad local con fines de riego. El objetivo es crear una situación de beneficio mutuo para dos sectores (el tratamiento de aguas residuales y el sector agrícola) convirtiendo las aguas residuales públicas en un producto final valioso.

El sistema integrado consiste en un MBR (**biorreactor de membrana**) de bajo costo y eficiencia energética que produce agua de riego libre de patógenos y rica en nutrientes.

El sistema de tratamiento está conectado a:

- El **módulo de mezcla** (para mezclas a medida con agua dulce y fertilizantes adicionales)
- La **unidad de fertirrigación**
- Un módulo de monitoreo / control que incluye sensores de suelo para garantizar la fertirrigación según la demanda y sensible a mayúsculas y minúsculas.

Al combinar estos módulos, se encuentra disponible un sistema completo y llave en mano para la reutilización segura de aguas residuales en la agricultura.

Resultados

- Producción de aguas residuales tratadas (es decir, agua recuperada),
- Bajo consumo energético
- Riego de 3 cultivos objetivo en campo experimental: tomate, mango y aguacate,
- Agua tratada que suministra el 50% de los principales macronutrientes (N, P, K) a los cultivos objetivo,
- Estudios agronómicos para comparar cultivos regados con aguas residuales y agua convencional.
- Análisis de costo-beneficio y estudio de viabilidad,
- Estrategia de mercado.

Lecciones aprendidas

El uso de los principios de la economía circular ha demostrado que el agua regenerada se puede utilizar para el suministro de riego. Al mismo tiempo puede aportar el 50% de los principales macronutrientes (N, P, K) a los cultivos objetivo. Si bien las inversiones iniciales son elevadas, el consumo de energía es bajo y aún genera un beneficio económico neto.



Fuente: <https://richwater.eu/gallery/>



Caso de estudio no. 2: Una tecnología avanzada de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos peligrosos

Desafío

Los **disruptores endocrinos** se pueden encontrar en las píldoras anticonceptivas, los cosméticos, el detergente en polvo y muchos otros productos que se utilizan normalmente en el hogar. La descarga de disruptores endocrinos en la naturaleza y posteriormente en las aguas residuales hace que los peces, las cucarachas y los caracoles se crucen. La feminización del pescado se ha observado últimamente en Dinamarca y otros lugares. Para evitar la descarga de estos disruptores endocrinos de las salidas de las PTAR a la naturaleza, se necesita un método rentable. Un grupo de pequeñas empresas trabajó en conjunto para desarrollar un sistema que permitiera eliminar los microorganismos patógenos y los disruptores endocrinos de las aguas residuales.

La idea básica es introducir **procesos avanzados de fotooxidación** en plantas de tratamiento de aguas residuales mediante el uso de **lámparas ultravioleta**. La luz de las lámparas ultravioleta puede destruir bacterias y eliminar sustancias químicas de las aguas residuales con el uso de oxidantes, p. Ej. ozono o dióxido de cloruro.

De esa manera, los WTPP podrían producir efluentes no peligrosos. Las características del método son:

- Sistema sencillo de **desinfección** de aguas residuales,
- Sistema simple para la **eliminación de disruptores endocrinos** y otros compuestos peligrosos,
- **Sistema flexible**,
- **Fácil** de instalar,
- Tecnología avanzada de **control de procesos**,
- **Lámparas UV** de alta intensidad energética,
- **Bajo costo de capital**
- **Bajo costo operativo**,
- Medio ambiente y salud,
- Excelente calidad de baño,
- **Sin riesgos** para la fauna acuática y los ecosistemas de los receptores,

Resultados

- **Desinfección:** Este sistema ha demostrado que es posible asegurar que el efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales esté libre de microorganismos patógenos, garantizar la calidad y cumplir con la Directiva CE para aguas de baño.
- **Eliminación de disruptores endocrinos:** el sistema es útil para eliminar disruptores endocrinos y otros compuestos peligrosos de las aguas residuales tratadas (tasa de eliminación del 99,8%).

Lecciones aprendidas

La solución técnica propuesta ha demostrado que con un capital bajo es posible cumplir con los requisitos de la Directiva de aguas de baño de la UE y garantizar que los niveles de disruptores endocrinos con actividad estrogénica en las aguas residuales sean bajos. Esta experiencia crea oportunidades para que emprendedores y startups implementen otras soluciones técnicas basadas en el uso final del agua para eliminar los contaminantes del agua.

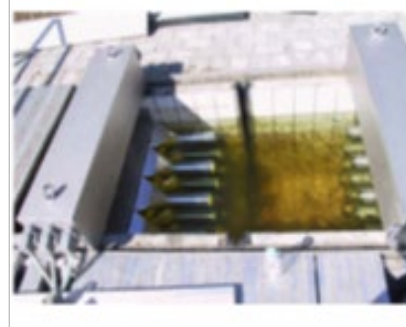
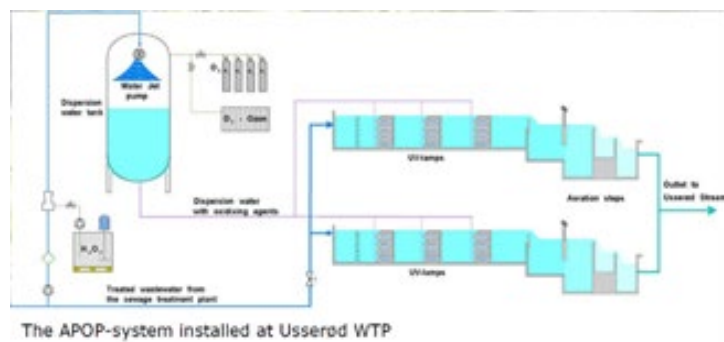


Figura: Sistema APOP.

Fuente: <https://www.slideshare.net/NIDHISRIVASTAVA52/advanced-photo-catalytic-oxidationwastewater>



Caso de estudio no. 3: Procesos de ahorro de agua para la producción textil

Desafío

El agua es un recurso importante en los procesos de fabricación, incluido el **sector textil**. La industria textil depende del agua en prácticamente todos los pasos de la fabricación. Los tintes, productos químicos especiales y de acabado utilizados para producir ropa se aplican a las telas en baños de agua. Esto significa que se utilizan **grandes cantidades de agua para teñir, terminar y lavar la ropa**. Reducir el consumo de agua mediante el establecimiento de procesos de producción sostenibles puede, por tanto, ser una ventaja tanto para las empresas como para las comunidades en las que operan. En respuesta al uso del agua y la contaminación por parte de la industria textil, muchas corporaciones han comenzado a investigar soluciones alternativas.

Aquí presentamos un caso de estudio de las medidas de conservación de agua en equipos de teñido en una fábrica textil en Croacia. Los jóvenes emprendedores analizaron todos los procesos y seleccionaron las mejores acciones para reducir el consumo de agua en la empresa. Se enfocaron en **los procesos de lavado y enjuague**, ya que ambos procesos son importantes en las industrias textiles para reducir las impurezas en el tejido a niveles predeterminados. Para disminuir el consumo de agua en estos procesos, se encontraron **métodos exitosos de reducción de agua por lotes y continuos**. El equipo utilizado en un programa de conservación de agua es relativamente económico; en la mayoría de los casos, serán suficientes algunas válvulas, tuberías, bombas pequeñas y tanques. Los costos operativos de estos sistemas son generalmente muy bajos. El **mantenimiento de rutina** y, en algunos casos, la electricidad para las bombas, podrían resultar más costosos. Las medidas de conservación del agua dan lugar a [33]:

- Reducción del costo de procesamiento,
- Reducción del costo del tratamiento de aguas residuales,
- Reducción del consumo de energía térmica,
- Reducción del consumo de energía eléctrica,
- Reducción de la carga de contaminantes.

Resultados

La aplicación de estas medidas permitió un **ahorro significativo en el agua propiamente dicha** (90% del agua), **así como en los costes asociados** a su vertido y al agua de entrada.

Estas técnicas integradoras se pueden implementar en otras industrias textiles. El período de recuperación de la inversión de un sistema de conservación de agua variará según la cantidad de agua ahorrada, las tarifas de alcantarillado y los costos del tratamiento del agua cruda y de las aguas residuales.

Lecciones aprendidas

La conservación y reutilización del agua es una necesidad para la industria textil. Es posible reducir la cantidad de agua utilizada en las fábricas textiles. Reduce el costo de los productos textiles terminados al reducir los cargos por descarga de agua dulce y alcantarillado. La cantidad de agua requerida para el procesamiento textil varía de una fábrica a otra y depende de la producción de la tela, el proceso, el tipo de equipo y el tinte. Eso crea muchas oportunidades para que los emprendedores y las startups adapten su consumo de agua a sus propios negocios textiles.



Fuente: <https://www.euronews.com/next/2017/03/20/dyed-without-waste-developing-a-process-to-save-water-in-the-textile-industry>



5. Cuestionario

1. Seleccione de la lista a continuación la palabra que no representa una característica de los Principios 3R de la economía circular:
 - A. Reducción
 - B. Reutilizar
 - C. Reciclar
 - D. Redirigir**

2. Las industrias y fábricas contaminan el agua con:
 - A. Metales pesados
 - B. Tintes
 - C. Materia orgánica
 - D. Todas las anteriores**

3. ¿Cuál de la siguiente lista es un proceso de PTAR?
 - A. Tratamiento físico / químico
 - B. Tratamiento biológico
 - C. Tratamiento terciario
 - D. Todas las anteriores**

4. ¿Por qué reutilizar las aguas residuales tratadas?
 - A. Porque con el rápido aumento de la población mundial, la aceleración de la urbanización y el calentamiento global, este recurso se está volviendo escaso.**
 - B. Porque la desalación requiere menores costos de inversión y energía, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.
 - C. Porque la reutilización de aguas residuales no requiere ningún tratamiento
 - D. Todas las anteriores

5. ¿Cuál de las siguientes oraciones no es verdadera?
 - A. Debido a que los biosólidos contienen sustancias muy beneficiosas para la agricultura, pueden usarse sin control.**
 - B. La UE ha iniciado acciones regulatorias hacia la aplicación de biosólidos en el suelo.
 - C. Los biosólidos mejoran las propiedades del suelo aumentando la agregación de partículas del suelo de materia orgánica del suelo, la estructura y la porosidad del suelo, y disminuyendo la densidad aparente.
 - D. Los principales problemas asociados con la eliminación de biosólidos son los problemas de salud y seguridad, olores, molestias y otras preocupaciones públicas.



6. ¿Puede realizarse la recuperación de nutrientes de las aguas residuales a partir de aguas residuales sin tratar, corrientes de aguas residuales semitratadas y lodos de depuradora?
- A. Sí
B. No
7. Para la recuperación de nutrientes, las tecnologías basadas en membranas presentan una alta viabilidad técnica y económica. ¿Cuál de los siguientes procesos no se emplea para la recuperación de nutrientes?
- A. Ósmosis directa
B. Destilación de membrana
C. Electrodialisis
D. Proceso de cristalización
8. ¿Qué métodos se pueden utilizar para eliminar patógenos de las aguas residuales?
- A. Aguas residuales crudas
B. Lámparas ultravioletas (UV)
C. Agua purificada
D. Lodos de depuradora
9. En las PTAR, la recuperación de energía se puede realizar por diferentes métodos. Seleccione la respuesta que es falsa de la lista a continuación.
- A. Producción de biogás
B. Filtros de arena y antracita
C. Bombas de calor en efluentes de plantas de tratamiento
D. Recuperación de energía de varias corrientes de alta temperatura mediante intercambiador de calor
10. ¿Cuál de los siguientes tratamientos de aguas residuales no se utiliza como tecnología de purificación de agua para su aplicación en la industria?
- A. Microfiltración
B. Ósmosis inversa
C. Intercambio iónico
D. Todas las anteriores



Referencias

- [1] ARUP, Ellen MacArthur Foundation, AnteaGroup, Water and Circular Economy: A White Paper. 2018. [Online]. Available: https://www.arup.com/-/media/arup/files/publications/w/water_and_circular_economy_whitepaper.pdf
- [2] H. Rashidi, A. Ghaffarianhoseini, A. Ghaffarianhoseini, N. M. Nik Sulaiman, J. Tookey, and N. A. Hashim, "Application of wastewater treatment in sustainable design of green built environments: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 49, pp. 845–856, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.104.
- [3] W. Mo and Q. Zhang, "Energy-nutrients-water nexus: Integrated resource recovery in municipal wastewater treatment plants," *J. Environ. Manage.*, vol. 127, pp. 255–267, 2013, doi: 10.1016/j.jenvman.2013.05.007.
- [4] Commission Staff Working Document, Summary of the Responses to the Consultative Communication on the Sustainable Use of Phosphorus [COM(2013) 517], 2014. [Online]. Available: [http://ec.europa.eu/environment/natres/pdf/phosphorus/SWD\(2014\)263%20final.pdf](http://ec.europa.eu/environment/natres/pdf/phosphorus/SWD(2014)263%20final.pdf).
- [5] D. Cordell, J. O. Drangert, and S. White, "The story of phosphorus: Global food security and food for thought," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 19, no. 2, pp. 292–305, 2009, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009.
- [6] European Commission, EU Reference Scenario Energy, Transport and GHG emissions, Trends to 2050. 2016. [Dataset] Available: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ref2016_report_final-web.pdf
- [7] A. R. Lemos, "Emerging-Tech-Wastewater Treatment-Management," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, [Online]. Available: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/emerging-tech-wastewater-treatment-management.pdf>
- [8] Eurostat 2017, Sewage sludge production and disposal, 2017. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=env_ww_spd
- [9] US-EPA, "Land Application of Sewage Sludge: A Guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge, 40 CFR Part 503," *Off. Enforc. Compliance Assur.*, pp. 1–61, 1994. Available: <https://www.epa.gov/biosolids/guide-land-appliers-requirements-federal-standards-use-or-disposal-sewage-sludge-40-cfr>
- [10] Q. Zhang, J. Hu, D. J. Lee, Y. Chang, and Y. J. Lee, "Sludge treatment: Current research trends," *Bioresour. Technol.*, vol. 243, pp. 1159–1172, 2017, doi: 10.1016/j.biortech.2017.07.070.
- [11] S. Hukari, L. Hermann, and A. Nättorp, "From wastewater to fertilisers - Technical overview and critical review of European legislation governing phosphorus recycling," *Sci. Total Environ.*, vol. 542, pp. 1127–1135, 2016, doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.09.064.
- [12] C. Kabbe, F. Kraus and C. Remy, *Review of promising methods for phosphorus recovery and recycling from wastewater. In Proceedings of the International Fertiliser Society*. UK, London, 23–24, pp. 1–29, 2015.
- [13] W. Moerman, M. Carballa, A. Vandekerckhove, D. Derycke, and W. Verstraete, "Phosphate removal in agro-industry: Pilot- and full-scale operational considerations of struvite crystallization," *Water Res.*, vol. 43, no. 7, pp. 1887–1892, 2009, doi: 10.1016/j.watres.2009.02.007.
- [14] Z. Bradford-Hartke, J. Lane, P. Lant, and G. Leslie, "Environmental Benefits and Burdens of Phosphorus Recovery from Municipal Wastewater," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 49, no. 14, pp. 8611–8622, 2015, doi: 10.1021/es505102v.
- [15] Y. Ye et al., "Nutrient recovery from wastewater: From technology to economy," *Bioresour. Technol. Reports*, vol. 11, no. April, p. 100425, 2020, doi: 10.1016/j.biteb.2020.100425.



- [16] S. Daneshgar, A. Buttafava, A. Callegari, and A. G. Capodaglio, "Economic and energetic assessment of different phosphorus recovery options from aerobic sludge," *J. Clean. Prod.*, vol. 223, pp. 729–738, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.195.
- [17] W.J. Gao, M.N. Han, X. Qu, C. Xu, B.Q. Liao, "Characteristics of wastewater and mixed liquor and their role in membrane fouling", *Bioresour. Technol.*, vol. 128, pp. 207-214, 2013. doi: 10.1016/j.biortech.2012.10.075.
- [18] European Commission, Water Reuse - Environment. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/environment/water/reuse.htm>
- [19] S. Lyu, W. Chen, W. Zhang, Y. Fan, and W. Jiao, "Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges," *J. Environ. Sci. (China)*, vol. 39, pp. 86–96, 2016, doi: 10.1016/j.jes.2015.11.012.
- [20] L. Pintilie, C. M. Torres, C. Teodosiu, and F. Castells, "Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study," *J. Clean. Prod.*, vol. 139, pp. 1–14, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.07.209.
- [21] N.N. Li, A.G. Fane, W.W. Ho and T. Matsuura, *T. Advanced Membrane Technology and Applications, Chapter: Membranes for Wastewater Treatment*, John Wiley & Sons, 2008. doi: 10.1002/9780470276280
- [22] E. Drioli and L. Giorno, *Membrane Operations: Innovative Separations and Transformations*, Wiley-VCH, 2009. doi: 10.1002/9783527626779
- [23] C. de Morais Coutinho, M. C. Chiu, R. C. Basso, A. P. B. Ribeiro, L. A. G. Gonçalves, and L. A. Viotto, "State of art of the application of membrane technology to vegetable oils: A review," *Food Res. Int.*, vol. 42, no. 5–6, pp. 536–550, 2009, doi: 10.1016/j.foodres.2009.02.010.
- [24] D. Norton-Brandão, S. M. Scherrenberg, and J. B. van Lier, "Reclamation of used urban waters for irrigation purposes - A review of treatment technologies," *J. Environ. Manage.*, vol. 122, pp. 85–98, 2013, doi: 10.1016/j.jenvman.2013.03.012.
- [25] The European Parliament and the Council, "Regulation (EU) 2020/741, Minimum requirements for water reuse," *Off. J. Eur. Union*, vol. 177/33, no. May 2020, pp. 32–55, 2020. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32020R0741&qid=1623137719230>
- [26] D. Bixio and T. Wintgens, European Commission, Water Reuse System - Management Manual - AQUAREC, , Directorate-General for Research, European Commission Brussels, Belgium. 2006. [Online]. Available: <https://www.lu.lv/materiali/biblioteka/es/pilnieteksti/vide/Water%20Reuse%20System%20Management%20Manual.%20AQUAREC.pdf>
- [27] WHO, Guidelines for the Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture: Measures for Public Health Protection. WHO Technical Reporting Service, Rome, Italy. (Executive summary), 1989.
- [28] Water Treatment, Advantages and Disadvantages of WSP Systems, in Sewage Treatment. [Online]. Available: <https://www.thewatertreatments.com/wastewater-sewage-treatment/advantages-disadvantages-wsp-systems/>
- [29] K. Zhang and K. Farahbakhsh, "Removal of native coliphages and coliform bacteria from municipal wastewater by various wastewater treatment processes: Implications to water reuse," *Water Res.*, vol. 41, no. 12, pp. 2816–2824, 2007, doi: 10.1016/j.watres.2007.03.010.
- [30] G. Bertanza, M. Canato, and G. Laera, "Towards energy self-sufficiency and integral material recovery in waste water treatment plants: Assessment of upgrading options," *J. Clean. Prod.*, vol. 170, pp. 1206–1218, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.228.



[31] G. Zhen, X. Lu, H. Kato, Y. Zhao, and Y. Y. Li, "Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: Current advances, full-scale application and future perspectives," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, no. November 2016, pp. 559–577, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.187.

[32] O. Culha, H. Gunerhan, E. Biyik, O. Ekren, and A. Hepbasli, "Heat exchanger applications in wastewater source heat pumps for buildings: A key review," *Energy Build.*, vol. 104, pp. 215–232, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.07.013.

[33] M. A. Shaikh, "Water conservation in textile industry," *Pakistan Text. J.*, vol. 58, no. 11, pp. 48–51, 2009. [Online]. Available: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SHAKIH%202009%20Water%20conservation%20in%20the%20textile%20industry.pdf



UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI



Centrum Wspierania
Edukacji
i Przedsiębiorczości



QUARTER MEDIATION



LUDOR
ENGINEERING



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

"The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein."

Project Number: 2020-1-ES01-KA202-083137