

STATE OF GREEN
WHITE PAPERS
FOR A GREEN TRANSITION

LIBERACIÓN DEL POTENCIAL DE LAS AGUAS RESIDUALES

El uso de las aguas residuales como recurso para
proteger a las personas y los ecosistemas

DENTRO DE ESTE LIBRO BLANCO

**Plantas de tratamiento de aguas residuales como
instalaciones de recuperación de energía**
Avanzando hacia un ciclo de agua de energía neutra

Las aguas residuales como recurso
Aprovechamiento de los beneficios de la
recuperación de recursos de las aguas residuales

Soluciones centralizadas vs. descentralizadas
Certeza del diseño más costo-eficiente
de la infraestructura de aguas residuales

**Un enfoque exitoso hacia las
aguas residuales industriales**
Los beneficios del tratamiento de
aguas residuales en el origen

IWA DENMARK
the international
water association

DWF
Danish Water Forum

State of Green
- Connect. Inspire. Share. Think Denmark

LIBERACIÓN DEL POTENCIAL DE LAS AGUAS RESIDUALES

El uso de las aguas residuales como recurso para proteger a las personas y los ecosistemas

Versión 3.0

Impreso en 2020

Foto de la primera página

Foto de portada con la PTAR de Egå

Foto: Kontraframe/State of Green

Jefe de Redacción

State of Green Tanya Gottlieb Jacobsen, info@stateofgreen.com

Editores técnicos

COWI Ole Godsk Dalgaard, oda@cowi.dk
 Aarhus Water Per Overgaard Pedersen, pop@aarhusvand.dk
 VCS Dinamarca Per Henrik Nielsen, phn@vandcenter.dk

Colaboradores

Universidad de Aalborg Per Halkjær Nielsen, phn@bio.aau.dk
 Aarhus Water Per Overgaard Pedersen, pop@aarhusvand.dk
 Aquarden Tore Svendsen, ts@aquarden.com
 Aquaporin Søren Robenhagen, sro@aquaporin.com
 AVK Michael Ramlau Hansen, mrh@avk.dk
 Billund Vand Ole Johnsen, opj@billundvand.dk
 BIOFOS Stig Dalum, sd@biofos.dk
 Biokube Peter Taarnhøj, pt@biokube.dk
 COWI Ole Godsk Dalgaard, oda@cowi.dk
 DHI Ulf Nielsen, uln@dhigroup.com
 Envotherm Vibeke Svendsen, vsv@envotherm.dk
 Grundfos Morten Riis, m.riis@grundfos.com
 Krüger Theis Gadegaard, tng@kruger.dk
 NISSEN energy Inc. Thorvald Pedersen, tp@nissenenergy.com
 Instituto Tecnológico Michelle Lison Rebsdorf, mlr@teknologisk.dk
 Unisense Mikkel Holmen Andersen, mha@unisense.com
 VCS Denmark Per Henrik Nielsen, phn@vandcenter.dk

Descargue este Libro Blanco

Descargue este Libro Blanco y otras publicaciones relacionadas en www.stateofgreen.com/publications

Para mayor información

Para solicitar copias del presente Libro Blanco o recibir información sobre otras publicaciones relacionadas, por favor contacte a State of Green en info@stateofgreen.com

Derechos reservados de State of Green y Danish Water Forum 2020



RESUMEN EJECUTIVO

A nivel global se recogen menos de la mitad de todas las aguas residuales y se tratan menos de una quinta parte de ellas. Lo anterior ha llevado a una severa degradación ambiental de muchas aguas continentales y marinas alrededor del mundo. La creciente escasez de agua y el crecimiento de la población subrayan la importancia de tratar y comprender el valor de las aguas residuales. El Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 de las Naciones Unidas pretende reducir a la mitad la proporción de aguas residuales no tratadas que se vierten en nuestros cuerpos de agua para el año 2030. Para lograr dicho objetivo, es importante también centrarse en la eficiencia energética y la recuperación de energía en el diseño de nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales y en mejorar de las existentes.

Plantas de tratamiento de aguas residuales productoras de energía

El sector del agua representa aproximadamente el 4% del consumo total de electricidad del mundo y el tratamiento de aguas residuales por sí solo representa una cuarta parte. En Dinamarca, la participación del sector del agua en el consumo total de electricidad del país ha caído al 1,9%. La mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales danesas han invertido de diferentes formas para reducir su consumo de energía y se están enfocando cada vez más en la producción de energía. Como siguiente paso, algunas empresas de servicios de agua también están estudiando la posibilidad de recuperar el calor de las aguas residuales antes de su descarga con el beneficio adicional de reducir el impacto de la temperatura en las aguas receptoras.

El uso de las aguas residuales como recurso

Considerar las aguas residuales como un recurso es una perspectiva relativamente nueva. Sin embargo, hoy en día se reconoce ampliamente que el contenido orgánico de las aguas residuales puede ser un recurso para la producción de energía y que el fósforo puede utilizarse para la producción de fertilizantes con varias ventajas en comparación con la aplicación de lodos de depuración en tierras agrícolas. Por último, el agua en sí puede limpiarse a un nivel tan alto que puede ser reutilizada de varias maneras, por ejemplo, para el lavado de los inodoros, las máquinas de lavar o el riego de cultivos.

Soluciones centralizadas vs. descentralizadas

Asegurar el diseño más costo-eficiente de la infraestructura de aguas residuales de un área es un gran desafío. En las zonas con gran densidad de población, la estructura óptima tiende a ser las plantas de tratamiento centralizadas, mientras que en las zonas rurales, que no están conectadas al sistema central de alcantarillado, las soluciones descentralizadas suelen ser más atractivas.

Tratamiento de aguas residuales industriales

Las plantas municipales de tratamiento de aguas residuales suelen estar diseñadas para las aguas residuales domésticas y no están necesariamente equipadas para manejar las aguas residuales industriales, las cuales a menudo contienen sustancias peligrosas que pueden causar problemas para los procesos biológicos y la eliminación de lodos. El pretratamiento de las aguas residuales industriales en el origen puede, por tanto, tener varias ventajas. Concretamente, el tratamiento se puede adaptar a los contaminantes industriales específicos que se suelen presentar en altas concentraciones en volúmenes relativamente pequeños de aguas residuales y, por lo tanto, requiere inversión y costos de explotación relativamente bajos.

Fuente de inspiración para proyectos propios de aguas residuales

El presente Libro Blanco muestra las lecciones aprendidas de diferentes partes interesadas danesas con respecto al tratamiento de aguas residuales. El objetivo del mismo es servir como herramienta de inspiración para aprovechar los beneficios del uso de las aguas residuales como recurso.

Esperamos que ustedes los lectores sean inspirados.



“Cuando tratamos nuestras aguas residuales, protegemos tanto la salud humana como el medio ambiente acuático y aumentamos la biodiversidad. Al mismo tiempo, tenemos tecnologías que pueden ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de energía proveniente del tratamiento de aguas residuales”.

Lea Wermelin, Ministra de Medio Ambiente, Dinamarca

Necesitamos un tratamiento eficiente de nuestras aguas residuales para proteger nuestra salud y el medio ambiente natural. La buena noticia es que con los métodos y la tecnología adecuados, las aguas residuales se pueden convertir en un recurso valioso. Por ejemplo, el lodo de las aguas residuales tratadas se puede convertir en una fuente de energía útil.

El gobierno danés se ha fijado la meta ambiciosa de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del país en un 70 por ciento para el 2030. Para alcanzar dicha meta, todos los sectores deben contribuir - incluyendo el sector de las aguas residuales.

La meta del sector hídrico danés es llegar a ser neutral en cuanto a la energía y el clima, y quizás incluso productor neto de energía. Se trata de una meta ambiciosa que requiere de cooperación entre las autoridades danesas, las empresas de servicios de agua, las compañías y las organizaciones, con el fin de crear soluciones más innovadoras que puedan aportar un valor agregado tanto a los consumidores de agua como a la sociedad en general. Éste es un gran ejemplo de cómo Dinamarca contribuye a encontrar soluciones a algunos de los principales desafíos del agua y el clima del mundo y da seguimiento a varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

El presente Libro Blanco muestra una serie de ejemplos de mejores prácticas de tratamiento de aguas residuales, tanto centralizadas como descentralizadas. Aunque muchas de estas soluciones han sido creadas dentro del contexto danés, son escalables y aplicables para un público global.

ÍNDICE

1. Los requisitos de los efluentes como motor de la innovación.....	6
Tratamiento de aguas residuales al más alto nivel para proteger a las personas y los ecosistemas	
2. Las aguas residuales como fuente de energía limpia	10
Rumbo a las plantas de tratamiento de aguas residuales productoras de energía y un ciclo de agua neutro en energía	
3. Recuperación de recursos provenientes de aguas residuales.....	14
Las plantas de tratamiento de aguas residuales como instalaciones de recuperación de recursos	
4. Tratamiento centralizado de aguas residuales	16
Cómo garantizar un tratamiento costo-eficiente mediante la centralización	
5. Soluciones de tratamiento descentralizado de aguas residuales.....	18
Protección del medio ambiente manteniendo los recursos hídricos en la zona	
6. Tratamiento de aguas residuales industriales	20
El tratamiento en el origen es a menudo más eficiente para las aguas residuales industriales	
7. El verdadero valor del agua	23
Una perspectiva danesa sobre cómo le podemos dar forma a nuestro futuro del agua	

1. LOS REQUISITOS DE LOS EFLUENTES COMO MOTOR DE LA INNOVACIÓN

Tratar las aguas residuales al más alto nivel para proteger a las personas y los ecosistemas

En muchos países, décadas de descarga descontrolada de aguas residuales han dado lugar a una grave degradación ambiental de las aguas continentales y costeras. Las normas regulatorias más estrictas tanto para la eficiencia del tratamiento como para la calidad de los efluentes son herramientas importantes para revertir dicha tendencia.

Se recoge pero sin cumplir las normas. Se estima que en todo el mundo se recoge y trata adecuadamente sólo el 20% de todas las aguas residuales generadas en los hogares y la industria. El Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 de las Naciones Unidas busca reducir a la mitad para el año 2030 la proporción de aguas residuales no tratadas que se descargan en nuestros cuerpos de agua. En Europa, el 97% de las aguas residuales generadas se recogen y se someten a un tratamiento más allá del nivel primario, sin embargo sólo el 69% se somete a un tratamiento terciario.

La regulación como motor del desarrollo. El medio ambiente ha sido un área de interés clave en Dinamarca durante un largo período de tiempo y algunas de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales más antiguas se establecieron hace más de 100 años y hoy en día, se trata el 97% de todas las aguas residuales. Dinamarca fue uno de los primeros países en tomar medidas importantes para minimizar el impacto adverso de las descargas de aguas residuales de las ciudades al medio ambiente acuático. El enfoque ha sido utilizar tecnologías novedosas y no sólo alejar la contaminación de las ciudades, sino también tratar las aguas residuales de las ciudades según un estándar apropiado. Lo anterior ha mejorado la habitabilidad de las ciudades danesas y ha hecho más atractivas las zonas circundantes. Desde el punto de vista geográfico, Dinamarca se enfrenta al problema de la falta de grandes cuerpos acuáticos para la descarga de contaminantes de las ciudades. En consecuencia, el aspecto ambiental ha sido de importancia durante mucho tiempo y ha dado lugar a una rigurosa reglamentación que se aplica desde los años 80, reforzándose aún más en los 90 con las normas danesas para la descarga en aguas sensibles. Gran parte de la legislación aprobada en Dinamarca ha sido acogida casi en su totalidad por la Unión Europea y hoy en día, Dinamarca está sujeta a la Directiva Marco sobre el Agua de la Unión Europea. Sin embargo, la reglamentación danesa es en muchos aspectos más estricta que los requisitos generales de la UE. Desde el principio, los requisitos

legislativos y las normas se han basado en una evaluación específica del receptor con el fin de garantizar grandes mejoras de la calidad del agua en los cuerpos acuáticos circundantes.

“Además de eliminar los nutrientes de las aguas residuales a un nivel muy alto, las plantas de tratamiento en Dinamarca se están convirtiendo en instalaciones de recuperación de recursos. A través de estrategias de control avanzadas es posible reducir el consumo de energía de las instalaciones y al mismo tiempo minimizar las emisiones de metano y óxido nítrico (N₂O), reduciendo así la huella de carbono global de dichas instalaciones. El resultado no sólo es una mejor calidad del agua sino también un futuro general más sostenible”.

Lars Schrøder
CEO de Aarhus Water

El principio de que quien contamina paga. En muchos países, los servicios de agua y aguas residuales se consideran bienes públicos pagados por el Estado. Sin embargo, en Dinamarca y en otros estados miembros de la Unión Europea el “principio de que quien contamina paga” se aplica tanto a los usuarios domésticos como a los industriales, lo cual significa que el costo de la recolección y el tratamiento de las aguas residuales debe ser cubierto por las tarifas del agua. Para complementar el marco regulatorio, se ha establecido un impuesto sobre los vertidos, lo cual significa

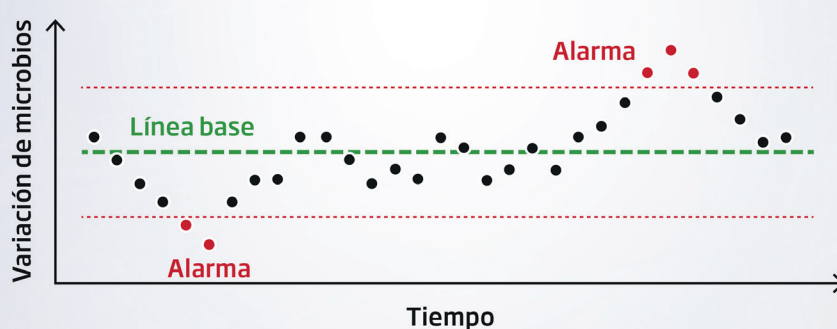
que el contaminador (en este caso las instalaciones de tratamiento de aguas residuales) tienen que pagar un impuesto por cada kilo de descarga de los tres parámetros clave; materia orgánica (DBO), fósforo total (P) y nitrógeno (N). El resultado ha sido una estrategia de optimización muy innovadora y progresiva para el sector del agua en Dinamarca.

Operación más allá de los requisitos de descarga

Hoy en día, las plantas de tratamiento danesas de todos los tamaños suelen funcionar muy por debajo del requisito de descarga, ya que esto ha demostrado ser económicamente beneficioso tanto para la empresa de aguas residuales como para el medio ambiente. Lo anterior demuestra que la regulación puede ser un motor productivo para la innovación y la excelencia. A finales de los años 80 y principios de los 90, el enfoque danés llevó a la construcción de plantas de tratamiento biológico en todo el país, incluso para plantas muy pequeñas. Desde entonces dichas plantas han sido constantemente optimizadas y expandidas. El resultado ha sido un medio ambiente acuático sustancialmente mejorado, con muchos casos de calidad de agua que permite la reproducción de salmón en ríos y arroyos - incluso en zonas muy densamente pobladas. El valor recreativo de los cuerpos de agua daneses también ha mejorado y en muchas ciudades, ahora es posible nadar en los puertos del centro de la ciudad.

Soluciones costo-eficientes

Los costos de la recolección y tratamiento de las aguas residuales suelen ser el doble de los costos de extracción y suministro de agua, lo que significa que es imprescindible encontrar soluciones costo-efectivas para garantizar un tratamiento asequible de las aguas residuales para los usuarios y los contaminadores del agua. A pesar del alto grado de recuperación de energía y del elevado nivel de tratamiento, el costo del agua potable de alta calidad y del manejo de las aguas residuales por hogar está al mismo nivel que en otros países.



Análisis de ADN en línea - comprensión de las comunidades microbianas en las plantas de tratamiento de aguas residuales - PTAR para la optimización de los procesos, Aalborg, Aarhus, Odense y Copenhague, Dinamarca

La Universidad de Aalborg ha establecido la base de datos MIDAS que proporciona información sobre la función y la distribución de la mayoría de los microorganismos en los lodos activados de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Dinamarca. La composición de la comunidad microbiana ha sido estudiada en 50 plantas de tratamiento de aguas residuales la mayoría de los años desde 2006 mediante análisis avanzados de ADN, lo cual constituye un enorme banco de conocimiento. Cada planta de tratamiento de aguas residuales "conoce sus microbios" y puede utilizar dicha información sobre las principales especies que participan en la eliminación de nitrógeno, la eliminación de fósforo y

las propiedades de asentamiento para optimizar el funcionamiento, ya que los cambios en la composición de la comunidad suelen reflejarse en el rendimiento de la planta. Con el fin de tener información diaria, la Universidad de Aalborg ha hecho pruebas con el "análisis de ADN en línea", donde secuenciadores de ADN de mano del tamaño de un teléfono inteligente se utilizan para la identificación de los microbios en unas pocas horas - directamente en la planta de tratamiento de aguas residuales. Los resultados son muy prometedores y los análisis diarios o semanales pronto serán una realidad para la vigilancia y el control de los microbios en muchas plantas de tratamiento de aguas residuales danesas.

(Cortesía: Center for Microbial Communities - Aalborg University, Aalborg Forsyning A/S, Aarhus Vand, VCS Denmark, BIOFOS y Krüger)

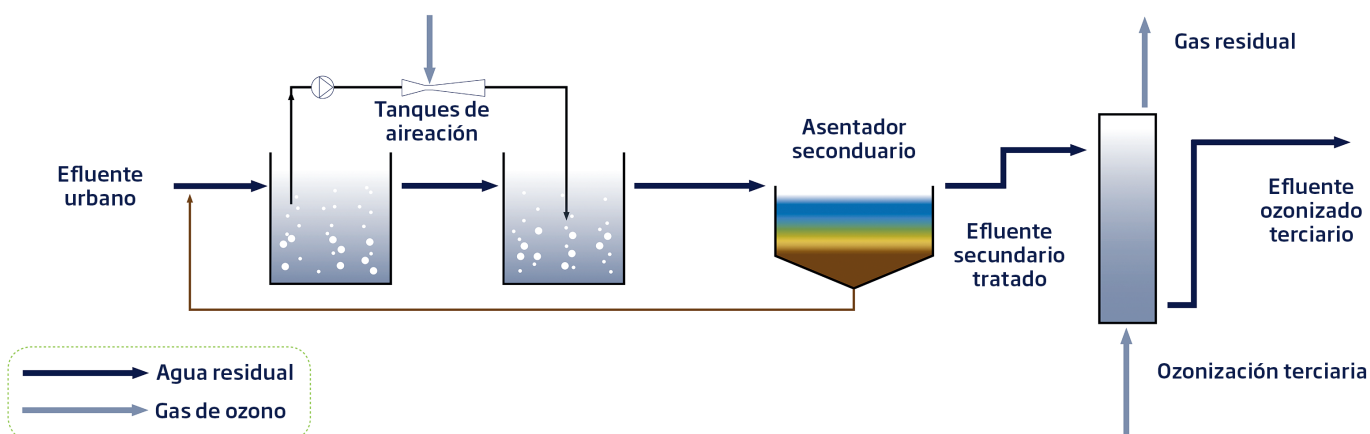


Hacia un tratamiento de aguas residuales neutro para el clima, Odense y Aarhus, Dinamarca

Durante la última década, ha habido un fuerte movimiento hacia la reducción del costo y el impacto climático del tratamiento de las aguas residuales, principalmente a través del ahorro de energía y el aumento de la producción de energía mediante la digestión anaeróbica. Desde una perspectiva climática, también es relevante centrarse en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, incluyendo la minimización de las emisiones de N₂O del tratamiento de aguas residuales, ya que esto contribuye típicamente al 20-50% del impacto climático total del tratamiento de aguas residuales. Por lo tanto, se ha instalado una única tecnología de sensor de N₂O en varias plantas de tratamiento de

Dinamarca. El sensor puede detectar la concentración de N₂O en línea en el y la emisión del mismo se puede calcular en tiempo real a través de modelos de emisión. Además, las estrategias de control en línea para reducir el N₂O se han desarrollado y probado en campañas de control. Dado que el ahorro de energía desequilibrado y el aumento de la producción de energía pueden conducir a un aumento en la emisión de N₂O, esto podría en realidad resultar en un efecto negativo neto sobre el clima. Esta nueva tecnología permite a las plantas de tratamiento de aguas residuales pasar de la neutralidad energética a la "neutralidad climática".

(Cortesía: Unisense Environment, DHI, VCS Denmark, Aarhus Vand con el apoyo financiero de VTUF y el Programa Danés de Eco-Innovación)

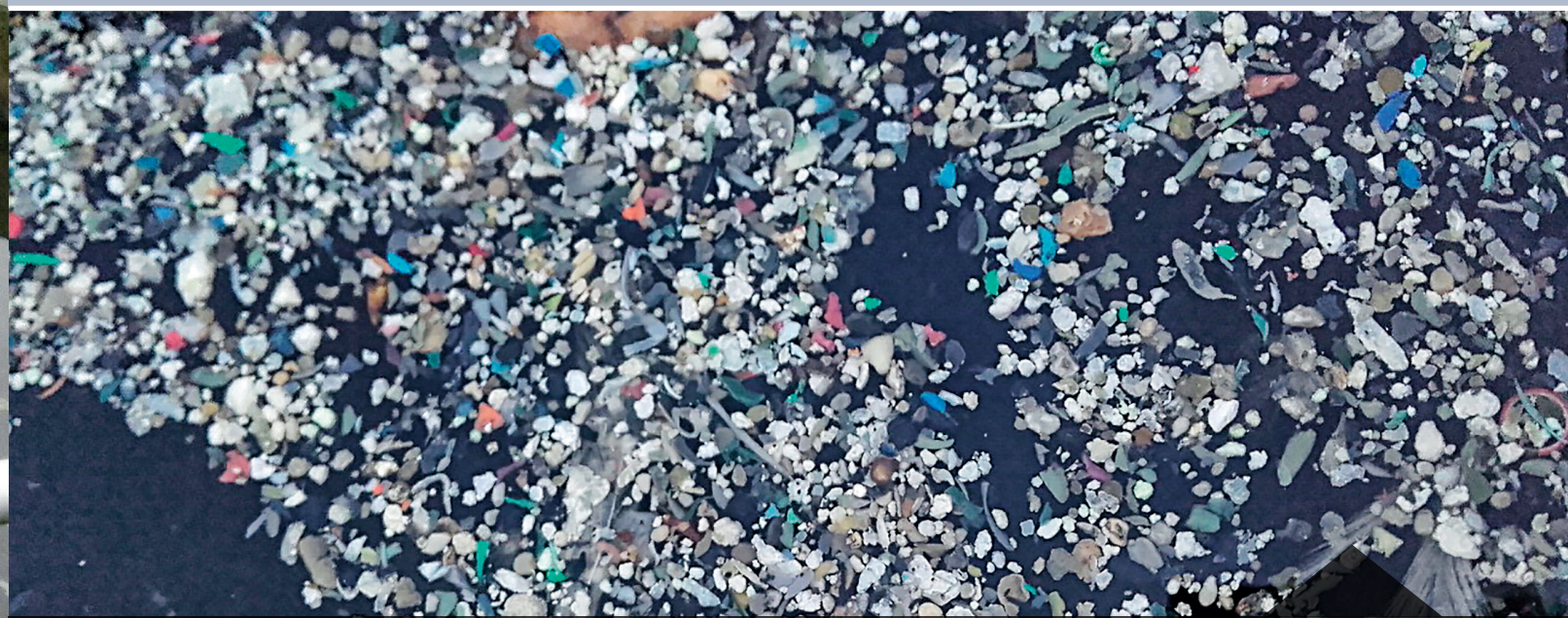


Eliminación de los microcontaminantes de las aguas residuales mediante el uso innovador de tecnología conocida, Brædstrup, Dinamarca.

Muchos países de Europa y de todo el mundo han aumentado la atención que se le da a la eliminación de los microcontaminantes de las aguas residuales para proteger el agua potable y el medio ambiente acuático. En la planta de tratamiento de aguas residuales de Brædstrup, un proyecto de desarrollo está utilizando tecnologías conocidas en una nueva forma de eliminar los microcontaminantes -incluidos los residuos farmacéuticos- de las aguas residuales. Se probó la ozonización en el proceso principal de la planta de tratamiento de aguas residuales combinada con el tratamiento terciario (también con ozono) y los resultados muestran que cada microcontaminante medido fue eliminado por debajo de la concentración

prevista sin efecto (PNEC). A través de pruebas ecotoxicológicas, se observaron niveles más bajos de efectos mutágenos y hormonales y no se detectaron efectos secundarios negativos. La ozonización también dio lugar a mejores condiciones de los lodos, una mayor eliminación de E. coli y de bacterias resistentes a los antibióticos, así como de genomas resistentes a los antibióticos. La última prueba del proyecto será la aplicación de dosis de carbón activado directamente en el proceso biológico. Esto debería resultar en la adsorción del microcontaminante por el carbón activado y así hacer posible su eliminación junto con el lodo. El proyecto terminará en 2020 con un informe final.

(Cortesía: SAMN Utility, Universidad de Aalborg, KD Maskinfabrik, SUEZ y COWI A/S)



Medición y mitigación de microplásticos en aguas pluviales y aguas residuales, Dinamarca

En los últimos años, el Instituto Tecnológico Danés (DTI) ha sido uno de los principales asociados en varios proyectos de investigación y desarrollo centrados en la caracterización y eliminación de microplásticos y microgoma en el influente/efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales, las aguas residuales industriales y las aguas pluviales, respectivamente. Sobre la base de la purificación de muestras químicas y la espectroscopia Raman, DTI ha desarrollado un método que permite la identificación, caracterización y medición de las partículas tanto de microplásticos como de microgoma obtenidas de muestras del agua. El método se ha aplicado, mejorado y perfeccionado continuamente en los últimos cinco años. También se ha centrado en la eliminación de microplásticos de diferentes fuentes de agua mediante el desarrollo y la

demonstración con éxito de una variedad de tecnologías de tratamiento de aguas residuales. La estrecha colaboración entre las universidades danesas, los servicios de suministro de agua y los proveedores de tecnología hídrica ha proporcionado importantes conocimientos en lo que respecta a la medición y la mitigación de la contaminación por microplásticos en los entornos hídricos. Los proyectos han recibido financiación del Programa Danés de Ecoinnovación (MUDP) y del Programa de Desarrollo y Demostración del Sector del Agua (VUDP).

(Cortesía: DTI, Universidades de Aarhus y Aalborg, Berendsen, Aage Vestergaard Larsen A/S, AL-2 Teknik A/S, Grimstrup Maskiner ApS, Dankalk K/S, Techras Miljø Aps y varias empresas de servicios públicos como Mariagerfjord, Novafos, Ringkøbing-Skjern, Syddjurs, VCS Denmark, Lemvig y Hedensted)

2. LAS AGUAS RESIDUALES COMO UNA FUENTE DE ENERGÍA LIMPIA

Rumbo a las plantas de tratamiento de aguas residuales productoras de energía y a un ciclo de agua neutro en energía

La reducción de los costos de recolección y tratamiento de las aguas residuales es un tema importante para los servicios de agua en todo el mundo. Para lograrlo, hay que centrarse en la eficiencia de costos, la mejora de la autosuficiencia energética de las plantas de tratamiento de aguas residuales y la posible venta del excedente de energía a la red.

Reducción del consumo de energía

A nivel mundial, la Agencia Internacional de Energía (AIE) estima que el sector del agua representa aproximadamente el 4% del consumo total de electricidad del mundo y que el tratamiento de las aguas residuales representa por sí solo una cuarta parte del mismo. El cumplimiento del objetivo de la ONU de reducir a la mitad la proporción de aguas residuales no tratadas para 2030 podría, por lo tanto, ejercer una importante presión al alza en la demanda de energía, a menos que se aplique la eficiencia energética y la tecnología de recuperación en las plantas de tratamiento. En Dinamarca, la participación del sector del agua en el consumo total de electricidad del país ha disminuido al 1,9%, ya que cada vez más empresas de servicios públicos se han dado cuenta del gran potencial de ahorro y recuperación de energía en el tratamiento de aguas residuales. La mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Dinamarca han invertido en una evaluación de diferentes formas de reducir su consumo de energía, las cuales incluyen la implementación de sistemas de monitoreo en línea y de gestión de energía, el reemplazo de la aireación de superficie por aireadores de fondo de mayor eficiencia energética y diferentes enfoques operativos.

Nuevo enfoque hacia la autosuficiencia energética

En los últimos años, los servicios de agua daneses han pasado de centrarse simplemente en la reducción del consumo de energía a centrarse también en la producción de energía. El primer objetivo es típicamente llegar a ser neutros en términos de energía, y el segundo objetivo es poder vender el exceso de electricidad y calor a las compañías locales de electricidad y calefacción. Algunos de los mayores servicios de agua ya están en camino. En la segunda ciudad más grande de Dinamarca, Aarhus, la planta de tratamiento de aguas residuales de Marselisborg produjo un 30% más de electricidad que la cantidad consumida por la propia planta en promedio entre 2015-2019. Al mismo tiempo, dicha planta de tratamiento produjo un 75% más de calor del que consumió, lo que dio como resultado una producción total de energía neta del 150%. En Odense, la tercera ciudad más grande de Dinamarca, la planta de tratamiento de aguas residuales de Ejby Mølle

alcanzó niveles similares de producción total de energía neta. Como siguiente paso, los servicios de agua de ambas ciudades están estudiando la posibilidad de recuperar el calor de las aguas residuales antes de su vertido, con el beneficio adicional de reducir el impacto de la temperatura en las aguas receptoras.

“Los servicios de servicios públicos de agua daneses contribuirán al objetivo de Dinamarca de reducir el 70% de las emisiones de CO₂ en 2030 mediante la recuperación de la energía y una reducción significativa del consumo de energía en el tratamiento de las aguas residuales. En Aarhus Vand, hemos reducido nuestras emisiones de GEI en casi un 80% desde 2008. Esto demuestra que es posible obtener grandes beneficios trabajando sistemáticamente en la optimización de la energía”.

Lars Schrøder, Director General de Aarhus Vand y Vicepresidente de la Alianza del Clima del gobierno danés sobre los desechos, el agua y la economía circular

Las soluciones dependen del diseño y el contexto de la planta

Cada vez más plantas de tratamiento de aguas residuales en Dinamarca son mejoradas con una digestión aeróbica de lodos y/o codigestión con productos de desechos orgánicos y utilizan el biogás producido para generar electricidad y calor. Las soluciones óptimas dependen del diseño individual de la planta y de las posibilidades de uso interno o de venta externa de la electricidad o el calor producidos. El punto de inflexión para el cual la implementación de la digestión anaeróbica es financieramente viable depende del desarrollo de nuevas tecnologías y de los cambios en la estructura de precios para la compra y venta de electricidad y calor. En Copenhague, actualmente se está

implementando una tecnología que permite mejorar el biogás hasta una calidad similar a la del gas natural o el combustible para vehículos.

En camino hacia un ciclo de agua neutro en energía y clima

Al introducir nuevas tecnologías para reducir el consumo de energía y mejorar la producción de energía, el objetivo es que las empresas de servicios públicos puedan proporcionar un ciclo de agua neutro en energía. En este escenario, la producción de energía de las plantas de tratamiento de las empresas de servicios públicos es capaz de cubrir el consumo de energía relacionado con la extracción de aguas subterráneas, el tratamiento de aguas, el transporte de agua y aguas residuales, al igual que el tratamiento de las aguas residuales. En 2019, VCS Dinamarca demostró una producción de energía neta del 100% para el ciclo del agua en toda el área de servicio de la empresa de servicios públicos, cubriendo las 8 plantas de tratamiento de aguas residuales y la producción y distribución de agua en la ciudad de Odense, la tercera ciudad más grande de Dinamarca con una población de 200.000 habitantes. El sector hídrico danés se ha fijado el objetivo común de llegar a ser energéticamente y climáticamente neutro para el 2030. Dicho objetivo se implementó en los planes climáticos nacionales del gobierno en 2020.

Los indicadores comparativos y la innovación conducen a menores costos

La innovación de las nuevas soluciones de optimización del tratamiento de aguas residuales y de rentabilidad tanto para la construcción como para la explotación de la infraestructura está impulsada en gran medida por el hecho de que las empresas danesas de abastecimiento de agua están sujetas a una comparación basada en indicadores y obligatoria de los parámetros operativos y de la rentabilidad en todo el sector del agua. Los proyectos de innovación suelen basarse en la colaboración entre organismos gubernamentales, empresas de abastecimiento de agua, compañías consultoras, proveedores de tecnología, universidades e instituciones de investigación. La Asociación Danesa de Agua y Aguas Residuales (DANVA) también lleva a cabo su propio benchmarking voluntario cada año.

Descargue aquí el último informe:

www.danva.dk/waterinfigures



El logro de autosuficiencia energética del 150% en la planta de tratamiento de aguas residuales en Aarhus, Dinamarca

En los últimos cinco años, la empresa de aguas Aarhus Vand ha puesto gran énfasis en el ahorro y la producción de energía. En su planta de tratamiento de aguas residuales de Marselisborg, la empresa de servicios públicos ha implementado tecnologías de ahorro de energía como un sistema de control avanzado SCADA, un nuevo turbocompresor, tratamiento de licor de lodo basado en el proceso anammox, así como la optimización del sistema de aireación de burbujas finas. Todo esto ha dado lugar a una reducción del consumo de energía de aproximadamente 1GWh/año, lo que corresponde a un 25% de ahorro total. Durante el mismo período de tiempo, la producción de energía se ha mejorado a

través de la implementación de nuevos motores de biogás de alta eficiencia energética (CHP), lo cual resulta en un aumento de la producción de electricidad de aproximadamente 1 GWh/año. Además, se instaló un nuevo intercambiador de calor con el objetivo de vender el calor sobrante a la red de calefacción urbana, lo cual representa aproximadamente 2 GWh/año. Entre 2015 y 2019, la planta de tratamiento de aguas residuales de Marselisborg tuvo una producción total de energía media de 9,6 MWh/año y un consumo de energía de 6,4 MWh/año, lo que equivale a una producción de energía neta del 150%. La mayoría de las tecnologías instaladas tienen un tiempo de retorno de la inversión de menos de 5 años.

(Cortesía: Aarhus Vand)



Tratamiento de aguas residuales positivo para la energía y el clima en Copenhague, Dinamarca

Con un total de 60.000 m³ de capacidad de digestión en sus tres plantas de tratamiento, la mayor empresa de aguas residuales de Dinamarca, BIOFOS, pudo alcanzar un superávit del 173% en la producción de energía verde en 2019. Al aumentar el superávit de energía, BIOFOS ha podido aumentar el suministro de energía verde a la red de gas de la ciudad de Copenhague, así como a la red de gas natural, y reduciendo así las emisiones de CO₂ producidas por los métodos tradicionales de producción de gas. Además, el excedente de calor proveniente de la incineración de los lodos digeridos sirve de suministro a la red de calefacción del distrito

en Gran Copenhague. Con un crecimiento constante en la producción de energía verde, el balance energético de BIOFOS ha sido positivo desde 2014. Como resultado, BIOFOS aspira a convertirse en una empresa de tratamiento positivo para el clima para el 2025. Además de aumentar su propia producción de energía verde, BIOFOS también se centra en reducir su compra de energía basada en combustibles fósiles de la red pública y en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de los procesos de tratamiento de aguas residuales, especialmente del potente óxido nitroso (N₂O).

(Cortesía: BIOFOS)



Maximización del valor de las aguas residuales en la planta de tratamiento existente en Odense, Dinamarca

La ciudad de Odense está situada en el área continental y la empresa local de aguas residuales, VCS Dinamarca, está operando bajo estrictos requisitos de reducción de nutrientes en sus instalaciones de tratamiento debido a que se trata de un recipiente sensible. A pesar de esto, la mayor planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa de servicios públicos - con una capacidad de 410.000 equivalentes-hombre (PE) - ha logrado un grado de autosuficiencia eléctrica de más del 125%

a través de la optimización de la infraestructura existente en la planta. Se ha logrado la mejora continua en todos los parámetros mediante un enfoque holístico en el que cualquier mejora cuenta y se han buscado y probado de forma consistente las nuevas ideas. También se han identificado más oportunidades de optimización en cooperación con varias empresas consultoras, que mejorarán la reutilización de nutrientes y maximizarán la extracción de biogás para la producción adicional de calor y electricidad aún más.

(Cortesía de VCS Denmark)



Operaciones de energía neta cero en la planta de tratamiento de aguas residuales en Downers Grove, Illinois, EE.UU.

El Distrito Sanitario de Downers Grove en el estado de Illinois ha dedicado importantes recursos para reducir su huella energética. Las mejoras en la eficiencia de los procesos, incluyendo la automatización de la planta, las mejoras en el sistema de aireación, las actualizaciones de los sistemas de HVAC y de gestión de edificios y los variadores de frecuencia han dado como resultado una reducción del 30% en el uso de electricidad en su planta de tratamiento de aguas residuales. El resto de la electricidad utilizada por la instalación se produce in situ mediante un sistema de cogeneración de calor y energía impulsado por biogás. El biogás es

producido por co-digestión de residuos de alimentos transportados y los lodos residuales generados en el lugar. El biogás se utiliza como combustible para accionar un generador eléctrico con motor. Además, la recuperación de calor en forma de agua caliente circulante se utiliza para el calor de proceso de la planta. La planta de cogeneración se instaló en 2017 con un tiempo de recuperación de 3,5 años. Se espera que las inversiones totales en infraestructura de unos 5 millones de dólares tengan un período de amortización de 10 años.

(Cortesía: NISSEN energy Inc., Landia y Centro de Tratamiento de Aguas Residuales del Distrito Sanitario de Downers Grove)

3. RECUPERACIÓN DE RECURSOS DE AGUAS RESIDUALES

Las plantas de tratamiento de aguas residuales como instalaciones de recuperación de recursos

Tradicionalmente, las aguas residuales se han considerado un pasivo, a la vez que el cumplimiento de normas cada vez más estrictas para la descarga de aguas residuales también aumenta los costos de tratamiento, por tanto, el uso de los recursos de las aguas residuales puede ser un paso importante en la dirección opuesta.

El considerar las aguas residuales como un recurso es una perspectiva relativamente nueva. Sin embargo, hoy en día se reconoce ampliamente que el contenido orgánico de las aguas residuales puede ser un recurso para la producción de energía, pues los nutrientes -especialmente el fósforo - se puede utilizar para la producción de fertilizantes, y el agua misma se puede limpiar a un nivel tan alto que se puede reutilizar de varias maneras - por ejemplo, para los tanques de las sisternas o para la lavadora.

Uso del contenido orgánico

Como se describió en el capítulo anterior, la materia orgánica de las aguas residuales se puede separar y utilizar para el biogás. Éste ha sido un procedimiento estándar en las grandes plantas de tratamiento de aguas residuales durante un buen tiempo, y además las nuevas tecnologías de tratamiento de aguas y los equipos más eficientes para la producción combinada de energía y calor han aumentado el potencial. Si se introducen nuevos procesos de ahorro de carbono para la eliminación de nutrientes, se puede ahorrar el contenido orgánico para el uso de energía en la producción de biogás. Dinamarca tiene una vasta experiencia en la optimización del uso del carbono y ahora también está adquiriendo conocimientos técnicos en la recuperación de nutrientes.

Recuperación del fósforo proveniente de los lodos de aguas residuales

El fósforo es un recurso escaso y de gran valor para el sector agrícola. El fósforo se acumula en los lodos de las basuras y en las corrientes laterales internas y, si se trata adecuadamente, es posible convertirlo en una cosecha controlada de un fertilizante puro. La recuperación de fosfato para fertilizante permite una multitud de posibilidades para el manejo de los lodos, sin desperdiciar el fósforo de valor para que termine en forma de cenizas de baja calidad o mezclado con metales pesados y microcontaminantes de las aguas residuales en el lodo. La

estruvita del producto fosfórico ya fue aprobada en Dinamarca como producto fertilizante. Dos plantas a gran escala en Aarhus conforman actualmente el contexto para aumentar el actual reciclaje de fósforo de aproximadamente 15% al 25%. Una vez se haya completado el proyecto, se espera que la recuperación total de fósforo en toda la zona de captación aumente a aproximadamente 22 toneladas de fósforo por año o aproximadamente 0,5 toneladas de fertilizante de estruvita por día.

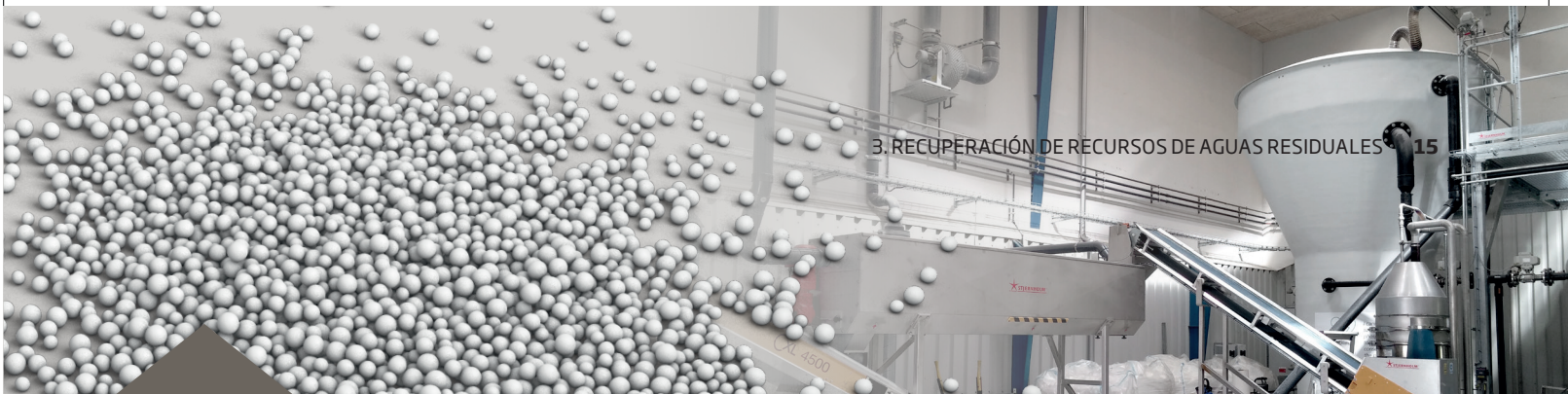
Beneficios del uso de fertilizante de estruvita en comparación con lodos residuales

La solución de recuperación de la estruvita como fertilizante de fósforo mineral puro ofrece varias ventajas en comparación con la aplicación de lodos de depuración en tierras agrícolas:

- **Beneficios ambientales:** La estruvita es significativamente más limpia que los lodos de las aguas residuales en términos de metales pesados. El contenido de los metales problemáticos típicos como el plomo, el cadmio, el níquel, el cromo, el cobre y el zinc es un factor de 20 a 100 veces menor en relación con el contenido de fósforo.
- **Reducción de los riesgos de contagio de las aguas subterráneas:** El fósforo de las aguas residuales se puede utilizar para la agricultura sin riesgo de contaminación del suelo y de las aguas subterráneas por la acumulación de metales pesados y otras sustancias nocivas para el medio ambiente, lo que permite llevar a cabo la posterior explotación de las aguas subterráneas en la misma zona.
- **Mayor flexibilidad en cuanto al uso y almacenamiento:** La estruvita es mucho más flexible como fertilizante ya que el material es concentrado, viene en forma seca y es posible almacenarlo por períodos de tiempo más largos.

- **Beneficios económicos:** La estruvita se puede vender a un precio elevado (hasta 335 euros por tonelada).
- **Lista para usarse como fertilizante:** No hay necesidad de un procesamiento posterior ya que el material está listo para su uso y se puede mezclar con otros fertilizantes minerales si es necesario cambiar el nivel de potasio o nitrógeno.
- **Más adecuado como fertilizante dedicado:** La estruvita ha demostrado excelentes propiedades para fertilizar plantas y cultivos específicos con necesidad de extra fósforo y magnesio. Los campos de golf y los semilleros de plantas son buenos ejemplos de lo anterior.
- **Baja solubilidad:** La estruvita tiene una solubilidad baja, lo cual la hace adecuada para el fertilizante de depósito donde el contenido de fósforo se vuelve a liberar lentamente de acuerdo con las necesidades de las plantas. Lo anterior es una ventaja para la difusión del fertilizante sin peligro de disolución en las aguas subterráneas o superficiales.
- **Costo más bajo:** Los lodos de las plantas recuperadoras de fósforo, que sean bajas en dicho componente, pueden utilizarse como biocombustible sin que ello resulte en una pérdida de fósforo en las cenizas. El costo de la recuperación de fósforo de las cenizas es mucho más alto que el de la extracción como estruvita de las aguas residuales.

La recuperación de fósforo basado en estruvita está a la vanguardia en la recuperación de fósforo de las aguas residuales. La tecnología está todavía en desarrollo y las empresas y servicios daneses de aguas residuales están trabajando en el desarrollo de soluciones de procesos aún más eficientes.



Recuperación de fósforo de las aguas residuales en Herning y Aarhus, Dinamarca

En 2015, la empresa de aguas Herning Vand Ltd. abrió la segunda Planta de recuperación de fósforo en Dinamarca, la cual recupera el fósforo de una corriente lateral concentrada en la planta de tratamiento de aguas residuales. Durante varios años, la PTAR sufrió una acumulación de escala de estruvita en sus tuberías de lodo y de aguas residuales, lo que causaba problemas en el proceso de deshidratación de producción de lodo y biogás. Además de resolver el problema, Herning Water quería explotar el potencial de reciclaje de la estruvita como fertilizante agrícola. Por lo tanto, se diseñó una solución basada en la precipitación controlada de estruvita, y se construyó una planta de recuperación de estruvita de

compuesto de fósforo de acuerdo con los resultados de pruebas anteriores de Aarhus Vand en su PTAR Aaby. En ambas plantas, la estruvita se precipita como un fertilizante "listo para usar" y se le vende a una compañía de fertilizantes. Se obtuvo la aprobación oficial del producto como fertilizante comercial para la estruvita producida en las dos plantas de Herning y Aarhus bajo el nombre PhosphorCareMR. Los ahorros operacionales en las plantas de tratamiento y los ingresos esperados de la venta de la estruvita proyectan resultados para un tiempo de recuperación de la inversión de 10 a 12 años.

(Cortesía: Herning Vand, Aarhus Vand, Stjernholm, Grundfos, Norconsult, Suez y SEGES)



Recuperación de recursos para el futuro en Billund, Dinamarca

La BioRefinería Billund (BBR) es una planta de recuperación de recursos que integra la gestión de residuos y el tratamiento de aguas residuales. BBR produce agua limpia, energía para las redes públicas de calefacción y electricidad del distrito local, así como fertilizante natural de alta calidad para las zonas agrícolas circundantes. Las zonas de captación de aguas residuales consisten en sistemas de alcantarillado combinados y separados, y los residuos comprenden los desechos orgánicos clasificados de los hogares y las industrias locales. BBR integra el tratamiento de aguas residuales con la digestión anaeróbica y otros procesos innovadores como ExelysMR (hidrólisis térmica) y AnitaMoxMR (proceso Anammox). Dichos procesos, junto con el sistema de control y monitoreo avanzado y

en línea de STARMR, minimizan el uso de energía y maximizan la producción de energía y la calidad de los efluentes. Como resultado, las concentraciones de nutrientes en los efluentes (N, P y DQO) se han reducido a una cuarta parte del nivel requerido por la legislación danesa; y la planta funciona con un excedente de energía del 200% en relación con el consumo propio de la planta. BBR es una asociación público-privada con un período de recuperación de la inversión de 9 años y fue financiada por el Programa Danés de Eco-Innovación (MUDP) y la Fundación Danesa del Sector del Agua (VTUF).

(Cortesía: Billund Vand og Energi A/S y Krüger Veolia A/S)



ReCoverP: Recuperación mejorada del fosfato de las aguas residuales en Aalborg, Aarhus, Herning y Odense, Dinamarca.

Casi el 80% del fosfato de las aguas residuales danesas se reutiliza como fertilizante en la agricultura a partir de los biosólidos producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales. La recuperación de los productos de alto valor de fosfato también tiene un gran potencial. Un proyecto apoyado por el Fondo de Innovación de Dinamarca ha evaluado esta iniciativa. La Universidad de Aalborg y la Universidad del Sur de Dinamarca - junto con las empresas de servicios de agua y consultores - probaron y optimizaron métodos y enfoques novedosos para mejorar la recuperación de productos de fosfato de alto valor de las plantas de tratamiento de aguas residuales, de las cuales la mayoría tenían eliminación biológica de fosfato y digestores anaeróbicos. Se desarrollaron nuevos

métodos para la especiación y cuantificación de microorganismos acumuladores de polifosfatos y componentes químicos que contienen fosfato, lo cual permitió realizar detallados balances de masa de fosfato. El desarrollo de la cristalización de CaP de alta pureza a partir del digestato del digestor mediante la tecnología OxyCrysPTM tuvo bastante éxito. Las LDH como material de filtración e intercambio iónico, así como la aplicación de membranas, demostraron ser muy prometedoras para recuperar o cristalizar productos de fósforo.

(Cortesía: Universidad de Aalborg, Universidad del Sur de Dinamarca, Aarhus Vand, Aalborg Forsyning, VCS Denmark, Herning Vand y Krüger AS)

4. TRATAMIENTO CENTRALIZADO DE AGUAS RESIDUALES

Cómo garantizar un tratamiento eficaz y costo-eficiente mediante la centralización

Una legislación ambiental más estricta y una mayor conciencia pública sobre la importancia de un tratamiento adecuado de las aguas residuales han dado lugar a un tratamiento centralizado y más eficiente en muchas regiones. Otros factores que impulsan la centralización del tratamiento de las aguas residuales son la consolidación del sector del agua con servicios de agua más grandes y una mayor demanda de tratamientos costo-efectivos y recuperación de recursos.

Construcción de una infraestructura costo-efectiva. En algunas regiones, las redes de alcantarillado y las instalaciones de tratamiento han alcanzado un nivel de cobertura de casi el 100%. Sin embargo, en muchas otras regiones sigue habiendo una enorme necesidad de seguir ampliando las redes de alcantarillado y de construir nuevas plantas de tratamiento o mejorar las existentes. Sin embargo, el asegurar el diseño más costo-efectivo de la infraestructura de aguas residuales de un área es un gran desafío. En las zonas con una densa población, la estructura óptima parece ser principalmente grandes instalaciones de tratamiento centralizadas, dado que el aumento de las demandas de autosuficiencia energética y de recuperación de recursos exigen unidades más grandes. En las zonas rurales o semirurales, la estructura más costo-eficiente tiende a descentralizarse con plantas de tratamiento locales más pequeñas y soluciones de baja tecnología. Sin embargo, este modelo general está siendo cuestionado desde muchos ángulos. El rápido crecimiento urbano, especialmente en los países en desarrollo, puede requerir un enfoque de agrupación para mantener las redes de alcantarillado en un tamaño manejable. Además, la escasez de agua exige una mayor reutilización de las aguas residuales en las zonas locales. Las nuevas tecnologías, como las unidades de tratamiento compactas o las diferentes tecnologías de membrana, están

convirtiéndose rápidamente en opciones competitivas para los hogares, edificios y distritos industriales. En Dinamarca y otros países, el tratamiento centralizado de aguas residuales, donde las aguas residuales se bombean desde los pueblos y poblaciones más pequeñas hasta la ciudad más grande y más cercana, se ha convertido en un método muy común en los últimos 10-15 años. El principal motor del desarrollo es una mayor demanda de soluciones costo-eficientes enfocadas en la reducción de los costos operativos, especialmente los relacionados con la reducción de los costos de mano de obra y los de mantenimiento y con plantas más eficientes desde el punto de vista energético.

“El tratamiento centralizado es actualmente más eficiente y es más factible aplicar soluciones que recuperen la energía, el fósforo y otros recursos valiosos presentes en las aguas residuales. En las plantas más pequeñas, lo anterior es demasiado costoso y demasiado complejo”.

Ole Godsk Dalgaard, Director de Proyecto, Agua y Medio Ambiente, COWI A/S

Oportunidades de tratamiento avanzado

En Dinamarca, las plantas de tratamiento centralizadas utilizaron inicialmente un simple tratamiento biológico para descomponer los componentes orgánicos de las aguas residuales. Aunque el tratamiento biológico fue desarrollado y optimizado para proporcionar una descomposición casi completa de las sustancias orgánicas, los productos finales y otros contaminantes todavía causaban una severa degradación ambiental en los cuerpos de agua receptores. Lo anterior condujo al desarrollo de nuevas tecnologías de tratamiento terciario para la eliminación de sustancias como el nitrógeno y el fósforo por métodos biológicos o químicos. El último desarrollo incluye un tratamiento de aguas residuales muy eficiente desde el punto de vista energético y por ello más plantas se están convirtiendo de hecho en productoras netas tanto de electricidad como de calor. Además, algunas plantas de tratamiento de aguas residuales han sido diseñadas para la recuperación de fósforo. En la actualidad, sólo es factible aplicar soluciones que recuperen la energía, el fósforo y otros recursos valiosos de las aguas residuales en plantas de tratamiento de aguas residuales más grandes y centralizadas. En las plantas más pequeñas, dichos procesos son demasiado costosos y complejos.

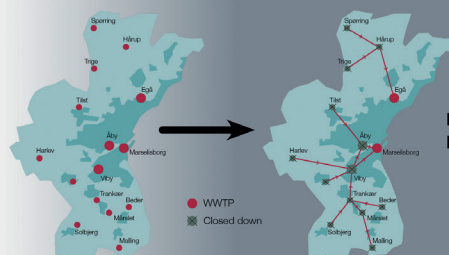
Análisis estructural de la infraestructura de aguas residuales en Aarhus, Dinamarca

Con el fin de desarrollar una infraestructura de aguas residuales más costo-eficiente, la segunda ciudad más grande de Dinamarca, Aarhus, realizó un análisis exhaustivo de los sistemas de tratamiento actuales. Inicialmente, el tratamiento se llevaba a cabo en 17 plantas de tratamiento pequeñas y grandes. Sin embargo, el análisis reveló que una estructura más centralizada donde el tratamiento de las aguas residuales se lleve a cabo en sólo dos grandes plantas de tratamiento sería más ventajosa en términos económicos y ambientales en el futuro. La implementación de

la nueva infraestructura se está llevando a cabo ahora de forma gradual y el enfoque inicial se centra en la eliminación progresiva de plantas de tratamiento más pequeñas donde los costos operativos son relativamente altos y las posibilidades de utilizar las aguas residuales como un recurso no son financieramente viables. El análisis también señaló que dos plantas de tratamiento de aguas residuales serían permanentes: La planta de Egå, la cual ya fue ampliada y reconstruida, y la nueva planta de Aarhus Rewater (planta de aguas residuales y recursos), que se espera que esté terminada para el 2030.

(Cortesía: Aarhus Vand y COWI A/S)

Estructura anterior de la ptar en el municipio de Aarhus



Plan para la estructura de la ptar en el municipio de Aarhus



Energía específica más baja y estimaciones de flujo confiables en las redes de aguas residuales en Haderslev, Dinamarca

Tras un proyecto de reestructuración de la red, las aguas residuales de la municipalidad de Haderslev, en el sur de Dinamarca, se transportan ahora hasta 60 kilómetros para su tratamiento centralizado. Las grandes cantidades de agua infiltrada hacen que el volumen de agua en las tuberías aumente a unos 10 millones de m³ al año. Dado que a la empresa local de agua y aguas residuales, Provas, sólo se le paga por manejar 2 millones de m³, es algo inapropiado para el negocio. Resolver dicho problema requeriría una visión general detallada de los patrones de flujo en cada estación de bombeo. Para resolver el inconveniente, Provas y Grundfos hicieron pruebas con el controlador de bomba de los Controles Dedicados

de Grundfos utilizando la función de optimización de energía y la función de estimación de flujo. Después de tres meses de pruebas, la estimación del flujo fue correcta al +/-5% y la energía específica se redujo en un 36% en una de las estaciones de bombeo de prueba. La supervisión del consumo de energía a lo largo del tiempo demostró el potencial de ahorro de energía en las más de 150 estaciones de bombeo de la red de Provas. Provas se benefició de los ahorros operacionales, de una mejor visión general del sistema y de los planes de proyecto que ahora se basan en datos operacionales reales y en las estimaciones de flujo.

(Cortesía: Provas y Grundfos)



Beneficios económicos y ambientales de la centralización en Mariagerfjord, Dinamarca

La empresa de aguas de Mariagerfjord, en el noroeste de Dinamarca, quería mejorar los beneficios tanto económicos como ambientales de su tratamiento de aguas residuales y decidió construir una nueva planta de tratamiento de última generación. La nueva planta manejaría inicialmente 75.000 PE pero está construida para 110.000 PE para dar lugar al crecimiento esperado de la población en los próximos 25 años. La nueva planta reemplazará a 10 plantas más pequeñas, que han tratado un total de 5-6 millones de m³ de aguas residuales anualmente. Un tanque de digestión de 2.000 m³ reduce la cantidad de lodo y ha hecho posible la producción de biogás. La nueva planta de tratamiento de aguas residuales cumple con los requisitos más estrictos de descarga en un fiordo, aunque

las aguas residuales limpias son conducidas en realidad casi 4 km en el mar. De hecho, la descarga de materiales orgánicos, nitrógeno y fósforo de la nueva planta es significativamente menor que la descarga total de las 10 antiguas plantas de tratamiento de aguas residuales. Dado que la nueva planta está situada a 27 metros sobre el nivel del mar, las aguas residuales limpias se descargan principalmente por gravedad a través de una red gravitacional de presión. Por último, se construyó una tubería de dos líneas con alcantarillados separados para evitar el costoso e innecesario tratamiento del agua de lluvia, que constituía más del 50% del volumen total de agua de alcantarillado enviada a las antiguas plantas.

(Cortesía: Mariagerfjord Vand A/S, Jakobsen & Blindkilde A/S, Strøm Hansen A/S, EnviDan A/S y AVK)

5. SOLUCIONES DESCENTRALIZADAS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Proteger el medio ambiente manteniendo los recursos hídricos en la zona

Se pueden lograr muchas economías de escala con un tratamiento centralizado. Sin embargo, en las zonas que no están conectadas al sistema central de alcantarillado, las soluciones descentralizadas suelen ser más atractivas. En las zonas que sufren de escasez de agua, el tratamiento local y la reutilización de las aguas residuales también pueden contribuir a un equilibrio hídrico más estable.

El término "tratamiento descentralizado de aguas residuales" se utiliza a menudo para describir el tratamiento de las aguas residuales que no se descargan en una planta de tratamiento municipal, sino que se realiza in situ y/o en sistemas de agrupación para el tratamiento y la eliminación de las aguas residuales de viviendas y empresas. El tratamiento descentralizado de aguas residuales se lleva a cabo a escalas muy diferentes, desde agrupaciones dentro de una mega ciudad hasta hogares individuales dispersos en zonas rurales.

Fortalecimiento del tratamiento en las zonas rurales

Las soluciones de tratamiento descentralizadas se aplican principalmente en las zonas rurales o en otras zonas que no están conectadas a la red municipal de alcantarillado, como los campus universitarios, los parques industriales o los centros turísticos. Desde 2004, la estrategia danesa de tratamiento de aguas residuales ha reforzado su enfoque en las poblaciones y los hogares dispersos de las zonas rurales. La necesidad de proteger los acuíferos subterráneos o las aguas superficiales, que son importantes fuentes de agua potable y sensibles a la contaminación por nutrientes, ha dado lugar a la elaboración de una serie de nuevas soluciones para el tratamiento descentralizado. En el extremo de alta tecnología de esta gama se encuentran las mini-unidades de tratamiento prefabricadas para hogares o pequeñas aldeas. Suelen ser sistemas de purificación compactos basados en procesos biológicos, en su mayoría confinados en tanques y reactores que se cubren para evitar la propagación de olores desagradables. En el otro extremo de la gama se encuentran los filtros biológicos de arena y grava de baja tecnología diseñados para descargar a aguas superficiales o para la infiltración de aguas residuales tratadas en el suelo.

Reuso de los recursos hídricos de la zona

Garantizar una disponibilidad suficiente y una gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos forma parte del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 de las Naciones Unidas, y el reuso de las aguas residuales es una opción que puede contribuir al logro de dicho objetivo. La planeación del abastecimiento de agua y la consideración de las aguas residuales como un recurso y no como un problema pueden aplazar inversiones costosas y dar mayor flexibilidad cuando se produzca una escasez de agua. Hoy en día, el tratamiento de las aguas residuales hasta un nivel de calidad de agua potable es posible con procesos de oxidación avanzada (AOP) y diferentes tecnologías de membrana. Sin embargo, las aguas residuales tratadas se utilizan típicamente para fines en los que es suficiente una calidad inferior, como la limpieza de las calles, el riego de parques y la irrigación de cultivos.

En la agricultura, el tratamiento de baja tecnología o parcial, por ejemplo en humedales construidos o cañaverales, puede ser adecuado para una serie de usos, incluido el riego de cereales o cultivos arbóreos que no van de la granja a la mesa. Si se han de reutilizar las aguas residuales, el costo será menor si el receptor está situado en las proximidades de la instalación del tratamiento. Podría tratarse, por ejemplo, de agricultores locales con invernaderos que requieren un uso continuo del agua. O un hotel que reutiliza sus propias aguas residuales tratadas para regar el césped. O un campo de golf donde los lagos del campo de golf pueden ser utilizados como "instalaciones de almacenamiento" para el agua recuperada, lo cual aumenta la flexibilidad.

Tratamientos descentralizados versus centralizados en las ciudades

A medida que las ciudades en constante expansión en todo el mundo tienen que atender a más y más personas, existe el riesgo de que los múltiples sistemas de alcantarillado crezcan a tamaños inmanejables o requieran enormes costos de bombeo. Varias plantas de tratamiento de aguas residuales existentes ya están cerca de alcanzar su plena capacidad. En las zonas de rápido crecimiento urbano, el tratamiento descentralizado puede servir como una atractiva solución temporal hasta que se establezca un diseño óptimo para una infraestructura centralizada. El enfoque de agrupación con instalaciones de tratamiento descentralizadas es atractivo, por ejemplo, en ciudades con grandes diferencias en los niveles de servicio entre el centro urbano y los barrios marginales o ciudades satélite circundantes como parte de una mejora gradual de la infraestructura hídrica.

A pesar de los beneficios de las soluciones descentralizadas, también es importante tener en cuenta que las plantas de tratamiento de aguas residuales situadas dentro de las ciudades pueden ser difíciles de manejar debido al riesgo de malos olores procedentes de las cuencas de tratamiento y al transporte pesado necesario para la eliminación de los lodos. Además, el creciente valor del terreno a menudo hace que resulte financieramente atractivo reubicar las plantas de tratamiento fuera de la ciudad. No obstante, si el espacio disponible para una planta de tratamiento de aguas residuales se convierte en una limitación, las plantas descentralizadas son soluciones atractivas para sostener el progreso urbano.



Las aguas residuales recuperadas para el riego quitan presión al suministro de agua potable en Harare, Zimbabwe

En Harare, la capital de Zimbabwe, la escasez de agua fue un gran problema durante la época de sequía. Al mismo tiempo, un campo de golf situado en una zona prestigiosa cerca del palacio del ex presidente Mugabe utilizaba grandes cantidades de agua para el riego. Como se hizo políticamente inaceptable que la población local careciera de acceso al agua potable mientras el campo de golf seguía siendo exuberante y verde, se decidió en su lugar utilizar las aguas residuales recuperadas de la comunidad local para regar el campo de golf. Para reutilizar las aguas residuales, sin embargo, era esencial tener algún tipo de "instalaciones

de almacenamiento" para el agua tratada para equilibrar el flujo y optimizar su uso. La solución fue construir un sistema de tratamiento de aguas residuales descentralizado rentable de Biokube para tratar las aguas residuales de la comunidad circundante. El agua tratada se descarga en los lagos del campo de golf y más tarde se utiliza para regar sus calles y greens. Dado que se eliminan todas las bacterias dañinas y no hay olor proveniente de la planta, el resultado fue una fuente sostenible de agua para el riego que hizo posible que el campo de golf mantuviera su prestigiosa imagen y a la vez aliviara parte de la presión sobre los recursos hídricos de la comunidad.

(Cortesía: Biokube)



Sistema descentralizado de aguas residuales debajo de un restaurante público en Nonthaburi, Tailandia

¿Un sistema de aguas residuales debajo de un restaurante público? Sí, es posible si la tecnología es libre de olores. En 2008, el municipio de Nonthaburi, en las afueras de Bangkok, instaló su primera planta de tratamiento de aguas residuales. El sistema descentralizado trata las aguas residuales del gobierno de la ciudad y descarga las aguas

residuales tratadas a el parque vecino, donde contribuye a mantener un nivel de agua constante en un lago pintoresco. Dado que el sistema de tratamiento no tiene ni ruido ni olor, la alcaldía colocó su restaurante al aire libre encima de la planta de tratamiento - hasta ahora sin ninguna queja de los visitantes. Lo anterior demuestra muy bien, el bajo nivel de olor y ruido del proceso de tratamiento de aguas residuales del BioKube.

(Cortesía: Biokube)

6. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

El tratamiento en la fuente es a menudo más eficiente para las aguas residuales industriales

Las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales están diseñadas principalmente para eliminar las sustancias orgánicas y los nutrientes fácilmente degradables que son los principales constituyentes de las aguas residuales domésticas. Sin embargo, en muchos países la red de alcantarillado y las plantas de tratamiento a menudo también reciben aguas residuales de la producción industrial.

Las aguas residuales industriales son muy diferentes.

Las aguas residuales de las compañías de procesamiento de alimentos suelen ser muy adecuadas para el tratamiento centralizado, ya que suelen ser ricas en compuestos orgánicos fácilmente degradables, que proporcionan nutrientes para el crecimiento de microorganismos y, por tanto, mejoran los procesos biológicos. De hecho, algunas plantas de tratamiento fomentan activamente el vertido de residuos de las industrias de elaboración de alimentos porque es una fuente de carbono y les permite aumentar la producción de biogás y, por tanto, generar más energía, así como mejorar la eliminación biológica de nitrógeno y fósforo.

“Las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales están diseñadas para las aguas residuales domésticas y no necesariamente para las aguas residuales industriales, que no sólo contaminan sino que incluso pueden causar problemas para los procesos biológicos y la eliminación de lodos. El tratamiento de las aguas residuales industriales en la fuente puede tener varias ventajas”.

Ulf Nielsen, Jefe de Planificación, DHI

Las aguas residuales de la industria manufacturera, por otra parte, tienen una composición mucho más compleja y a menudo incluyen sustancias que no responden a un tratamiento biológico o que pueden obstaculizar el

crecimiento de microorganismos y, por lo tanto, interfieren con los procesos de tratamiento biológico o hacen que los lodos no sean aptos para su uso en fertilizantes agrícolas. Además, algunos compuestos tóxicos pueden poner en peligro la salud y la seguridad laboral del personal de la empresa de servicios públicos, al mismo tiempo que los compuestos corrosivos pueden dañar las alcantarillas y el equipo de bombeo. En estos casos, puede ser ventajoso o incluso obligatorio tratar previamente las aguas residuales industriales en la fuente antes de descargarlas en el sistema de alcantarillado municipal o someterlas a un tratamiento completo antes de descargarlas directamente en el recipiente de agua.

Es más eficiente hacer el tratamiento en la fuente.

El tratamiento de las aguas residuales industriales en la fuente tiene varias ventajas. En primer lugar, el tratamiento puede adaptarse a los contaminantes industriales específicos que normalmente se producen en altas concentraciones en volúmenes relativamente pequeños de aguas residuales y, por lo tanto, requiere una inversión y unos costos operativos relativamente bajos. Lo que es más importante, puede ser posible reciclar o reutilizar las aguas residuales internamente en la producción después de un tratamiento parcial o recuperar y reutilizar las materias primas o los productos químicos. Los ejemplos principales son el reciclado de los tintes utilizados en la producción textil o de los metales utilizados en el revestimiento metálico, donde se puede recuperar hasta el 90% del agua, los tintes y los metales utilizados, reduciendo así el vertido de aguas residuales en la misma proporción. En muchos países donde los cobros por descarga de aguas residuales se gradúan de acuerdo con la carga de contaminación, la inversión en el tratamiento descentralizado de aguas residuales puede tener un tiempo de recuperación muy corto.

Métodos de tratamiento descentralizado

Los contaminantes industriales, los cuales requieren procesos de tratamiento especializados, incluyen compuestos orgánicos no degradables o lentamente degradables, grasa, aceite, metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos como pesticidas y productos farmacéuticos, y por ende, se pueden aplicar una serie de procesos especializados para la eliminación de contaminantes industriales en la fuente, incluyendo la neutralización, la precipitación de metales pesados, la filtración por membrana, la ósmosis inversa y hacia adelante, la filtración con carbono activado, la oxidación química, la desinfección con rayos ultravioleta, la evaporación, la cristalización y otros más.

Aguas residuales de los hospitales y reuso del agua

En los últimos años, se ha prestado especial atención al vertido de las aguas residuales de los hospitales a la red pública de alcantarillado. Este tipo de aguas residuales contiene una compleja mezcla de residuos farmacéuticos y otras sustancias que son peligrosas tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Sin embargo, el vertido de los hospitales a la red pública de alcantarillado rara vez está regulado. En varios países europeos, entre ellos Dinamarca, se presta cada vez más atención a los contaminantes de interés emergente -incluidos los productos farmacéuticos y los microplásticos- y a la forma en que pueden aplicarse las nuevas tecnologías de tratamiento para proteger el medio acuático contra ellos. La eliminación de los contaminantes críticos de las aguas residuales de los hospitales normalmente requerirá métodos de tratamiento extensos y avanzados que resulten en efluentes de alta calidad. Si el tratamiento se lleva a cabo en la fuente, las aguas residuales tratadas pueden ser reutilizadas para otros fines en el hospital, lo que de nuevo puede reducir la carga hidráulica de la red de alcantarillado y en las plantas de tratamiento



Tratamiento avanzado de aguas residuales de los hospitales en Herlev, Dinamarca

Las aguas residuales de los hospitales son una mezcla compleja de patógenos portadores de enfermedades, residuos de medicamentos y otras sustancias peligrosas que presentan un riesgo para el personal que trabaja en los servicios públicos, la salud pública y el medio ambiente. Así, los proveedores de tecnología han colaborado con uno de los hospitales más grandes de Dinamarca, el Hospital Herlev, para implementar una solución innovadora de tratamiento de aguas residuales a gran escala. La planta a gran escala ha estado en funcionamiento desde mayo de 2014

y ha tratado de forma continua y consistente las aguas residuales hasta la presente fecha (julio de 2020). La planta se basa en una combinación innovadora de las siguientes tecnologías: Un bio reactor de membrana (MBR), ozonización, carbón activado granulado (GAC) y tratamiento UV. Los productos farmacéuticos peligrosos, la actividad estrogénica y los patógenos -tanto las bacterias como los virus- se eliminan de manera eficiente, lo que da lugar a un efluente que se descarga directamente en el arroyo local (Kagså). La evaluación de los costos muestra un importante ahorro en el impuesto de alcantarillado.

(Cortesía: DHI y UltraAqua)



Reuso de aguas residuales industriales a bajo costo en Alberta, Canadá

Como resultado de la escasez de agua, muchas industrias se encuentran hoy en día bajo una creciente presión de los consumidores, los reguladores y los inversionistas para que se orienten hacia un uso más sostenible del agua. Una de las estrategias es la de Cero Descarga Líquida (ZLD, por las iniciales en inglés), en la que todas las aguas residuales se limpian y reutilizan dentro de una fábrica. Las estrategias de ZLD para minimizar los flujos de residuos ya son posibles, pero consumen muchos recursos. Mediante el uso de la ósmosis directa, se puede obtener agua extraída de muy alta calidad, al mismo tiempo que el uso de la energía, los costos de capital y las corrientes de desechos se mantienen a un nivel bajo. La

empresa Forward Water Technologies desarrolló una planta piloto de tratamiento de aguas residuales industriales, la cual utiliza las membranas de ósmosis inversa Aquaporin Inside® para limpiar y reciclar el agua, y se ha experimentado una reducción en la producción de residuos del 60-70% con dicho sistema. La planta piloto está operando actualmente con corrientes de la producción de petróleo y gas. Sin embargo, los aprendizajes de esta aplicación pueden ser transferidos a otras industrias, por ejemplo, la industria textil, que es una de las industrias más consumidoras y contaminantes de agua.

(Cortesía: Forward Water Technologies y Aquaporin A/S)



Concentrado de PFAS desde el aeródromo sueco	PFOS ug/L	PFOA ug/L
Antes del tratamiento	679	34
Después del tratamiento de SCWO	<0.1	<0.01

Eliminación del 99,9% de PFAS del aeródromo en Suecia

Actualmente, grandes cantidades de aguas subterráneas y suelos están contaminados con PFAS (sustancias per y polifluoroalquiladas). Lo anterior representa un problema en el sentido que se ha comprobado que son persistentes, bioacumulativas y tóxicas. Los PFAS son extremadamente difíciles de eliminar con las tecnologías de remediación convencionales, pero se utilizan ampliamente en todo el mundo, por ejemplo, en los agentes de extinción de incendios que se utilizan habitualmente en los aeródromos. Un aeródromo de Suecia había identificado el PFAS como un contaminante en su medio ambiente de suelo y agua y, por lo tanto, contrató a Aquarden Technologies para eliminar dichos compuestos

mediante su tecnología de tratamiento de SCWO. El resultado fue una disminución del 99,9% en los niveles de concentración de PFAS. La tecnología SCWO también se puede adaptar para tratar aguas residuales de una serie de otras industrias, incluyendo disolventes, detergentes, residuos medicinales, lixiviados, fenoles y otros. Está diseñada para manejar las aguas residuales más problemáticas y contaminadas en el sitio y es particularmente adecuada para tratar las aguas residuales que contienen compuestos orgánicos difícilmente degradables como PFAS.

(Cortesía: Aquarden)



Cero descarga de líquidos en el agua de procesos industriales en Monroe, Carolina del Norte, EE.UU.

IMET Alloys es una empresa de gestión de materiales estratégicos y líder en el reciclaje de superaleaciones y titanio para la industria aeroespacial. En 2018 IMET Alloys USA estaba buscando la forma de reemplazar su evaporador de mantenimiento intensivo, y con el fin de evaluar la tecnología y el proveedor a seguir, la empresa invitó a los principales proveedores de evaporadores a hacer sus presentaciones basadas en los siguientes parámetros clave de desempeño: consumo de energía, frecuencia de limpieza, tasa de concentración, capacidad, calidad del

destilado, tiempo de funcionamiento, soporte técnico y respuesta a los problemas de servicio. La elección recayó sobre el evaporador ET 1250 de Envotherm con equipo adicional. La solución permite reutilizar el 95% del agua de procesos de IMET Alloy con un consumo de energía inferior a 35 kWh por m³ de agua de proceso tratada y cero descarga de líquido. IMET Alloy ha quedado impresionada con la instalación, la tecnología, el rendimiento del equipo y el soporte técnico, el cual está disponible en línea las 24 horas del día, los 7 días de la semana. El tiempo de recuperación de la inversión esperado es de 1,5 a 3 años.

(Cortesía: Envotherm)

7. EL VERDADERO VALOR DEL AGUA

Una perspectiva danesa sobre cómo podemos darle forma a nuestro futuro del agua

En Dinamarca, valoramos nuestra agua. Nos preocupa cómo la extraemos, la usamos y la devolvemos a la naturaleza. Consideramos el agua como un recurso valioso en la economía circular y una contribución para alcanzar nuestras metas de energía verde y clima. Por encima de todo, valoramos el agua por su potencial para mejorar la vida.

Protejamos nuestra agua potable.

Toda persona merece agua limpia y segura para beber. En Dinamarca, nuestra agua potable proviene completamente de aguas subterráneas. Nuestra estrategia es proteger nuestros recursos de agua subterránea y a cambio, nuestra agua potable sólo recibe un tratamiento mínimo. La mayoría de las plantas de tratamiento de agua simplemente bombean, filtran y distribuyen el agua a los consumidores. La monitoreamos cuidadosamente y trabajamos para asegurar agua subterránea limpia para las futuras generaciones también.

Cuidemos cada gota

El agua es un recurso escaso, y cada gota cuenta. Debemos aprovechar al máximo el agua que tenemos. En Dinamarca, tenemos un bajo consumo de agua. El danés promedio consume poco más de 100 litros al día, nuestra pérdida de agua es de alrededor del 8% y nuestras industrias se enfocan cada vez más en la eficiencia del agua y su reutilización en la producción. El precio se basa en la recuperación total de los costos, lo que asegura un suministro de agua confiable y eficiente las 24 horas del día. Ahora luchemos para que cada gota cuente en todo el mundo.

Usemos nuestras aguas residuales como un recurso

Las aguas residuales ya no deben ser consideradas como un problema. En cambio, convirtamos nuestras plantas de tratamiento de aguas residuales en instalaciones de recuperación de energía y recursos donde podamos extraer fósforo y producir fertilizante orgánico y biogás. En Dinamarca, también pretendemos utilizar las aguas residuales aún más arriba en la cadena de valor para producir productos como biocombustibles y bioplásticos.

Avancemos hacia un ciclo de agua neutro en términos de energía y clima

El agua juega un papel clave en la creación de un mundo sostenible. Es importante asegurarnos de que nuestra gestión del agua también sea sostenible. En Dinamarca, utilizamos un mínimo de energía para bombear y tratar el agua. Trabajamos continuamente para ser eficientes en el uso de la energía y contribuimos a un sistema de energía más verde y flexible produciendo energía a partir de las aguas residuales. De hecho, algunas instalaciones están produciendo ahora más electricidad de la que consumen. Para el 2030, el sector del agua en Dinamarca pretende ser energéticamente y climáticamente neutro en todo el ciclo del agua.

Usemos el agua lluvia para crear ciudades resilientes y habitables.

El agua lluvia puede mejorar la vida urbana si se maneja de forma inteligente. En Dinamarca, almacenamos y mantenemos el agua lluvia y de tormentas en parques, calles y campos de fútbol para crear ciudades resilientes y habitables para una población creciente. Al hacerlo, nos adaptamos al clima cambiante y a los patrones climáticos, al tiempo que

augmentamos nuestra biodiversidad. Así que, aunque no seamos amantes de los días de lluvia, apreciamos lo que el agua lluvia puede hacer por nosotros.

Nademos en los puertos de nuestras ciudades

El agua se puede utilizar de forma activa en el desarrollo urbano. Las zonas costeras y la infraestructura verde-azul pueden transformar nuestros vecindarios y crear crecimiento económico. Al tratar nuestras aguas residuales y gestionar nuestras aguas pluviales en cuencas subterráneas, hemos transformado los puertos contaminados del centro de la ciudad en oasis urbanos. Así que cuando el tiempo lo permite, puedes ir a pescar o a nadar en los puertos de las ciudades danesas.

Colaboremos y resolvamos los desafíos mundiales del agua

Queremos conectarnos, inspirarnos y aprender unos de otros en asociaciones globales - y trabajar juntos para contribuir a un mundo sostenible. El agua es uno de nuestros recursos más valiosos y juega un papel clave en muchos otros programas como la adaptación y la mitigación del cambio climático y el aumento de la biodiversidad. A través de asociaciones nacionales y mundiales entre sectores, podemos cumplir los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas en materia de agua y saneamiento, energía asequible y no contaminante, ciudades y comunidades sostenibles y vida en la tierra y bajo el agua.

El agua es **vida**. Y con el cuidado adecuado del agua, podemos hacer que nuestras vidas sean mejores.

Los socios que respaldan Water Vision Denmark tienen como objetivo fomentar la innovación en el sector del agua en Dinamarca, aumentar la exportación danesa de las tecnologías del agua necesarias al mundo y contribuir a la creación de empleo en todo el sector del agua.

WATER VISION DENMARK
INNOVATION | EXPORT | REGULATION



**Ministry of Environment
of Denmark**



**Danish Environmental
Technology Association**
Association for Danish Environmental
Technology Companies



Water

Acompáñanos en Copenhague en septiembre de 2022

IWA World Water Congress & Exhibition

11-15 SEPTEMBER 2022

COPENHAGEN DENMARK



Más información en www.worldwatercongress.org

Entérate más sobre los soluciones de agua danesas
y ponte en contacto con los expertos daneses en

www.stateofgreen.com

Acompáñanos en Copenhague en septiembre de 2022
para IWA World Water Congress & Exhibition

www.worldwatercongress.org

State of Green es una asociación público-privada sin ánimo de lucro fundada por:



Confederation of Danish Industry



Danish Agriculture
& Food Council

wind
denmark



MINISTRY OF INDUSTRY, BUSINESS
AND FINANCIAL AFFAIRS



Danish Ministry of Climate,
Energy and Utilities



Ministry of Environment
of Denmark



MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS
OF DENMARK