

Utilización sostenible de los recursos naturales

Mejora de la resiliencia de los abastecimientos de agua en la industria intensiva en consumo de agua y energía. Retos y soluciones en la minimización del riesgo hídrico

NOVIEMBRE, 2022



EDITA: ECODES

DISEÑO GRÁFICO: ECODES

FECHA: NOVIEMBRE 2022

Sumario

Introducción	4
Resiliencia del agua.....	5
Importancia económica.....	5
Importancia ecológica	10
Principales actividades industriales vinculadas al consumo de recursos en el marco europeo.....	17
Consumo de recursos hídricos en Europa.....	17
Principales sectores industriales vinculados a la extracción de agua.....	20
Representatividad en españa	22
¿Qué industrias consumen más agua?	22
El sector agroalimentario	23
Análisis de líneas de agua	24
Principales retos de cada actividad.....	27
Casos de éxito.....	29
El sector de producción de energía	33
Análisis de líneas de agua	33
Principales retos de cada actividad.....	36
Casos de éxito.....	38
El sector de la industria química	40
Análisis de líneas de agua en España y retos de cada actividad	41
Casos de éxito.....	45
El sector de la industria metalúrgica	48
Análisis de líneas de agua	49
Retos de cada actividad.....	52
Casos de éxito.....	54
Conclusiones	58
Consejos para mejorar la resiliencia de las actividades industriales	60
Anexo. Entrevistas.....	61
Cuestionario 1 José Ramón Natal, Metaindustry4.....	62
Cuestionario 2 Ernesto Luis Agorreta Fando, Repsol SA	65
Cuestionario 3 Eudald Mas Ortas, Samtack Industrial Adhesives	68
Cuestionario 4 Verónica Sevillano García, Bodegas Grupo Yllera	71
Bibliografía.....	74

Introducción

La Organización de las Naciones Unidas ha pronosticado un déficit mundial de un 40% en el suministro de agua para 2030, si las pautas de consumo y producción actuales no cambian. Por ello, hacer frente a los riesgos relacionados con los recursos hídricos se convierte en un imperativo, junto con la transición a modelos de negocio más resilientes respecto al agua [1]. La escasez de agua es ya un problema grave en el 11% del territorio de la Unión Europea (UE) y se espera que alcance el 30% en 2030 [2].

El objetivo de reducir la extracción de agua por debajo del 20% de los recursos renovables de agua dulce, establecido en la hoja de ruta “Hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos” [3], no se ha alcanzado en todas las cuencas hidrográficas europeas y no parece realista a corto plazo. El impacto de los riesgos relacionados con la extracción del agua en la economía de la UE es real. El acceso al agua constituye un riesgo importante para las empresas, ya que la falta de agua pone en peligro no sólo su capacidad de producción, sino también sus operaciones e inversiones futuras.

En Europa se extraen anualmente alrededor de 202 000 millones de m³ de agua para satisfacer las necesidades de la economía europea, de los cuales alrededor del 40% se consume en actividades industriales (incluidas las agrícolas) y el 60% se devuelve al medio ambiente con algún grado de alteración física o química. Paralelamente, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) prevé que la demanda mundial de agua para las industrias manufactureras aumentará un 400% entre 2000 y 2050. Según el informe de *Carbon Disclosure Project* (CDP) [1], el coste económico de los riesgos del agua para las empresas podría ser más de cinco veces mayor que el de tomar medidas ahora para hacer frente a esos riesgos.

Para evitar emergencias hídricas como la reciente sequía en Taiwán, que afectó al comercio mundial de chips [4], España debe dar un paso importante e incrementar el esfuerzo y las medidas para reducir el estrés hídrico y aumentar la resiliencia, concepto clave en este estudio que mide la capacidad de adaptación y recuperación ante posibles emergencias. Invertir en la seguridad del agua contribuye a crear crecimiento sostenible y empleo verde con un alto rendimiento de las inversiones en todos los sectores de la sociedad, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Los grandes sectores consumidores de agua, como las industrias de uso intensivo de energía, podrán mantener sus operaciones, su producción y exportaciones. Es crucial para el futuro de las industrias y de la economía, así como para el medio ambiente.

En el presente estudio se desarrollará el concepto de resiliencia del agua y su importancia tanto económica como ecológica, y como objetivo principal se identificarán las principales actividades industriales intensivas en el uso del agua y la energía en Europa, el impacto socioeconómico de estos sectores en el territorio nacional, y se analizará el uso de recursos en los distintos procesos industriales, identificando los principales retos en cada sector.

Resiliencia del agua

La política en torno a los recursos hídricos y la infraestructura enfatiza cada vez más la necesidad de promover la “resiliencia” dentro de los sistemas de agua y aguas residuales. Sin embargo, no es fácil definir la resiliencia o especificar cómo sería un sistema resiliente [5].

La efectividad de una infraestructura resiliente depende de su capacidad para anticipar, absorber, adaptarse y/o recuperarse rápidamente de un evento potencialmente disruptivo. Esta comprensión de la resiliencia parece ser relativamente común en el sector del agua. Sin embargo, los sistemas de agua y aguas residuales son más que la suma de sus partes diseñadas.

La efectividad de una infraestructura resiliente depende de su capacidad para anticipar, absorber, adaptarse y/o recuperarse rápidamente de un evento potencialmente disruptivo.

Pueden describirse como sistemas sociotécnicos o sistemas socioecológicos, ya que involucran interacciones altamente complejas entre componentes humanos, tecnológicos y ambientales. Además, entre los investigadores que estudian el comportamiento de sistemas de dimensiones tan considerables, la idea de resiliencia tiene implicaciones muy amplias. Por lo tanto, la resiliencia se consideró como la capacidad de un ecosistema para recuperarse de las perturbaciones y volver al equilibrio. Cuanto más corto sea el “tiempo de retorno”, más resistente será el sistema [6].

No es de extrañar, entonces, que el concepto de resiliencia se haya convertido, para algunos, casi en sinónimo de ideas de adaptabilidad y gestión adaptativa, asegurando que los sistemas tengan la capacidad de ajustarse para adaptarse a las circunstancias cambiantes. Estas ideas se aplican cada vez más a los sistemas sociales, en particular a los que se centran en la gestión ambiental y de recursos. Para el sector del agua, estas ideas implican ir más allá de la “resiliencia de ingeniería” y más allá del enfoque tradicional de “predecir y resistir” para condiciones extremas, hacia sistemas mucho más dinámicos y flexibles.

Importancia económica

Hasta hace poco, el agua se consideraba un recurso ilimitado y no se tenía en cuenta un escenario en el que el que hubiera una escasez repentina de este recurso en la estrategia corporativa. Sin embargo, la seguridad del agua ya no es una cuestión operativa de poca importancia para las empresas, sino que se ha convertido en una cuestión estratégica para la alta dirección.

En los últimos años, el tema de los “activos abandonados” o “activos varados” ha cobrado mayor relevancia. Los activos varados son "activos que han sufrido amortizaciones, devaluaciones o conversión en pasivos imprevistos o prematuros". Los activos varados

pueden ser causados por una variedad de factores, incluyendo la "destrucción creativa" del crecimiento económico, la transformación y la innovación [7].

Estos factores incluyen los efectos físicos del cambio climático, incluida la escasez del agua, la cual se puede considerar actualmente como un factor de riesgo en la misma medida que la de los combustibles fósiles como el gas natural, el carbón o el petróleo.

Los factores de riesgo relacionados con el agua ya están dejando varados a los activos en los sectores del carbón, las empresas eléctricas, los metales y la minería, y el petróleo y el gas. En Europa, la industria manufacturera también ha sufrido el posible abandono de millones de euros en activos, como ocurrió en el proyecto manufacturero de Tesla en Brandemburgo [1].

Proyecto de gigafactoría de Tesla en Brandemburgo

Un ejemplo de este tipo de evento ocurrió en la planta de Tesla en Brandemburgo, Alemania. Desde 2020, la región está sufriendo recientemente el descenso del nivel de las aguas subterráneas y está sufriendo prolongadas sequías debido al cambio climático [8].

A pesar de que Tesla construyó las instalaciones en tiempo récord, la situación climática e hídrica de la región complicó el inicio y puesta en marcha de la planta.

El nivel freático de Brandemburgo lleva tres décadas bajando. Las sequías de los últimos cuatro años han provocado incendios forestales y pérdidas de cosechas y los meteorólogos prevén olas de calor más frecuentes, lo que debilitará aún más la capacidad del suelo local para almacenar las precipitaciones.

Según hidrólogos de la zona, el gasto hídrico de la región se duplicaría si la planta de Tesla estuviera en funcionamiento y las autoridades locales retrasaron la puesta en marcha del proyecto. Estos desafíos legales tuvieron el potencial de retrasar o parar la inversión de más de 5700 millones de dólares, convirtiéndolo en un posible activo varado.



Figura 1. Gigafactoría de Tesla en Brandemburgo.

La exposición del sector económico a los activos con problemas de agua es real y a menudo conlleva una serie de posibles repercusiones, entre ellas:

- La falta de entrega de productos a los socios de la compra y los desajustes de las coberturas.
- Responsabilidades y multas de compensación y saneamiento.
- Acciones colectivas de los accionistas.
- Cambios en la financiación de los préstamos y en las relaciones financieras más amplias, incluyendo la banca y los seguros.

El empeoramiento de la seguridad hídrica preocupa en muchas partes del mundo. La India se enfrenta a una crisis de agua sin precedentes, con escasez doméstica, agrícola e industrial. Brasil tiene más agua dulce que cualquier otro país, pero su cuenca del río Paraná, que alberga varias presas y embalses hidroeléctricos, se enfrenta a su peor sequía en más de un siglo. La agricultura está sufriendo, ya que la sequía afecta a la producción de importantes cultivos brasileños como el café, el maíz, la caña de azúcar y las naranjas. La producción de granos de café se redujo entre un 20% y un 30% en 2021, lo que hizo subir el precio mundial de este producto en un 60%.

El informe publicado por las organizaciones sin ánimo de lucro CDP y *Planet Tracker* revela cómo las instituciones están expuestas a los importantes riesgos que suponen los suministros de agua agotados y contaminados. Centrándose en cuatro sectores: petróleo y gas, servicios eléctricos, carbón y metales, y minería, el informe revela que ya hay activos varados por valor de 13 500 millones de dólares y que otros 2000 millones están en riesgo [9].

Tal y como se puede ver en la Figura 2 [1], todas las empresas dedicadas a la fabricación de productos químicos, papel y acero; las que extraen petróleo y gas, carbón y metales, y las que generan energía, informan de casos en los que los riesgos del agua podrían cerrar sus operaciones o, en otras palabras, varar un activo.

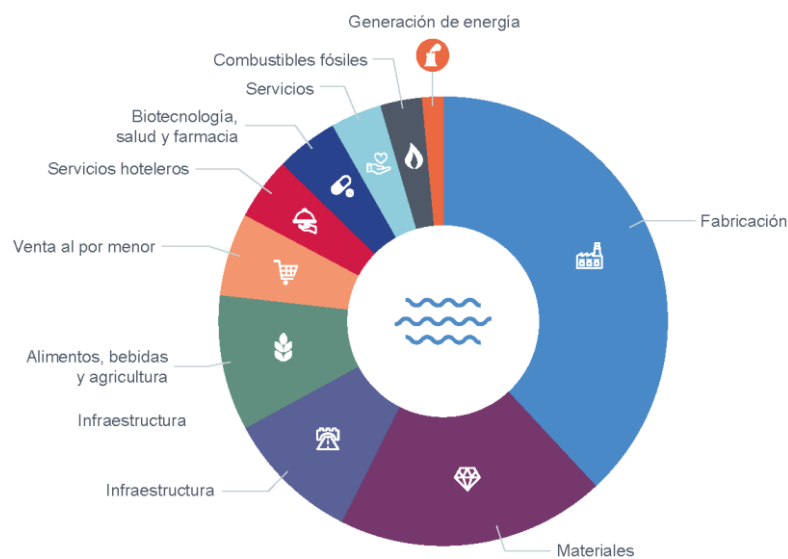


Figura 2. Sectores que informan del cierre de operaciones.

El agua suele considerarse un recurso renovable y abundante, pero el suministro mundial de agua dulce y limpia está cada vez más amenazado. Las razones son sencillas. El crecimiento de la población y el aumento de la actividad económica en muchas regiones están provocando un aumento de la demanda y la contaminación del agua tanto en el sector público como en el privado.

Aunque el término "escasez de agua" se escucha con frecuencia, se está experimentando más concretamente una mayor competencia por el agua dulce limpia, sobre todo en lugares donde los suministros existentes ya están en declive o la calidad del agua no satisface los estándares requeridos por los usuarios. El desajuste entre la oferta y la demanda de lo que es esencialmente un recurso natural insustituible significa que ya no se puede garantizar un suministro estable de agua dulce de alta calidad.

Por estos motivos, y como se ha comentado anteriormente, incluir el riesgo hídrico en cualquiera de sus posibles variantes (sequía, inundaciones, falta de calidad, etc.) como una estrategia corporativa es de suma importancia para las empresas. A continuación, se muestra una serie de pasos para lograr que una institución esté en disposición de mejorar la resiliencia del agua en su sector.



Figura 3. Diez pasos hacia la resiliencia del agua

Los pasos mencionados en la Figura 3 [10] son los siguientes:

1. **Evaluar la posición actual:** Evaluar qué partes de las operaciones podrían verse afectadas por una posible escasez de agua y el nivel de estos impactos. Asegurar que se incluyen las instalaciones que, aun sin presentar un consumo elevado de agua, en caso de escasez, sufrirían un gran impacto en el funcionamiento diario del día a día de la empresa
2. **Comprender las vulnerabilidades:** Considerar la ubicación geográfica de todas las instalaciones. Averiguar si existen vulnerabilidades de desarrollo local, ya que puede aumentar la demanda en la zona de abastecimiento en la que opera.
3. **Establecer un plan de continuidad de la empresa:** Asegurarse de que todas las amenazas empresariales identificadas en los pasos uno y dos se incluyan en la evaluación de riesgos y el plan de continuidad de la actividad. Considerar qué medidas hay que poner en marcha para mitigar estos riesgos.
4. **Comparar el gasto:** Comparar el gasto con el de instalaciones similares dentro del sector industrial para saber si el consumo de agua se compara favorablemente o no.
5. **Ver los puntos ciegos:** Obtener una visibilidad completa del consumo de agua en toda la instalación, pedir esta información al proveedor de agua e insistir en que sea real (no estimada) y que proceda de una lectura de contador reciente (de los últimos tres meses). Esta información debe incluir el agua que se utiliza, a dónde va, cuánta es necesaria y si se pierde agua por fugas u otros desperdicios. Si no se poseía una visión global, este ejercicio pondrá de manifiesto los puntos ciegos.
6. **Abordar los puntos ciegos:** Las lagunas en el conjunto de datos pueden resolverse mediante tecnologías como la lectura automática de contadores (AMR), los registradores de datos (*data loggers*) e incluso un buen software de gestión del agua. Por lo tanto, es muy importante la digitalización del uso de agua en la empresa.
7. **Aumentar la eficiencia:** Con una visión total del uso y del panorama medioambiental, se puede abordar las áreas de la empresa que puedan ahorrar agua. Dar prioridad a las instalaciones situadas en zonas con problemas de agua para evitar un corte de suministro.
8. **Comunicarse con el distribuidor:** Hablar con el distribuidor de agua para informarle de preocupaciones y planes futuros. Conocer sus planes y prioridades para aumentar la resiliencia y preguntar por los incentivos que podrían ofrecer para apoyar los esfuerzos en ahorro hídrico.
9. **Colaborar con otras partes interesadas:** La unión de fuerzas con otras partes interesadas en la misma zona de captación de agua aumentará de forma proactiva la resiliencia general en beneficio mutuo, siendo incluso posible la creación de asociaciones basadas en la captación de la cuenca hidrográfica.

10. **Planificación para emergencias:** Crear planes de respaldo para lo que probablemente será inevitable escasez de agua en el futuro y apoyarlos con un plan de comunicación de crisis eficaz para un despliegue eficaz.

Importancia ecológica

Los cambios en el clima tienen graves consecuencias para los países de toda la región europea, que van desde daños a la infraestructura de abastecimiento de agua y alcantarillado, degradación de las cuencas y la calidad de las fuentes de agua, derrames de desechos humanos en el medio ambiente, reducción de la disponibilidad de agua y contaminación de los suministros de agua para cambiar de los requisitos de consumo para mantener la hidratación. Se estima que alrededor del 35% del área de la Unión Europea estará bajo un alto estrés hídrico para la década de 2070, momento en el cual se espera que el incremento del número de personas afectadas (en comparación con 2007) pase de 16 a 44 millones. A nivel mundial, se prevé que cada 1 °C de aumento de la temperatura causado por el calentamiento global resulte en una reducción del 20 % en los recursos hídricos renovables y afecte a un 7% adicional de la población [11].

La pérdida de servicios dará como resultado que las personas utilicen fuentes de agua no seguras o que no puedan mantener buenas prácticas de higiene. Los cambios en la calidad y cantidad del agua de origen aumentarán la exposición a patógenos y productos químicos nocivos, y conducirán a suministros de agua menos confiables. El daño en los sistemas de saneamiento también influirá en una mayor exposición a patógenos.

Los cambios en la calidad y cantidad del agua de origen aumentarán la exposición a patógenos y productos químicos nocivos, y conducirán a suministros de agua menos confiables.

Tales impactos ya se están sintiendo en la región. Hungría, por ejemplo, advirtió sobre costos operativos adicionales significativos para el tratamiento de aguas residuales debido al aumento de la demanda de energía de bombeo y la interrupción de las plantas de tratamiento. Los Países Bajos han planteado desafíos para garantizar el suministro de agua, al igual que España para mantener un suministro mínimo de agua potable en períodos de sequía.

Los impactos climáticos en los servicios de agua y saneamiento exacerbaban aún más los desafíos de defender los derechos humanos al agua potable y al saneamiento para todos, lo que está lejos de ser una realidad hoy en día en la región europea: más de 16 millones de personas aún carecen de acceso al agua potable básica, y más de 31 millones necesitan saneamiento básico.

Impacto climático	Impacto en el sector WASH
Disminución de las precipitaciones: Sequía	Reducción en abastecimiento de agua potable, reducción del caudal de los ríos, mayor concentración de contaminantes.
Aumento severo de las precipitaciones: Inundación	Contaminación de pozos, inundación de pozos, inaccesibilidad a las fuentes de agua, corrimientos de tierras, turbiedad y sedimentación, desafíos para la sostenibilidad de saneamiento e higiene.
Aumento de temperatura: Ola de calor	Aumento de patógenos en el agua, lo que aumenta el riesgo de enfermedades.
Aumento de temperatura: Deshielo de glaciares, nieve y hielo marino	Estacionalidad de los caudales de los ríos, lo que reduce la disponibilidad del agua en verano.
Aumento del nivel del mar: Inundación e intrusión salina en acuíferos	Reducción de la disponibilidad del agua potable, con grave impacto en la calidad del agua.

Tabla 1. Ejemplos del efecto del cambio climático en el sector WASH (Acceso al agua, saneamiento e higiene)

Tal y como puede verse en la Figura 4, las tendencias climáticas observadas y las previsiones climáticas futuras muestran aumentos constantes de la temperatura en toda la región y cambios variables en las precipitaciones. Se prevé un aumento de las precipitaciones en el norte de Europa y una disminución de las mismas en el sur.

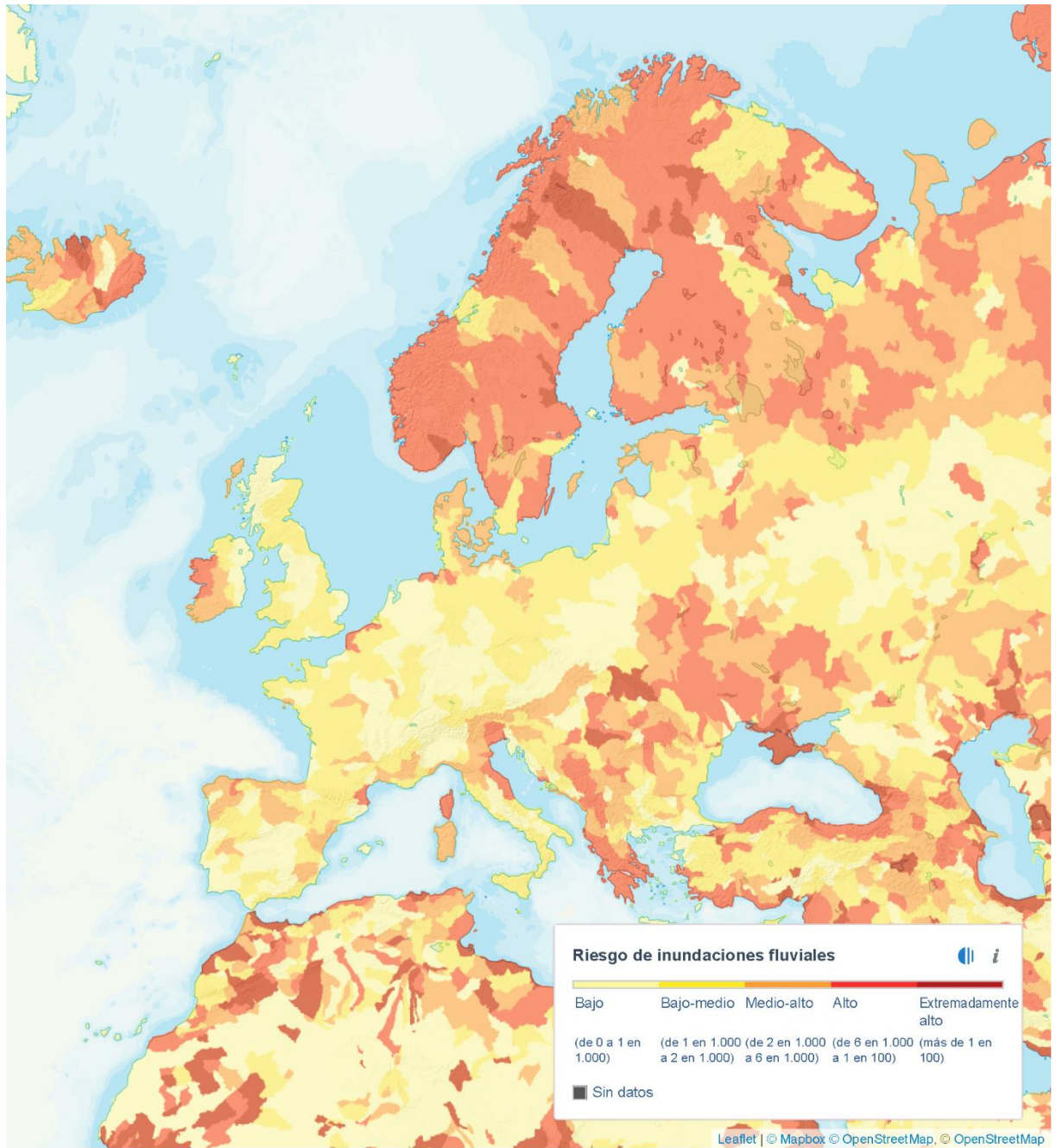


Figura 4. Riesgo de inundación fluvial en la región europea

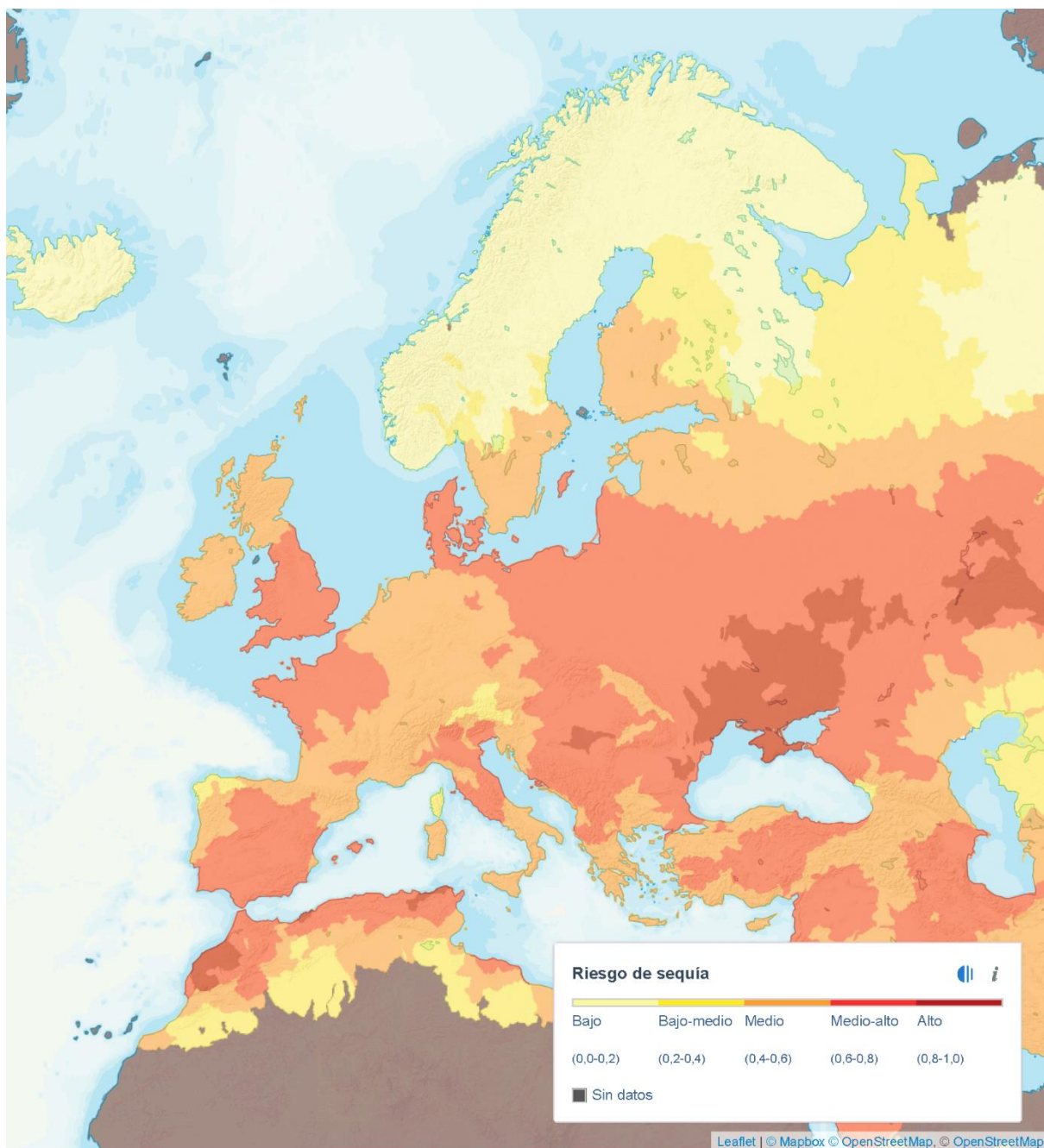


Figura 5. Riesgo de sequía en la región europea

Los mapas que aparecen en la Figura 4 y Figura 5 fueron obtenidos con la herramienta *World Resource Institute's Aqueduct tool* [12]. Las herramientas de Aqueduct utilizan datos de código abierto para cartografiar los riesgos del agua, como las inundaciones, las sequías y el estrés.

En la Figura 4 se muestra el riesgo de inundación fluvial, que mide el porcentaje de población que se espera que se vea afectada por inundaciones fluviales en un año medio (el mapa

muestra la línea de base para 2019), teniendo en cuenta las normas de protección contra inundaciones existentes.

La Figura 5 representa el riesgo de sequía, que mide dónde es probable que se produzcan sequías, la población y los activos expuestos, y la vulnerabilidad de la población y los activos a efectos adversos.

Como se puede observar, tanto la Figura 4 como la Figura 5, muestran que la zona norte de Europa presenta el mayor riesgo de inundación, mientras que en la zona sur de Europa (Italia, Grecia o España) es donde mayor riesgo de sequía hay.

Los impactos del cambio climático en la región europea pueden agravar aún más los fenómenos de contaminación postindustrial, la vulnerabilidad hidrogeológica y sísmica, así como la expansión de las zonas urbanas y sus poblaciones.

Según el último informe del *Global Drought Observatory*, de agosto de 2022, el 47% del territorio europeo está en condiciones de “Advertencia”, lo que significa que está en condiciones de aridez del terreno y el 17% del territorio está en condiciones de “Alerta”, lo que implica que la vegetación de estas zonas se encuentra en situación de estrés por la falta de humedad. Según el informe, esta sequía afectará a la cosecha de cultivos, favorecerá la aparición y propagación de incendios, y además se prevé que esta situación pueda durar meses en los territorios de la región sur de Europa [13].

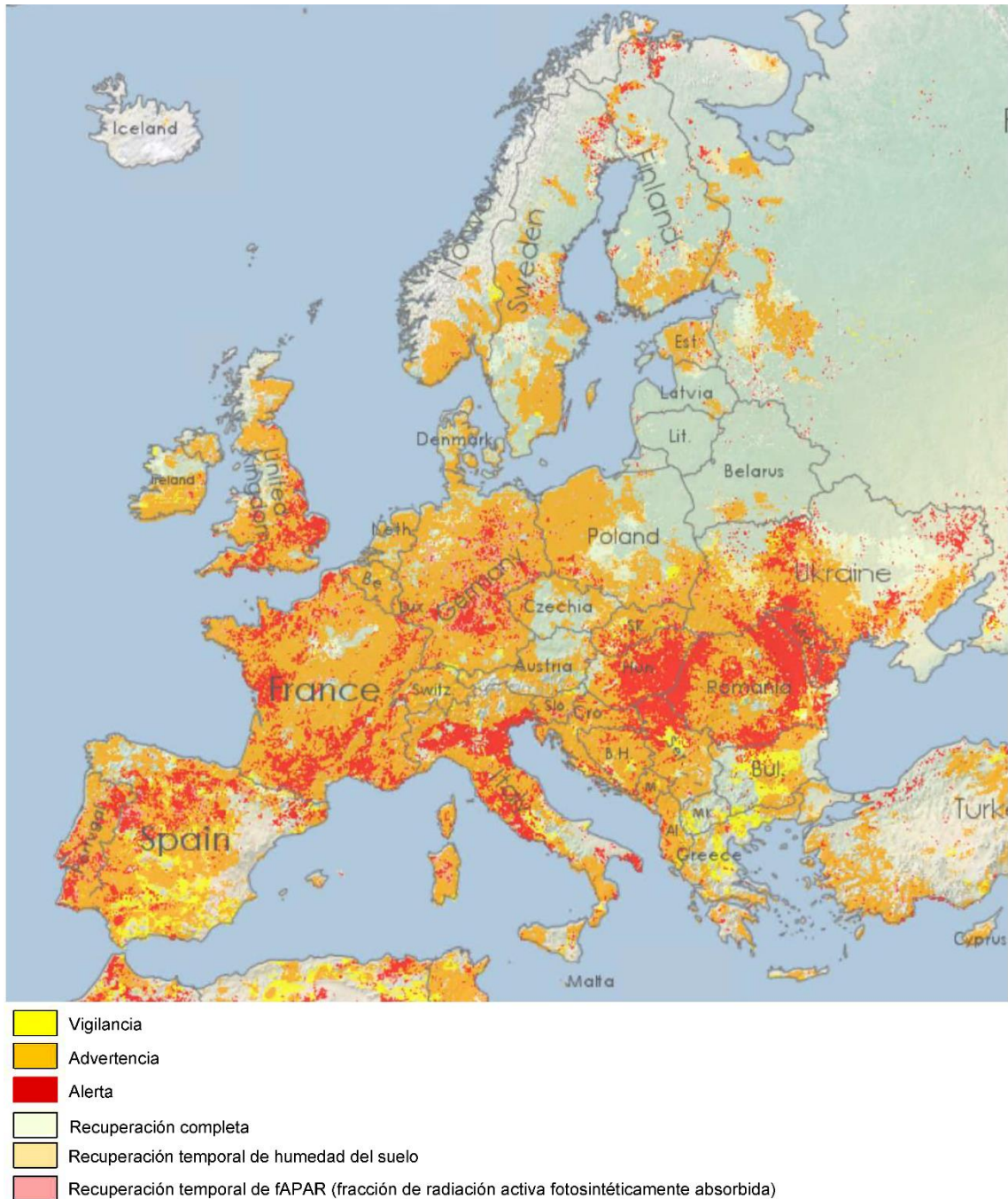


Figura 6. Combined Drought Indicator (CDI v.2.1) Agosto 2022

El observatorio de la sequía forma parte del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea. En respuesta a ello, la Comisión advirtió que los datos preliminares sugieren que "la actual sequía parece ser la peor desde al menos 500 años" [14].

La Comisión advirtió que los datos preliminares sugieren que "la actual sequía parece ser la peor desde al menos 500 años"

La actual sequía y su coincidencia con olas de calor debe contextualizarse en la realidad del cambio climático y, en consecuencia, debe conducir a aumentar los esfuerzos realizados en estrategias de mitigación y de adaptación. Debe hacerse también una correcta gestión de estas situaciones multirriesgo, con mayor prevención y preparación de todos los sistemas de alerta y emergencia [15].

Además, es urgente adaptarse a la variabilidad e incertidumbre que están ocurriendo en el siglo XXI, y adaptar o transformar todas las estructuras socioeconómicas del siglo XX (regadíos intensivos, desarrollos urbanísticos, dependencia energética etc.) si se pretende construir una sociedad resiliente respecto al sector del agua.

Principales actividades industriales vinculadas al consumo de recursos en el marco europeo

En Europa se extraen anualmente alrededor de 202 000 millones de m³ de agua para satisfacer las necesidades de la economía europea, de los cuales alrededor del 40% se consume en actividades industriales (incluidas las agrícolas) y el 60% se devuelve al medio ambiente con algún grado de alteración física o química [16].

El agua dulce es un componente esencial para preservar la biodiversidad y mantener otros servicios de los ecosistemas de agua dulce, como el suministro de agua. El agua dulce también es un recurso vital para las actividades económicas en toda Europa, como la agricultura, la energía, las actividades industriales y el turismo. Aunque el agua dulce es relativamente abundante en la UE, la disponibilidad de agua, la población y la actividad socioeconómica están distribuidas de forma desigual, lo que da lugar a importantes diferencias en los niveles de estrés hídrico en el continente. El estrés hídrico se produce en varias zonas de la UE, en particular en el sur y en las zonas más densamente pobladas, donde se enfrentan a una difícil combinación de falta de agua dulce y alta demanda de la misma [17].

Consumo de recursos hídricos en Europa

La Figura 7 [18] analiza en detalle la extracción de agua por sector en el periodo 2000-2015. La demanda sectorial de extracción de agua varía entre las diferentes regiones de la UE. Se puede observar que existe una gran diferencia de captación de agua entre regiones no solo en volumen sino también en el sector dominante a la hora de extraer recursos hídricos. En las regiones del oeste, como pueden ser Francia o Alemania, el sector que domina la extracción de agua dulce es la producción de electricidad, en concreto la enorme cantidad de agua necesaria para enfriar y condensar el vapor a la salida de las turbinas generadoras de electricidad. En las regiones del sur, entre las que se encuentra España, Portugal e Italia, el sector que más presión ejerce sobre los recursos hídricos es la agricultura [19].

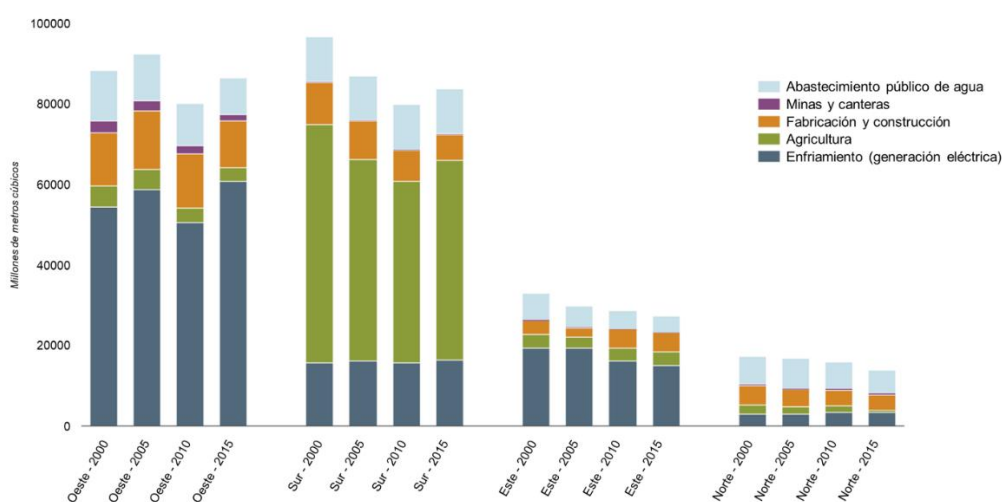


Figura 7. Captación de agua por sectores en la UE

Nota:

- EU oeste: Austria, Bélgica, Francia, Alemania, Luxemburgo, Países Bajos
- EU sur: Croacia, Chipre, Grecia, Italia, Malta, Portugal, Eslovenia, España
- EU este: Bulgaria, República Checa, Hungría, Polonia, Rumania, Eslovaquia
- EU norte: Dinamarca, Estonia, Finlandia, Irlanda, Letonia, Lituania, Suecia, Reino Unido

Según la Figura 7, la extracción de agua disminuyó en la UE aproximadamente un 10% entre 2000 y 2015. Esto se debió principalmente al aumento de la eficiencia en la agricultura, el suministro público de agua, las industrias manufactureras y las de la construcción.

La disminución de la captación de agua desempeñó un papel fundamental en el descenso del territorio de la UE afectado por el estrés hídrico observado durante el período 2000-2015.

De cara a 2022, aunque es probable que siga mejorando la eficiencia en la captación de agua a nivel sectorial, es probable que sigan existiendo focos de estrés hídrico. Estos se encontrarán principalmente en el sur de la UE, así como en una serie de zonas altamente pobladas. Esto se debe a las presiones actuales y previstas del cambio climático, como el aumento de las sequías en varias partes de Europa, el aumento de la población y la urbanización en curso. Por lo tanto, sigue siendo incierto si el estrés hídrico puede prevenirse o reducirse significativamente en toda la UE. De hecho, es importante que la extracción de agua respete los límites de los recursos renovables disponibles para prevenir o reducir significativamente el estrés hídrico.

De cara a 2022, aunque es probable que siga mejorando la eficiencia en la captación de agua a nivel sectorial, es probable que sigan existiendo focos de estrés hídrico.

A continuación, en la Figura 8 se muestran los datos de extracción de agua por sectores sumando la extracción de todos los estados miembros de Europa [18].

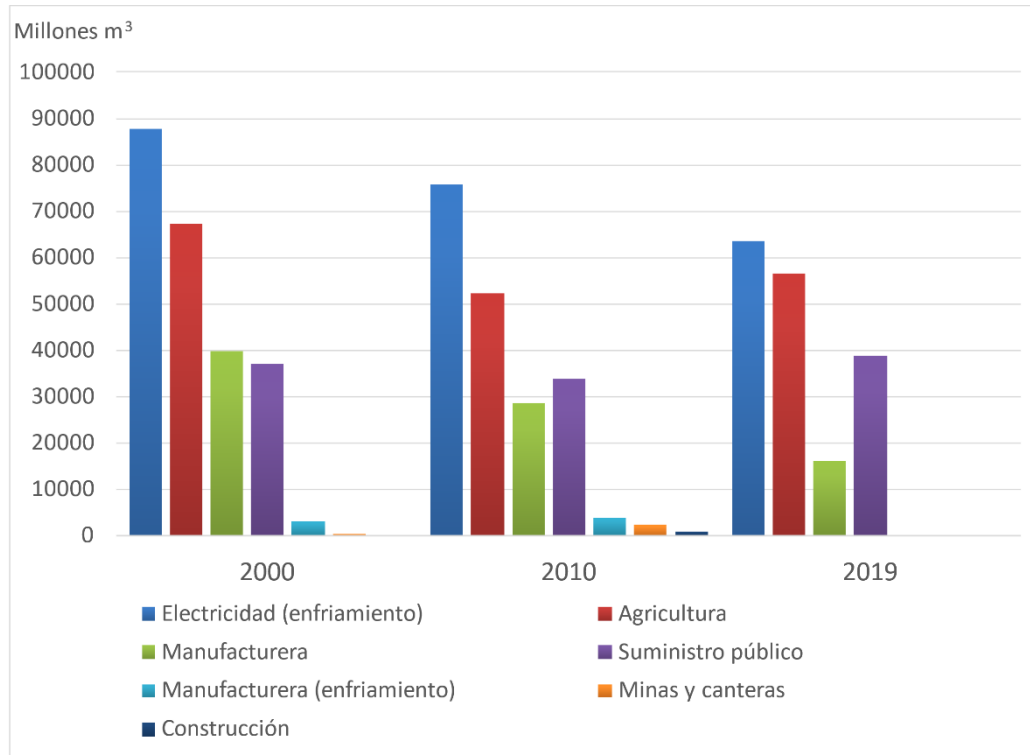


Figura 8. Extracción de agua por sector económico en los 27 Estados miembros de la UE, 2000-2019

Como se puede observar en la Figura 8, el agua se extrae para su uso en todos los sectores económicos de la UE-27. La extracción para la refrigeración en la generación de electricidad siguió siendo el mayor contribuyente a la extracción total de agua anual (36%) en 2019, seguido por la extracción para la agricultura (32%), el suministro público de agua (22%), la manufacturación (9%), con la refrigeración en la manufacturación, la minería y la cantera, y la construcción representando solo el 1% de la extracción total cada uno.

Se puede observar que, entre 2000 y 2019, la extracción de agua disminuyó en general, lo que refleja el éxito de las medidas políticas aplicadas en la Directiva Marco del Agua (DMA). Sin embargo, mientras que la extracción disminuyó en algunos sectores, como para la refrigeración en la generación de electricidad (-27%), aumentó en otros. La extracción para el suministro público de agua aumentó un 4%, con un incremento especialmente pronunciado desde 2010 (14%). La extracción de agua para la agricultura disminuyó en general entre 2000 y 2019. Sin embargo, desde 2010 ha aumentado un 8%, principalmente debido a la creciente demanda de riego en el sur de Europa.

Tomando como referencia los datos de la Figura 8, los sectores industriales que más presión ejercen sobre los recursos hídricos son la producción de electricidad, representado por el agua necesaria para el enfriamiento, y el sector manufacturero, que representa cualquier tipo de industria que transforma materias primas en productos elaborados.

En la Figura 9 se muestra la proporción de las extracciones totales para la industria manufacturera y para la producción de electricidad en el periodo 2000-2011 [20].

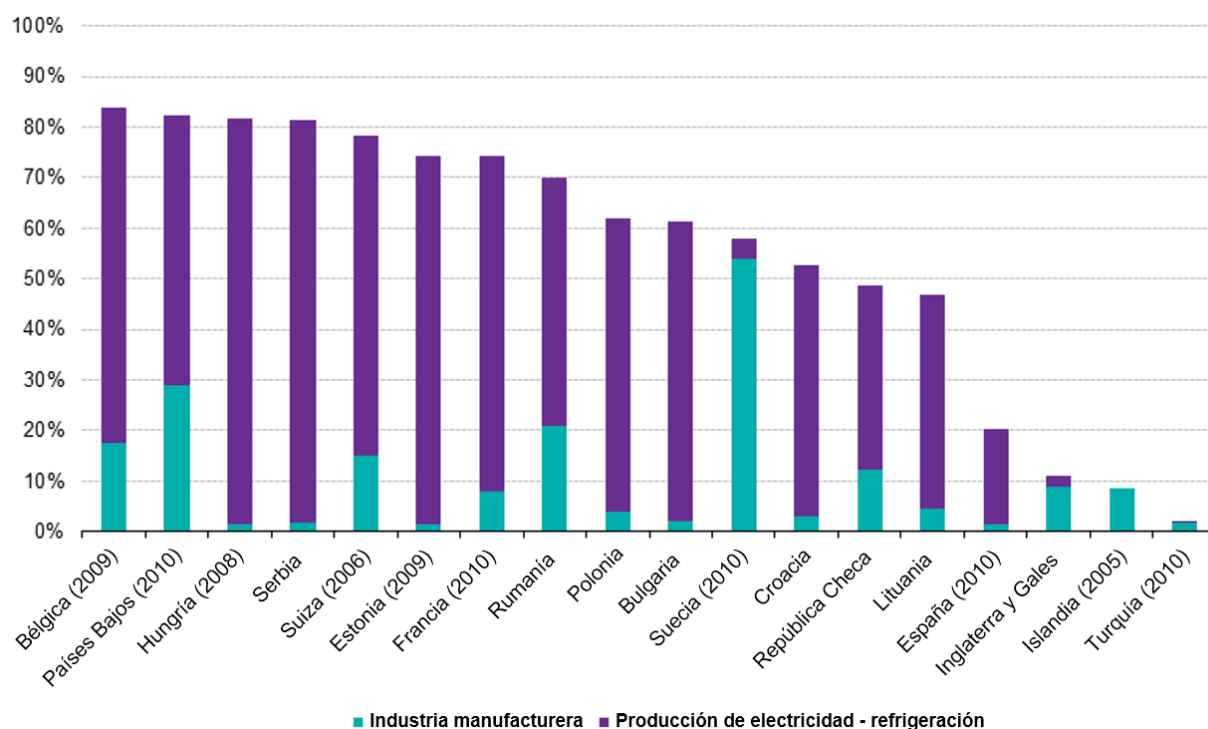


Figura 9. Proporción de las extracciones totales para la industria manufacturera y para la producción de electricidad, 2011

Como se puede observar, las extracciones para la industria manufacturera (incluida la refrigeración) y para la producción de electricidad (principalmente, agua de refrigeración) representan más del 50% de las extracciones brutas totales en la mayoría de los países.

La industria manufacturera y la producción de electricidad representan más del 50% de las extracciones brutas totales en la mayoría de los países.

Principales sectores industriales vinculados a la extracción de agua

Como se ha comentado, los principales sectores que ejercen más presión sobre los recursos hídricos en Europa son la producción de energía, que en 2019 utilizó alrededor de 63 500 millones de m³ para el enfriamiento, y el manufacturero, con un gasto en 2019 de unos 16 200 millones de m³ contando el agua que se gasta en el enfriamiento de la industria manufacturera.

La industria manufacturera es un sector amplio que representa una gran variedad de empresas relacionadas con la transformación de materias primas. Dentro de este sector se van a estudiar qué industrias son las mayores consumidoras de agua en Europa para, posteriormente, estudiar su representatividad en España.

Utilizando los datos que proporcionados por la Oficina de Estadística de la Unión Europea Eurostat [21], los mayores consumidores de agua de la industria manufacturera utilizando la media entre todos los países europeos son:

- Fabricación de productos alimentarios: 4,9 m³/habitante (mín. 1,7 m³/habitante en Malta, máx. 15,8 m³/habitante en los Países Bajos);
- Fabricación de productos petrolíferos refinados, sustancias y productos químicos: 10,9 m³/habitante (mín. 0,2 m³/habitante en Chipre y Malta, máx. 205,8 m³/habitante en Finlandia);
- Manufacturación de metales básicos: 8,1 m³/habitante (mín. 0,0 m³/habitante en Malta y Lituania, máx. 40,7 m³/habitante en Suecia).

De esta manera se identifican estos sectores industriales (agroalimentario, producción de energía, químico y metalúrgico) como las principales actividades industriales intensivas en el uso de energía y principalmente de agua.

Representatividad en España

En este capítulo se abordan los sectores industriales que más agua consumen en España. La actividad humana requiere de una gran cantidad de recursos para poder mantenerse en movimiento. Cada día los seres humanos hacen uso de energía, agua y otros recursos con el fin de sobrevivir, poner en funcionamiento las industrias y producir. Sin embargo, no todas las industrias consumen por igual [22].

¿Qué industrias consumen más agua?

El agua es un recurso vital y versátil que se utiliza en todos los sectores industriales, sin importar su finalidad. Ya sea para la construcción de vehículos, la fabricación de productos alimenticios o la gestión de residuos. Sin embargo, el consumo industrial de agua no es el mismo en todos los sectores y varía en función de la industria en términos de cantidad y tipo de agua usada [23].

Según los últimos datos en España relativos al año 2018, el total de agua captada fue de 29 925 millones de m³. El sector industrial que más agua tomó del medio es la industria de producción de energía, que utiliza el agua para el proceso de enfriamiento, utilizando unos 5450 millones de m³ de agua, lo cual representa un 18% del total.

El siguiente sector industrial en cuanto a consumo es el manufacturero el cual representa un 1,6% del total, con un consumo de 506 millones de m³ de agua. A continuación, se presentan las industrias de España dentro del sector manufacturero que más agua consumen:

- Las industrias químicas. Representan un 25%, la mayor parte de estas instalaciones disponen de sistemas de recuperación, que permiten la reutilización en proceso del agua depurada.
- Las industrias agroalimentarias y explotaciones ganaderas. Representan un 17%. Las industrias de bebidas incorporan el agua consumida como parte de su producto final.
- La producción y transformación de metales. Suponen un 13% de la cantidad de agua que consume la industria. Las instalaciones de fabricación de elementos de acero consumen gran cantidad de agua debido a los sistemas de refrigeración utilizados.
- Las industrias minerales. Con un 7%, consumen agua en el proceso productivo para la generación de aguas de molienda y también por la alimentación de sistemas de refrigeración.

Cabe destacar que esta es una porción del resto de industrias que cuentan con el agua como una parte esencial de sus mecanismos de funcionamiento. Entre los usos más frecuentes, hablaríamos de fines sanitarios, transmisión de calor o frío o como fuente de energía.

Teniendo en cuenta los datos nacionales, si se comparan con los datos europeos se observa que coinciden las cuatro actividades industriales nacionales intensivas en el uso de agua con las cuatro actividades europeas que más presión ejercen en los recursos naturales.

Teniendo en cuenta esta información, en los siguientes capítulos se abordará cada uno de estos sectores industriales (**agroalimentario, producción de energía, químico y metalúrgico**) y se comentará su relevancia en el mercado, se analizará el uso del agua específico de cada industria y se mostrarán casos de éxito relacionados con el aprovechamiento, reutilización y/o ahorro de los recursos hídricos dentro de cada sector industrial.

El sector agroalimentario

Según los datos proporcionados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) [24, 25], a escala mundial, el 72% de todas las extracciones de agua dulce se destinan al sector agrario. Del resto, un 12% se destina a la industria y a la producción de energía, y un 16% al consumo humano de forma directa. La FAO calcula que, en 2050, la agricultura tendrá que producir casi un 50% más de alimentos, fibras y biocombustibles que en 2012 para satisfacer la demanda mundial [26].

Esta misma conclusión aparece en todos los informes bienales de Ceres, organización sin ánimo de lucro dedicada a movilizar inversores, empresas y público hacia una economía global sostenible. En sus *Feeding Ourselves Thirsty* de 2015 [27], 2017 [28], 2019 [29] y 2021 [30], Ceres evalúa el uso, la administración responsable y las políticas del agua elaborando un análisis detallado sobre cómo las cuatro grandes empresas del sector agroalimentario (envasado de alimentos, bebidas, carne y productos agrícolas) gestionan el agua, y cómo los riesgos relacionados con este recurso afectan a su rentabilidad y posicionamiento competitivo.

Según estos informes, las empresas de alimentos no están actuando lo suficientemente rápido para mitigar los riesgos del agua, puesto que la industria no está preparada, en gran medida, para un futuro con escasez de agua. Para ello, establece un ranking asignando una puntuación máxima de 100 puntos a la empresa mejor situada. Las empresas dedicadas a la producción de alimentos envasados y las bebidas obtienen los puntajes promedio más altos (54 y 53, respectivamente), destacando la *The Coca-Cola Company* (90) como la empresa del sector agroalimentario que puede tener un mejor desempeño en la gestión del agua, aunque no en otras áreas de sostenibilidad (en 2021 fue nombrada como principal contaminador plástico por cuarto año consecutivo [31]). Por el contrario, en el último informe de *Feeding Ourselves Thirsty* [30], el sector cárnico queda rezagado con un promedio de 18 puntos, atribuyendo esta tendencia a la falta de enfoque en la gestión del agua en las cadenas de suministro agrícola.

Como mejor empresa englobada en el sector del envasado de alimentos está *Unilever* (tercera del ranking global, con una puntuación de 83) y entre las que avanzan, se señala a *Danone* (en el séptimo lugar en el informe con un puntaje de 77), empresa que proporcionó fondos a los productores de almendras para las prácticas agrícolas regenerativas como parte del desafío de AGWater CERES/WWF, y a *Nestlé* (que desciende al cuarto lugar, con una puntuación de 80), que se ha comprometido a obtener el 50% de sus ingredientes clave a través de métodos agrícolas regenerativos para 2030 [32] y que identificó 14 materias primas que podrían plantear un alto riesgo ambiental y/o social [33].

A nivel estatal y según el informe SOLAW 2021 de la FAO [34], el nivel de estrés hídrico en España, considerando todos los sectores, se califica como bajo (entre el 25% y el 50%), pero muy superior a la media europea (8,3%). Sin embargo, considerando solo el sector agrícola,

España presenta un estrés hídrico medio, con cuencas (Duero, Ebro, Guadiana y Guadalquivir) dentro del nivel alto (75%-100%).

Aunque se asume que esto es consecuencia de las extracciones agrícolas, no es del todo cierto. Tal y como se deduce de los datos aportados por distintos organismos, el consumo de agua en el sector agroalimentario depende en gran medida del tipo de alimento; la Figura 10 demuestra esta conclusión, ya sea mostrando la huella hídrica de distintos alimentos (en L/kg de producto [35]) o en la infografía [36] que editó la Fundación Aquae.

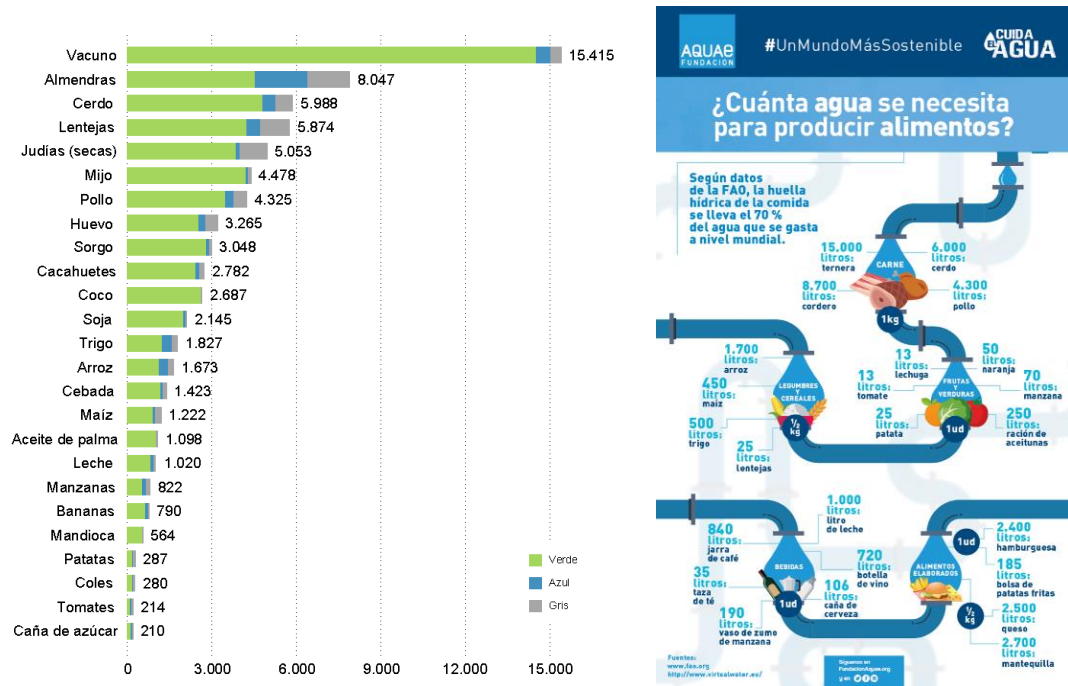


Figura 10. Huella hídrica de distintos alimentos

Un estudio pormenorizado del tema requiere que, además de la huella hídrica de los alimentos, ésta se combine con los hábitos de consumo de España que publica el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación [37, 38]. Asimismo, dicho estudio debería tener presente que, “en España, la industria de alimentación y bebidas es la primera rama manufacturera del sector industrial, según los últimos datos de Estadística Estructural de Empresas del INE” [39], estableciendo en su Anexo IV que son la industria cárnica (24%) y la fabricación de bebidas (19%) los subsectores más importantes de la industria alimentaria.

ANÁLISIS DE LÍNEAS DE AGUA

En las empresas del sector agroalimentario, el agua es un elemento indispensable para muchos de sus procesos, desde la preparación de alimentos y los procesos de limpieza de maquinarias, instalaciones, superficies y utensilios, hasta la limpieza y desinfección de alimentos o la fabricación de hielo. Así, las principales líneas del agua en el sector alimentario son:

- **Producción de alimentos primarios**, es decir, en la agricultura para regar y limpiar los alimentos, o en la ganadería para dar de beber y lavar a los animales.
- **Limpieza y saneamiento**, tanto de maquinarias y utensilios, como de las instalaciones e higiene de los operarios.
- En **operaciones de transformación de los alimentos**, como en refrigeración o calentamiento.
- Como **ingrediente** en una elaboración de alimentos.

El agua que utiliza la industria alimentaria dispone de un tratamiento por parte de los encargados del suministro para garantizar su calidad y seguridad, así como un sistema de control continuo que incluye análisis de laboratorio. Aun así, las empresas del sector alimentario deben implementar sistemas de control para garantizar que el agua que utilizan en la elaboración y fabricación de alimentos se encuentre en condiciones óptimas. A modo de resumen, en la Tabla 2 se indican los principales usos y problemas asociados al consumo de agua en el sector agroalimentario [27].

Cadena de suministro del sector alimentario	Operaciones directas en la industria de...			
	Productores agrícolas (agricultores, ganaderos, lecherías, etc.)	Productos agrícolas	Bebidas	Procesadores de carne
Usos del agua dulce				
<ul style="list-style-type: none"> • Riego de cultivos • Beber y enfriar agua para ganado • Limpieza y desinfección • Aire acondicionado de las instalaciones ganaderas 	<ul style="list-style-type: none"> • Lavado y traslado de productos • Agua de refrigeración • Agua de caldera • Aire acondicionado 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua dulce como ingrediente • Lavado y traslado de productos • Agua de refrigeración • Agua de caldera • Limpieza y desinfección • Aire acondicionado 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua potable y refrescante para el ganado • Limpieza y desinfección • Agua de caldera • Limpieza de equipos de procesamiento • Aire acondicionado 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua dulce como ingrediente • Lavado y traslado de productos • Agua de refrigeración • Agua de caldera • Limpieza y desinfección • Aire acondicionado
Posibles fuentes de aguas residuales / contaminación				
<ul style="list-style-type: none"> • Agua de escorrentía de los campos agrícolas que está contaminada con fertilizantes, pesticidas y herbicidas • Manejo de estiércol animal/lagunas • Los organismos patógenos del ganado transmiten enfermedades 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua de escorrentía de los campos agrícolas que está contaminada con fertilizantes, pesticidas y herbicidas • Las aguas residuales del procesamiento tienen un alto contenido de sólidos suspendidos, azúcares orgánicos, almidones y pesticidas residuales 	<ul style="list-style-type: none"> • Los procesos de fermentación producen aguas residuales con una alta demanda bioquímica de oxígeno 	<ul style="list-style-type: none"> • Estiércol animal, que a veces puede contener antibióticos y arsénico • Subproductos sanguíneos que tienen una alta demanda bioquímica de oxígeno (un indicador del nivel de materia orgánica en las aguas residuales) • Descarga de aguas residuales que contienen altos niveles de nitrógeno y fósforo • Organismos patógenos en aguas residuales • Residuos de cloro de la desinfección de organismos patógenos 	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda bioquímica de oxígeno (un indicador del nivel de materia orgánica en las aguas residuales), sólidos suspendidos totales, cloro residual y pesticidas

Tabla 2. Principales usos y problemas asociados al consumo de agua en el sector agroalimentario

Se ha mostrado la gran importancia del agua para la producción de alimentos, pues se utiliza tanto como ingrediente como en otros procesos habituales. Las normativas sobre elaboración de alimentos exigen el uso de aguas potables verificadas para garantizar la calidad y seguridad de los productos alimenticios elaborados. Por este motivo, el tratamiento del agua es fundamental, así como los propios controles que realizan las empresas del sector alimentario.

PRINCIPALES RETOS DE CADA ACTIVIDAD

Aunque las empresas del sector agroalimentario están comprometidas con favorecer un desarrollo económico sostenible, reducir la huella hídrica de los alimentos sigue suponiendo un gran reto. Dentro de la industria de la alimentación, el agua es un recurso empleado en distintos procesos y por eso se trabaja en reducir su consumo, fomentar la reutilización y planificar estrategias basadas en la economía circular. La Asociación de Fabricantes y Distribuidores (AECOC) ha publicado recientemente un estudio, realizado entre empresas del sector alimentario, que sostiene que el 70% de las compañías estudiadas cuenta entre sus planes con estrategias para reducir el consumo de agua. El informe afirma también que, en los últimos años, estas compañías han reducido en un 20% la cantidad de agua utilizada.

A pesar de los esfuerzos que la industria agroalimentaria ya hace años que lleva a cabo, el problema de la huella hídrica de los alimentos sigue existiendo. Según la FAO, usando los datos proporcionados por la *Water Footprint Network* [40], España consume cerca de 2500 m³/habitante/año, situándose como el segundo país de Europa con mayor huella hídrica (equivale a gastar 6700 litros de agua/persona/día), tras Portugal. Además, más del 70% de la huella hídrica mundial se relaciona con los alimentos, según afirma la FAO [24].

Mientras que, en 2015 y a nivel mundial, se establecieron los cinco principales factores de riesgo del agua para el sector agroalimentario [27], en la cuarta edición del seminario técnico internacional, organizado por AINIA en 2021, sobre gestión del agua en la industria se establecieron las tres claves para la gestión del agua [41]:

1. **Depuración y la reutilización del agua:** Uno de los retos actuales es mejorar la sostenibilidad de su gestión en el sector alimentario, para lo que resulta necesario optimizar los consumos de cada proceso, eliminar las pérdidas o reutilizar caudales, lo cual reduciría el vertido en la industria alimentaria. Para ello se precisa de un marco legal y normativo actual relacionado con la depuración y la reutilización del agua en la industria alimentaria.
2. **Reutilización de aguas de proceso y residuales:** Este nuevo modelo de regeneración y reutilización del agua, como una parte más de la gestión integral hídrica de la empresa, aborda una necesidad social y medioambiental tanto a nivel municipal como industrial. Para el tejido empresarial supone una oportunidad para mejorar su posicionamiento como entidad sostenible y comprometida con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), además de reducir los costes y ser, por ello, más eficiente.
3. **La tecnología en la reutilización en la industria alimentaria:** Este recurso tiene múltiples usos en la industria alimentaria, ya sea en procesos de limpieza e higienización, como recurso en la cadena productiva, medio de transporte o en refrigeración y calderas, entre otros. Sin embargo, el empobrecimiento de calidad del recurso y su escasez exigen de acciones desde diversos sectores, incluyendo el industrial, como, por ejemplo, la minimización del consumo de agua en la actividad industrial, el reciclaje o depuración de las corrientes residuales para reducir su impacto medioambiental y la regeneración, desinfección y recuperación de esas aguas residuales para su reutilización.

Implícito en estos retos de uso eficiente de los recursos hídricos está el estudio de una reutilización segura del agua, con un marco legal que vele por la seguridad y garantice un alto

nivel de protección del medio ambiente y de la salud humana y animal. Con este objetivo, la Unión Europea [42] estableció unos requisitos mínimos de calidad y control del agua para su reutilización como agua de riego agrícola en el contexto de una gestión integrada del agua. Se trata de una norma, que además de contemplar indicadores de calidad microbiológica (*E. coli*, esporas de *C. perfringens* y colifagos), considera como requisitos adicionales las sustancias de preocupación emergente (metales pesados, plaguicidas, subproductos de desinfección, productos farmacéuticos, etc.) a nivel de evaluación del riesgo para la salud humana. La eliminación de dichos contaminantes es problemática debido a que los métodos convencionales de depuración no consiguen eliminarlos por completo y a que los métodos avanzados de tratamiento del agua no son viables debido a sus altos costes, todo un reto que requiere respuestas tecnológicas efectivas y medioambientalmente sostenibles. A modo de ejemplo, la Figura 11 [35] muestra la contaminación por fósforo a nivel mundial; en ella puede apreciarse la grave situación que presenta España.

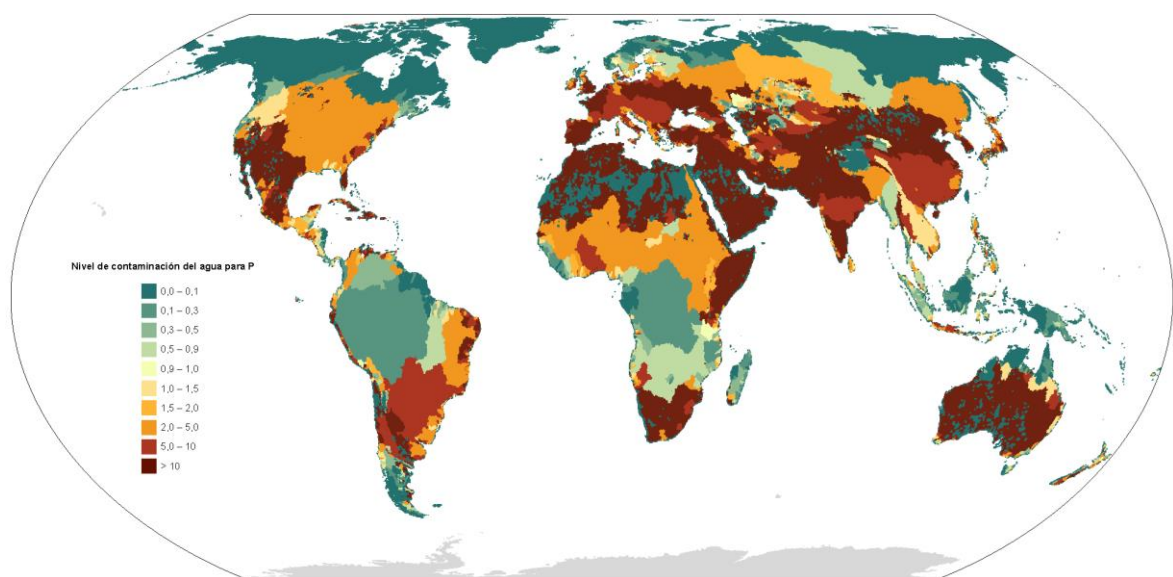


Figura 11. Contaminación por fósforo a nivel mundial

Para terminar, y considerando solo el sector agrícola, citar que, entre los retos más importantes a los que se enfrenta España, está la modernización de los sistemas de riego. Para alcanzarlos, se han ejecutado los objetivos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (*EU Recovery and Resilience Facility RRF*), plan que contempla inversiones que priorizan la agricultura de precisión, la eficiencia energética y economía circular, destinando más de 800 millones de euros para cubrir las inversiones en la modernización del riego sistemas que cubren aproximadamente 100 000 ha. Asimismo, España deberá seguir con en su plan de renovación de maquinaria agrícola (el Plan Renove supuso una inversión de 6,5 millones de euros en 2021, frente a 8 millones de euros en 2020), permitiendo sustituir equipos viejos por máquinas nuevas que reducen emisiones y son más compatibles con los objetivos de sostenibilidad ambiental [43]. Pero, además de los retos indicados, este sector debe reducir sus emisiones (sobre todo, de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso) y al mismo tiempo adaptarse al cambio climático [44].

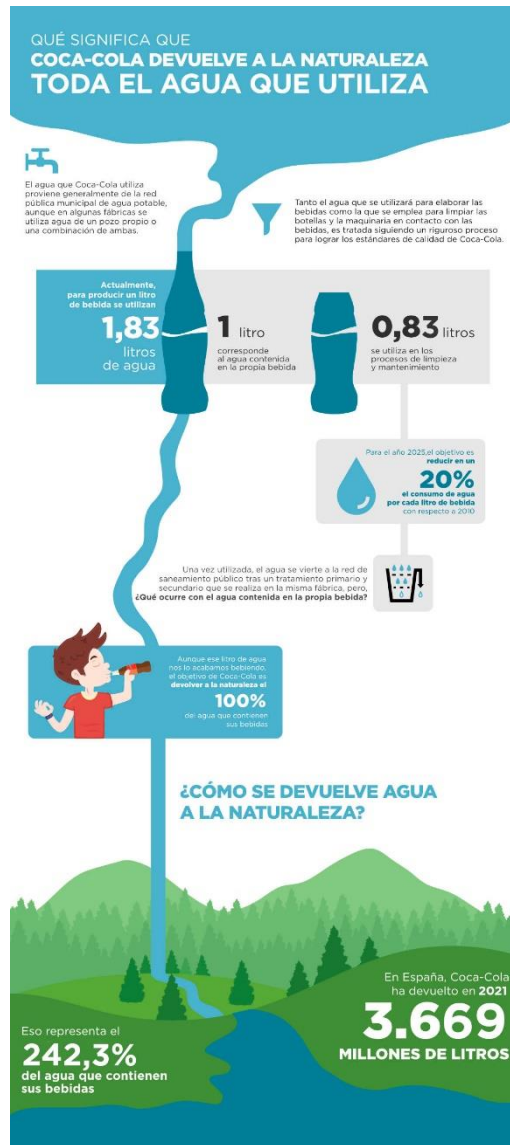
CASOS DE ÉXITO

Según Naciones Unidas, cada vez más personas en el mundo sufren escasez de agua. Se prevé que el problema aumente ya que, si no se cambia el actual ritmo de consumo, el planeta tendrá un déficit de agua del 40% en 2030. Gran parte del consumo se produce en la agricultura y la industria. Ésta última se ha centrado en los últimos años en reducir su huella hídrica, implantando medidas para ahorrar su consumo. Estas estrategias son especialmente relevantes en los sectores como la cerveza y los refrescos, intensivos en el uso de agua, necesaria también para hacer crecer las materias primas con las que elaboran sus bebidas. Ambos han establecido medidas para reducir su consumo durante el proceso de producción y proteger las fuentes de agua. Algunos ejemplos se detallan a continuación.

Coca-Cola reduce su consumo de agua más del 10% en la planta de Bilbao

NOMBRE de la solución tecnológica	Varios: Reducción de consumo en la fabricación de bebidas (instalación de contadores y monitorización a través de software), depuración y devolución a la naturaleza del 100% del agua. Reutilización del agua y mejora de los procesos de lavado de los envases.
SECTOR DE APLICACIÓN	Bebidas. Plantas de producción de Coca-Cola. El caso de Bilbao.
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	A pesar de que el 90% de una Coca-Cola es agua, en 2010, la compañía empleaba 2,17 litros de agua por cada litro de bebida que fabricaba, incluida el agua contenida en la botella.
DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS	<p>Avanzando en sus compromisos medioambientales adoptados en 2017, Coca-Cola España ha presentado su Informe de Sostenibilidad de 2021 [45], en el que se muestra una reducción de consumo de agua del 15,91% respecto al del año 2010. Asimismo, el agua consumida por litro de producto fabricado en 2021 se ha reducido hasta 1,83 litros y el objetivo para el año 2025 es mejorar la eficiencia en el uso del agua en un 20% con respecto al dato de 2010. A escala nacional, en 2021 Coca-Cola en España devolvió a la naturaleza 3669 millones de litros de agua, el 242,3% en zonas con estrés hídrico.</p> <p>A escala local, en 2019 logró una reducción del consumo de agua un 11% en su planta de Bilbao y consiguiendo así ahorrar más de 23 millones de litros de agua; además, la factoría participó en la convocatoria BIND 4.0 con un proyecto para la optimización de agua de la mano de la <i>startup</i> vasca Aquadat. Además, la sede de la firma en la capital vizcaína logró reducir un 13% su consumo de energía, y evitar la generación de 325 toneladas de desechos, un 17%. En su estrategia de lucha contra el cambio climático, Coca-Cola España desarrolla su actividad, desde 2010, reduciendo un 42,05% sus emisiones directas y un 30,8% las emisiones de su cadena de valor, trabajando en sus objetivos de descarbonización en todas sus sedes [46].</p>

MATERIAL GRÁFICO



📍 <https://www.thinglink.com/scene/1305466073864208386>

DATOS DE CONTACTO PARA MÁS INFORMACIÓN

<https://www.cocacolaespana.es/sostenibilidad/medioambiente/agua/plan-conservacion-agua>

<https://www.cocacolaespana.es/sostenibilidad/medioambiente/agua/plan-proteccion-agua>

<https://www.cocacolaespana.es/sostenibilidad/medioambiente/agua/coca-cola-dia-mundial-agua>

Alimentación Unilever reduce un 32% el consumo de agua en su planta vasca de Leioa

<p>NOMBRE de la solución tecnológica</p>	<p>BuildApp. Sistema 'STRATA'.</p>
<p>SECTOR DE APLICACIÓN</p>	<p>Fabricación y envasado de alimentos. Plantas de producción de Unilever España. El caso de Leioa.</p>
<p>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</p>	<p>Alto consumo de agua y energético. Niveles de emisiones en plantas de procesado relativamente elevadas.</p>
<p>DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS</p>	<p>La BuildApp es una de las herramientas, desarrollada a medida, que han implantado en su <i>"Digital Factory Programme"</i>. Es una aplicación que se utiliza para digitalizar y optimizar todos los procesos y aumentar la productividad: la BuildApp, que monitoriza a tiempo real el rendimiento de la fábrica, tiene 28 módulos diferentes que los equipos de la fábrica utilizan para administrar sus operaciones. Los empleados lo utilizan para recopilar y compartir datos, desarrollar sus propias habilidades, mantenerse conectados a través de comunicaciones locales y globales y acceder a servicios digitales como el autoservicio de recursos humanos.</p> <p>En la actualidad, se aplica en unas 100 fábricas en todo el mundo; esta tecnología conduce a una resolución de problemas más rápida y colaborativa que beneficia al negocio.</p> <p>Por ejemplo, en la fábrica de Leioa en España, se utiliza la BuildApp para impulsar mejoras significativas, como una reducción del 11% en los desechos y conseguir aumentar la productividad un 3,5%. Así, Unilever ha dado un paso más en su plan de sostenibilidad al reducir un 32% el consumo de agua en los últimos cuatro años en su planta del País Vasco, especializada en la elaboración de mayonesas y salsas para las marcas Calvé y Hellmann's. Según la compañía, este avance se ha conseguido gracias a la introducción de sistemas de medición y a la creación de un equipo de expertos focalizados en reducir el gasto energético de la fábrica.</p> <p>Desde 2013, Unilever ha ahorrado en su fábrica de Leioa (Vizcaya) el agua equivalente a 82 piscinas olímpicas gracias a la implementación del sistema Strata, que optimiza los recursos energéticos. Este método permite a la compañía conocer el consumo energético exacto en tiempo real en la cadena de producción y, de este modo, detectar posibles deficiencias en el punto donde se producen.</p> <p>Las mejoras en la planta del País Vasco se enmarcan dentro del Plan Unilever para una Vida Sostenible, que para 2020 consiguió una reducción de más del 50 por ciento en el uso del agua durante los procesos de producción de sus fábricas, a pesar de tener volúmenes de producción significativamente más altos. En España, Unilever ha disminuido el consumo de agua no solamente en las plantas de producción, sino también en los campos de cultivo donde se cosechan algunas de las materias primas que utiliza en la elaboración de muchos de sus productos. En este sentido, la compañía ha logrado reducir hasta en un 30% el consumo de agua en los campos de Extremadura, donde se cultivan los tomates sostenibles de Knorr gracias a un acuerdo con Conesa, su proveedor, que fomenta las buenas prácticas entre los pequeños agricultores de la región.</p>

DATOS DE CONTACTO PARA MÁS INFORMACIÓN	https://www.unilever.com/planet-and-society/future-of-work/providing-skills-for-life/
	https://financialfood.es/28959-2/
	https://www.lavanguardia.com/vida/20180321/441791348721/unilever-reduce-el-consumo-de-agua-en-un-32-en-los-ultimos-cuatro-anos-en-su-planta-de-leioa-vizcaya.html

NanoWIN

NOMBRE de la solución tecnológica	NanoWIN
SECTOR DE APLICACIÓN	Industria cervecera
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	El proyecto afronta el reto de la industria cervecera La Zaragozana buscando soluciones para reducir el consumo y vertido del agua. Para producir 1 litro de cerveza se necesitan entre 3 y 5 litros de agua. Debido a la actual situación climática e hídrica es importante reducir este consumo lo máximo posible.
DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS	<p>El proyecto ha demostrado la eficacia de la nanofiltración para reutilizar un flujo de rechazo de ósmosis sin consumo eléctrico adicional. Las membranas probadas logran una recuperación de flujo de un 50-60% con calidad óptima para el retorno a la cabecera. NanoWIN probó la eficacia de su planta piloto para los diferentes iones que componen el balance iónico del agua de rechazo de ósmosis, siendo especialmente eficaz en el tratamiento de sulfatos, con un rendimiento de hasta el 90%.</p> <p>En conclusión, NanoWIN permite la recuperación del agua de rechazo para recircularla al depósito principal, lo que reduce la huella de carbono en todos los procesos de producción que utilizan la ósmosis inversa. Este proyecto se basa en estrategias de economía circular, ya que proporciona un instrumento para la reutilización directa del agua y una reducción sustancial del consumo y vertido de agua.</p>
MATERIAL GRÁFICO	
DATOS DE CONTACTO PARA MÁS INFORMACIÓN	<p>Adiego Hermanos: www.adiego.com NXFiltration: www.nxfiltration.com Jotem Waterbehandeling: www.jotem.nl</p>

El sector de producción de energía

La disponibilidad de agua y energía representa un aspecto fundamental a la hora de satisfacer las necesidades humanas básicas y garantizar el desarrollo de las economías a nivel mundial. No es, por tanto, casualidad que los sectores del agua y la energía estén estrechamente interrelacionados. Se necesitan grandes volúmenes de agua en la práctica totalidad de los procesos de producción de energía: extracción de materias primas, refrigeración de plantas termoeléctricas, procesos de limpieza, producción de biocombustibles, funcionamiento de las turbinas, etc. [47].

ANÁLISIS DE LÍNEAS DE AGUA

La electricidad se produce en las centrales eléctricas, instalaciones donde una turbina movida por agua, vapor o viento, transmite su energía mecánica a un generador eléctrico a través de un eje giratorio. El generador transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Al conjunto se le denomina grupo generador. En la Figura 12 [48] se muestra la importancia de las centrales nucleares, térmicas, eólica e hidráulicas, en la producción de energía eléctrica en los últimos 10 años.

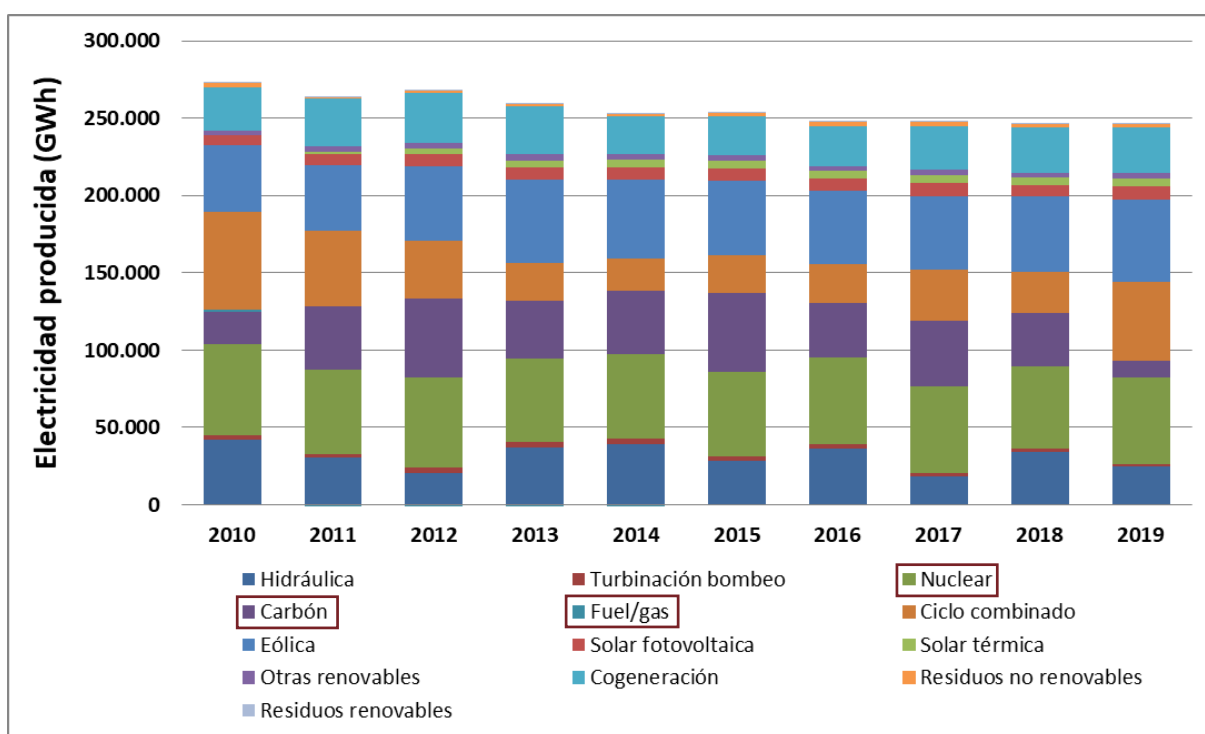


Figura 12. Energía producida por tipos de generación desde 2010 hasta 2019 en España peninsular. Datos tomados de Red Eléctrica de España S.A. Informe del Sistema Eléctrico Español 2019

La producción de energía eléctrica representa uno de los mayores usos del agua en todo el mundo. El agua es imprescindible para la producción de energía eléctrica; ya sea con uso no consuntivo en la energía hidroeléctrica o con un uso consuntivo para refrigerar las centrales térmicas de producción de energía: nuclear, carbón, fuel, gas, termosolar, cogeneración o biomasa [49]. Este último tipo de centrales, también denominadas termoeléctricas, emplean

grandes volúmenes de agua, principalmente como **medio refrigerante**, con el objeto de disipar el calor “residual” de los sistemas empleados, para permitir el correcto funcionamiento de las instalaciones.

Se estima que alrededor de 53 000 millones de m³ de agua dulce se emplean para producción termoeléctrica a escala global [50]. La temperatura necesaria para producir electricidad en este tipo de instalaciones varía según el tipo de combustible empleado y, en consecuencia, cada tipo de central requiere diferentes volúmenes de agua de refrigeración. La refrigeración es la actividad que implica las mayores cantidades de agua y, por tanto, dicho sistema debe considerarse una parte integral del proceso de generación de energía, pudiendo tener una gran influencia en el rendimiento y la disponibilidad global de la central. Existen diferentes tipos de sistemas de refrigeración que requieren diferentes volúmenes de agua.

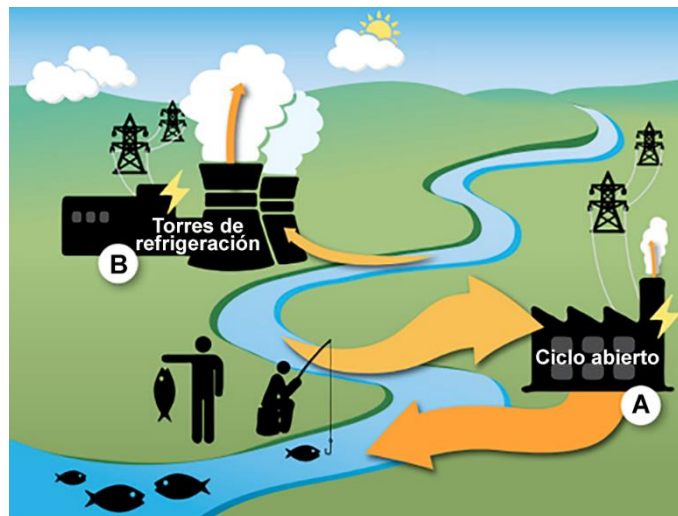


Figura 13. Extracción y consumo hídrico de los principales sistemas de refrigeración (determinados por el tamaño de las flechas)

Tal y como muestra la Figura 13 [51], los sistemas de refrigeración más populares son:

- **A - Ciclo abierto** (en inglés, *once-through cooling*): extraen el agua de una masa de agua, pasándola a través de un condensador de vapor y devolviéndola posteriormente a la fuente de agua a una temperatura más alta, generalmente limitada por la legislación medioambiental. Esta tecnología de refrigeración evapora una pequeña fracción del agua extraída.
- **B - Torres de refrigeración** (en inglés, *recirculating cooling*): mecanismo de evacuación de calor, que arroja a la atmósfera el calor residual del agua de refrigeración. Este sistema de refrigeración extrae mucha menos agua que los sistemas de ciclo abierto, pero precisa de un mayor consumo hídrico.

La refrigeración es la actividad que implica el uso de las mayores cantidades de agua en el funcionamiento de las centrales termoeléctricas a escala global

Tanto los diferentes tipos de tecnología de generación como los diferentes tipos sistemas de refrigeración instalados en las centrales termoeléctricas dan lugar a diferentes extracciones y consumos de agua, lo que requiere ser riguroso al hablar del uso del agua en las centrales eléctricas. En este sentido, es imprescindible diferenciar entre los conceptos de extracción y consumo hídrico.

- Las **extracciones de agua** se definen como “la cantidad total de agua captada de una masa de agua, independientemente de la cantidad que se consuma de ese volumen total”. Mientras que,
- El **consumo de agua** queda definido como “la parte de agua extraída que se evapora durante el proceso de enfriamiento en las centrales termoeléctricas y, por ende, se elimina del entorno de agua próximo”. La parte del agua extraída que no se consume es devuelta después de su uso a una masa de agua como, por ejemplo, un acuífero o el cauce de un río, representando el flujo de retorno o “agua descargada” [47].

Según los trabajos realizados por Sesma-Marín en 2019 [47, 52, 53, 54], en España la huella hídrica del *agua consumida resultante* del funcionamiento de las centrales termoeléctricas puede considerarse insignificante cuando se compara con el impacto de otras actividades tan importantes, en el sur de Europa, como las incluidas en el sector agroalimentario. La generación de energía termoeléctrica es la segunda actividad más “sedienta” en términos de extracciones de agua, justo por detrás de los usos agroalimentarios ya mencionados. Estos volúmenes de agua son cruciales para la generación de energía, ya que, si la cantidad demandada no está disponible, las plantas podrían verse obligadas limitar sus operaciones e incluso a cerrar. Estudios internacionales también confirman este hecho, como se muestra en la Tabla 3 [55].

Tipo de combustible	Refrigeración	Extracción media (m ³ /MWh)	Consumo medio (m ³ /MWh)
Nuclear	Torres	4,17	2,54
	Ciclo abierto	167,88	1,02
Gas natural – ciclo combinado	Torres	0,97	0,78
	Ciclo abierto	43,08	0,38
Carbón	Torres	3,80	2,60
	Ciclo abierto	137,60	0,95

Tabla 3. Coeficientes medios de extracción y consumo hídrico (m³/MWh) de las principales centrales termoeléctricas, por tipo de combustible y sistema de refrigeración

En España, desde la década de 1980 hasta la actualidad, la electricidad nuclear aporta una media del 24% de la generación eléctrica en España. Con el cambio de siglo la cogeneración y las energías renovables se suman al mix eléctrico. En la actualidad, la generación termoeléctrica representa alrededor del 56% de la generación eléctrica española [56].

Tal y como se ha podido comprobar este año 2022, el incremento en la magnitud y la duración de las sequías, y las olas de calor debidas al cambio climático pueden empeorar aún más la situación. Por estos motivos, la ubicación de las centrales en el territorio debe ser un factor importante que analizar. La diversidad de la geografía española, la consideración de país

semiárido y los desequilibrios pluviométricos entre las regiones hacen necesario tener en cuenta el componente territorial.

Comparando las diferentes tecnologías termoeléctricas, las centrales nucleares aparecen como las principales usuarias de agua, seguidas de las centrales térmicas convencionales de carbón y, por último, las de ciclo combinado. Aunque, esta afirmación no parece tan evidente cuando se analiza individualmente cada central eléctrica. Por ejemplo, para un determinado tipo de sistema de refrigeración, existen centrales de carbón, a fecha 2019, que presentan un mayor consumo de agua que determinadas centrales nucleares.

La transición de sistemas de refrigeración de tipo húmedo a sistemas de tipo seco puede suponer ahorros adicionales de agua. Además, la transición de sistemas de ciclo abierto a torres de refrigeración puede reducir la extracción de agua de las centrales en un 96% [57]. En esta misma línea, Scanlon et al. (2013) [58] demostraron que el aumento en la producción de energía eléctrica a partir de gas natural representa una importante medida de resiliencia a la sequía, entendida ésta como la capacidad de una central para recuperarse del estrés hídrico. Todos estos resultados representan medidas potenciales frente a futuros escenarios de escasez de agua.

Tal y como se ha dicho anteriormente, además de las características técnicas de las centrales termoeléctricas, su ubicación y las condiciones climáticas correspondientes pueden afectar a la eficiencia global de las mismas y, en consecuencia, a sus coeficientes de uso del agua [55].

PRINCIPALES RETOS DE CADA ACTIVIDAD

La energía de origen térmica, necesaria por garantía de suministro, se está desarrollando tratando de limitar al máximo su consumo de agua de refrigeración y su efecto sobre el medio natural ya sea por el vertido de agua o por sus emisiones. Esta relación agua-energía hay que desarrollarla con absoluto respeto a tres aspectos clave: la planificación, la eficiencia y la gestión sostenible.

Sin agua no será posible cumplir los objetivos establecidos en la Planificación Energética [59, 60]. Ello implica que es imprescindible que la Planificación Hidráulica y la Planificación Energética estén íntimamente ligadas y que ambas contemplen los objetivos de demanda de la otra. Igualmente, importante es que la Planificación Hidráulica tenga en cuenta la demanda de agua para refrigerar centrales térmicas y centrales hidroeléctricas, como que la Planificación Energética tenga en cuenta las nuevas necesidades de consumo eléctrico para la desalación, la depuración de aguas residuales, la potabilización y la transformación de los regadíos [49].

Desde el punto de vista de la generación de energía eléctrica, los períodos de sequía en países áridos/semiáridos son mucho más importantes que la propia disponibilidad anual de agua, como lo demuestran diferentes estudios cuantitativos que muestran los riesgos que representan las sequías para la producción de electricidad a escala global [61, 62]. El aumento de la temperatura de los ríos además afecta la confiabilidad de la red al reducir la producción de electricidad durante los períodos de verano, cuando las altas temperaturas coinciden con la máxima producción de electricidad [63]. En el contexto español, los meses de verano (estío) son especialmente críticos para las tecnologías intensivas en agua como demuestran, en determinadas ocasiones, los cierres temporales de algunas centrales nucleares.

España ya sufre grandes aumentos de temperatura, olas de calor, altas tasas de evaporación y descensos en las precipitaciones y caudales de los ríos. Estas consecuencias derivadas del actual cambio climático están derivando en importantes problemas de escasez de agua de consumo así como en consecuencias económicas, sociales y ambientales significativas [64], tal y como ha podido apreciarse este reciente año 2022.

En España existen muy pocas investigaciones aisladas sobre los usos del agua en el sector eléctrico en España. En 2009 Río-Carrillo & Frei [65] analizaron las extracciones y consumos de agua según sector de fuente de energía y tipo de proceso. Además de describir los usos actuales del agua dulce, realizaron una valoración de las necesidades hídricas para los escenarios energéticos previstos en 2030. Por otro lado, en 2012, un trabajo llevado a cabo por Hardy et al. [66] abordó la relevancia del nexo agua-energía en España, pero sin entrar en detalles; en este estudio, los autores muestran una visión general de las consecuencias bilaterales del nexo y destacan la necesidad de gestionar esta relación mutua como un todo, tal y como se ha comentado al principio de este apartado.

Estos trabajos no profundizan en los volúmenes de agua necesarios para producir energía termoeléctrica en España, ni tienen en cuenta la perspectiva histórica a pesar de que el sector termoeléctrico es el segundo sector más sediento de España, solo por detrás de los usos incluidos en el sector agroalimentario. Además, las estadísticas públicas oficiales sobre el nexo agua-electricidad son bastante limitadas en España. Asimismo, en ocasiones estas fuentes de información disponibles no hacen un uso correcto de los términos referidos a los usos del agua para la producción de energía termoeléctrica ni detallan información sobre las metodologías utilizadas para calcular dichos valores. Estas deficiencias pueden dar lugar a interpretaciones incorrectas para una buena estimación de las necesidades de agua para la producción de energía termoeléctrica [47].

Recomendaciones para futuras investigaciones

Una vez conocida la situación actual en España se necesitan pasos adicionales en la investigación futura para entender mejor el nexo agua-energía. Estos avances son necesarios para tener una visión completa de las necesidades de agua dulce para el conjunto del país. Por ejemplo, existen cuencas hidrográficas españolas que albergan al menos una veintena de centrales termoeléctricas adicionales que deben analizadas en profundidad.

Un análisis de la disponibilidad real de agua en las diferentes cuencas hidrográficas españolas, con una periodicidad mensual, podría arrojar conclusiones adicionales a esta investigación. Otra alternativa se basaría en analizar las captaciones y consumos de agua teniendo en cuenta el año hidrológico (en lugar del calendario natural), de modo que las necesidades hídricas de las instalaciones pudiesen compararse con el volumen de precipitaciones mensuales [47].

Sería muy importante, desde el punto de vista medioambiental, poder evaluar las descargas de agua de los sistemas de refrigeración de ciclo abierto que transfieren el calor residual de centrales térmicas a la masa de agua de descarga, provocando un aumento de la temperatura local del agua del río, y por tanto pudiendo tener efectos negativos en los ecosistemas acuáticos [67].

Además, sería muy interesante, dado que en general las tecnologías basadas en energías renovables suelen necesitar menos agua que los combustibles fósiles (tecnologías

fotovoltaicas y turbinas eólicas), poder evaluar e intentar cuantificar las necesidades hídricas de dichas tecnologías renovables, representando una vía potencial de investigación para el futuro.

CASOS DE ÉXITO

ENEL GREEN POWER

NOMBRE de la solución tecnológica	Proyecto WaVE (Water Value Enhancement): Mejora del Valor del Agua
SECTOR DE APLICACIÓN	Producción de energía eléctrica (plantas termoeléctricas) en diferentes países: España (Mahón), Italia (Santa Bárbara) y Chile (San Isidro).
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	<p>Generar energía renovable reduciendo lo más posible el uso del agua para la producción de energía eléctrica y, en general, de recursos en todas sus centrales. Salvaguardar el agua no significa solamente un uso responsable, sin desperdiciarla, sino también cuidar el medioambiente y las comunidades que habitan alrededor de ríos y lagos.</p> <p>El objetivo es optimizar el uso del agua, con una atención particular en la disminución de las necesidades específicas, pero también a la extracción de agua dulce y el uso de agua potable: estos son los objetivos principales de WaVE. Pero, ¿cómo se puede lograr? Ante todo, reutilizando el agua de descarga o reemplazando la valiosa agua dulce con agua de mar o con las aguas residuales de otras instalaciones.</p>
DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS	<ul style="list-style-type: none"> - Planta de termoeléctrica de ciclo combinado de San Isidro (Chile): validación de un nuevo sistema de tratamiento ZLD (<i>Zero Liquid Discharge</i>) con el objetivo de recuperar el agua residual de las torres de evaporación. - Central termoeléctrica de Santa Bárbara (Italia): correcta gestión del agua utilizada para la torre de refrigeración, cuya disponibilidad depende del nivel del embalse aguas arriba de la presa de San Cipriano. Aumentando los ciclos de concentración de agua en la torre, debido a la implementación de nuevos reactivos y al uso de un sistema de control avanzado, se ha reducido en un 15% la necesidad hídrica y se ha producido una disminución equivalente en las descargas. - Planta termoeléctrica en Mahón (España) ubicada en un área donde se registra una cierta escasez de agua: las aguas residuales provenientes de la cercana planta depuradora municipal se utilizan para alimentar el sistema de eliminación de NOx (óxidos de nitrógeno).
DATOS DE CONTACTO PARA MÁS INFORMACIÓN	ENEL GREEN POWER ESPAÑA S.L. Dirección: Calle Ribera del Loira, 60. Madrid. España Tel: +34 912131000 https://www.enelgreenpower.com/es/medios/news/2021/04/wave-reduciendo-uso-agua E-mail: comunicacion@endesa.es

NOMBRE de la solución tecnológica	Proyecto europeo MATCHING (Materials & Technologies for Performance Improvement of Cooling Systems in Power Plants), financiado en el marco del programa Horizon 2020
SECTOR DE APLICACIÓN	Centrales termoeléctricas: As Pontes (España) y Brindisi (Italia)
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	<p>Producir electricidad supone la utilización de grandes cantidades de agua; efectivamente, hace falta agua para generar vapor, enfriar las turbinas y producir energía.</p> <p>Desarrollo de nuevas tecnologías para reducir el uso de agua para el enfriamiento en la producción termoeléctrica y optimizar su empleo en las centrales geotérmicas. El objetivo es encontrar soluciones (nuevas tecnologías y uso de nanomateriales) económicamente competitivas, y llevarlas a cabo de forma sinérgica en los casos en que sea posible.</p>
DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS	<p>El proyecto se centró en la realización de pruebas de laboratorio, con resultados positivos. Se desarrollaron tecnologías para el tratamiento y la reutilización de las aguas residuales, además de emplear nanomateriales para mejorar el intercambio térmico y reducir el uso del agua en el proceso productivo.</p> <p>Este proyecto fijó, como objetivo, llevar a fase de experimentación en siete grandes plantas europeas, entre las cuales se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Centrales térmicas de As Pontes (España) y de Brindisi (Italia). Se instalará una torre híbrida, que permitirá efectuar una parte del enfriamiento por aire por convección, sin consumo de agua. El objetivo es reducir la evaporación del vapor condensado del fluido geotérmico hasta el 15% a través del uso de materiales avanzados y nanotecnologías, preservando el recurso hídrico e incrementando la cantidad de vapor condensado que se vuelve a enviar al depósito. - En algunas centrales se ha implementado el proceso innovador ZLD (<i>Zero Liquid Discharge</i>) con la finalidad de hacer más eficiente el uso de las aguas. A través de este proceso todas las aguas residuales se reutilizan en el ciclo productivo, eliminando las descargas y reduciendo los consumos. - Planta geotérmica de Nuova San Martino (Italia). Utiliza el tratamiento “<i>Closed Loop</i>” que permite separar la bentonita, el fluido utilizado para las actividades de perforación, llamado también lodo bentonítico, del agua. Este proceso permite reducir los consumos hídricos, limitando la cantidad de desechos enviados al vertedero, tanto como recuperar agua reutilizable para preparar nuevo lodo, reducir el lodo en circulación y lavar los equipos.
DATOS DE CONTACTO PARA MÁS INFORMACIÓN	<p>Grupo ENEL</p> <p>Dirección: Calle Ribera del Loira, 60. Madrid. España</p> <p>Tel: +34 912131000</p> <p>https://www.enel.com/es/nuestra-compania/historias/articulos/2017/03/energia-para-el-agua</p> <p>E-mail: comunicacion@endesa.es</p>

El sector de la industria química

En Europa, las industrias químicas y de refinado de petróleo consumen el 11 % del agua dulce en operaciones como limpiar, calentar, enfriar, generar vapor, transportar, como disolvente y como ingrediente de otros productos. Hallar formas ecoeficientes de gestionar el agua contribuirá a reducir la competencia por la obtención de recursos limitados entre la industria, las ciudades y la agricultura, sobre todo en regiones donde el agua es un bien escaso, como el sur de Europa.

En este sentido y con objeto de reducir el uso de agua en la industria química, el proyecto E4WATER [68] (2012-2016), financiado por la Unión Europea, estableció tres objetivos:

- **Reducir más de un 20% el uso de agua**, por ejemplo, reciclando aguas residuales de industria próximas o reutilizando el agua de las torres de refrigeración.
- **Reducir la cantidad de aguas residuales generadas en más un 30%** con tecnologías innovadoras como membranas, microalgas, sistemas de pretratamiento...
- **Disminuir el consumo energético** mediante la recuperación de calor o el uso de tecnologías eficientes, permitiendo reducir la demanda de energía y materias primas.

Dicho proyecto se centró en seis industrias químicas; a continuación, se detallan los resultados más relevantes de cada una de ellas.

1. Total Petrochemical (Francia)

Aunque sistema actual ya permitía el reciclaje del agua del circuito de refrigeración y la separación de vapor para vertido directo, se consideró la implantación de un nuevo sistema de gestión de agua con el objetivo de reducir la extracción en un 40%. Para ello se investigaron todos los flujos de agua en cuanto a calidad y cantidad para identificar posibles puntos de reciclaje y reutilización de agua y sus requisitos. Como resultado, se planteó: i) ampliar la planta de tratamiento de aguas residuales de desaceitado con cuatro etapas: ozonización, biofiltración, ultrafiltración y ósmosis inversa; ii) mejorar la línea de tratamiento del circuito de agua de refrigeración con tres tecnologías: filtración por arena, desinfección alternativa mediante irradiación UV y ozonización, y iii) modernizar la línea de tratamiento de purgas de agua de refrigeración con dos etapas de ultrafiltración y ósmosis inversa.

2. Procter & Gamble (República Checa)

Las plantas de Procter & Gamble producen una variedad de productos detergentes, generando aguas de lavado con alto contenido de dichos productos, difíciles de tratar y que requieren tratamientos físico-químicos, **procesos de oxidación avanzada (AOP)** o tratamientos biológicos, con costes significativos. Utilizando membranas para extraer materias primas (tensioactivos) se consiguió generar un concentrado reciclable para aplicaciones de calidad inferior, pero aptas para uso industrial y una corriente de agua que, tratada con un **biorreactor aeróbico de membrana (MBR)**, carbón activado y AOP con ozono cumple los requisitos legales de vertido [69].

3. INOVYN (España)

El objetivo fue aumentar el uso sostenible del agua en una línea de producción de policloruro de vinilo (PVC) a por medio de reutilización de efluentes y circuitos cerrados. El principal problema es la presencia de alcohol polivinílico (PVA) en el agua madre que interfiere en la separación por membranas. Se probó a escala de laboratorio/planta piloto con resultados muy satisfactorios un **MBR** como pretratamiento a la etapa de desalinización, realizada mediante

RO (ósmosis inversa), **desalinización capacitiva**, **destilación por membrana** y **electrodialisis** [70].

4. Dow Benelux (Países Bajos)

Con una significativa demanda de agua dulce para operaciones de refrigeración y calefacción (producción de vapor), la planta está situada en el estuario del río Scheldt, región que sufre una falta intrínseca de agua dulce. El reto era reutilizar varias corrientes de agua vertidas al río con cantidades variables de sales inorgánicas, lo que las hace inadecuadas para uso directo en aplicaciones industriales o agrícolas, para lo que se planteó una desalinización suave [71]. Se construyó una planta piloto en la que se consideraron tres técnicas: **ultrafiltración**, que permitió recuperaciones de hasta el 96%, **nanofiltración** y **electrodialisis inversa**. Adicionalmente, se ensayó a pequeña escala **destilación por membrana** [72], técnica prometedora pero aún no viable económicamente.

5. INOVYN Manufacturing (Bélgica)

El objetivo fundamental fue lograr la sinergia en el ahorro de agua entre industrias próximas del Clúster Químico del Puerto de Amberes. Se construyeron tres módulos: dos para producción de agua de alta calidad a partir de agua freática, aguas residuales de una empresa externa o de agua superficial salobre (el primero basado en discos de pretratamiento y ultrafiltración-ósmosis inversa, y el segundo ultrafiltración-ósmosis inversa de doble etapa), ambos con resultados limitados. El tercero, en formato “planta sobre camión” y basado en electrolisis, consiguió buenos resultados reutilizando agua salada concentrada procedente de una empresa de cloro-álcali para el proceso de electrólisis de membranas de INOVYN, reduciendo el vertido de salmueras a aguas superficiales y valorizando el NaCl.

6. Kalundborg Symbiosis (Dinamarca)

El enfoque conceptual giró en torno a la inclusión de la simbiosis industrial, en la que los “desperdicios” de una empresa se consideran un recurso potencial en otra, creando así beneficios mutuos y valor añadido para los socios implicados. Se probó un tren de tratamiento que comprendía: i) pretratamiento de agua de proceso industrial adecuado como medio de crecimiento de microalgas, ii) eliminación de nutrientes (más del 98% del fósforo total, más del 90% de nitrógeno total y DQO hasta 85%) y CO₂, y reciclaje en fotobiorreactores a gran escala, y iii) separación del agua remediada (hasta un millón de m³/año) y la biomasa de microalgas para obtener valor añadido.

Como conclusión del estudio es preciso indicar que una gestión más eficiente del agua permitirá reducir el estrés hídrico de los ecosistemas acuáticos, así como la emisión de agentes contaminantes y calor al entorno natural.

ANÁLISIS DE LÍNEAS DE AGUA EN ESPAÑA Y RETOS DE CADA ACTIVIDAD

La industria química es uno de los mayores y más consolidados sectores industriales de España, con más de 3000 empresas [73]. Supone el 5,6% del PIB y del 3,7% del empleo de España y el 13,8% del PIB industrial. Según la “Radiografía del Sector Químico Español (2022)” [74] supone una cifra de negocios de 77 241 millones de euros (el 64% se facturan en mercados exteriores, lo que supone que el sector es el mayor exportador de la economía española), con un peso creciente en países de fuera de la Unión Europea. Se trata de una industria sólida, con generación de empleo (208.950 personas directo, superando los 710 430 contando empleos indirectos) de elevada calidad en términos de salario (sueldo medio de más

de 39 000 € anuales) y estabilidad (93% de contratos indefinidos). La industria química es líder también en Innovación, con más de 1721 millones de euros invertidos en I+D+i, excluidas compras. Es reconocido su marcado carácter transversal, interviniendo en el 96% de las cadenas de valor de las industrias manufactureras. La Figura 14 [75] muestra las principales cifras del sector de un vistazo.



Figura 14. Principales cifras de la industria química en España (datos de 2022)

La industria química está firmemente comprometida en las medidas de ahorro y gestión de agua. En un reciente informe de Responsabilidad Social Empresarial (RSE) de la Federación Empresarial de la Industria Química Española (FEIQUE), que representa a más de 1500 empresas químicas españolas que en conjunto generan el 75% de la producción química en España [76], se presenta una evolución decreciente en lo que a consumo de agua se refiere, con un importante descenso desde 1999 del 55%, situándose en 3,24 m³/tonelada producida en 2019, como muestra la Figura 15 [77]. Asimismo, en la guía de aplicación de la RSE en el sector químico y ciencias de la vida [77] establece una serie de directrices para las empresas que quieran mejorar su RSE, como destinar partidas presupuestarias específicas a los vertidos de agua, gestión de su consumo, indicadores específicos: volumen de agua consumida (m³) por tonelada producida, número de toneladas emitidas de DQO, metales pesados, nitrógeno y fósforo por unidad producida, descripción de proyectos de recuperación de aguas subterráneas y prevención en cuanto a emisión de aguas residuales.

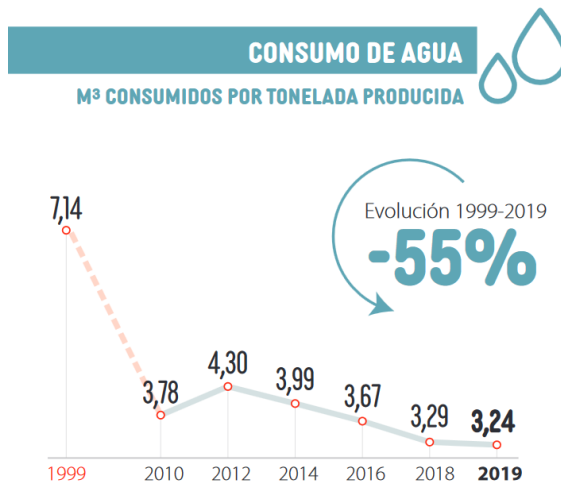


Figura 15. Evolución del consumo de agua en el conjunto de la industria química española

Hay empresas del sector de gases industriales como **AIR LIQUIDE** [78] que contribuyen activamente a mejorar el tratamiento de aguas que producen gases industriales como oxígeno, dióxido de carbono y ozono, que permiten aumentar la capacidad de tratamiento biológico de plantas ya existentes, sustituir los ácidos fuertes para la disminución del pH y eliminar componentes no biodegradables y microcontaminantes de las aguas residuales. **CARBUROS METÁLICOS** [79], con el 22% de sus instalaciones en zonas afectadas por estrés hídrico, ha conseguido en 2020 una reducción de hasta el 26% del consumo de agua desde 2015 mediante una optimización de sus torres de refrigeración, lo que en América del Norte ha supuesto un ahorro de hasta 757 millones de litros de agua. **NIPPON GASES** [80], cuyo mayor consumo de agua (86%) se centra en la refrigeración de las unidades de separación de aire, ha conseguido desde 2020 reducir un 5% su consumo global de agua (15% en zonas de estrés hídrico extremo).

En **BAYER** utilizan la Biocolumna® que inventaron para la depuración biológica de aguas residuales tanto en sus instalaciones como en administraciones locales y otras empresas [81].

En el Centro de Servicio Técnico y Desarrollo de **DOW** Industrial Solutions [82] están centrados en la aplicación de tratamiento de aguas, mediante un laboratorio y una planta piloto de ósmosis inversa que evalúa el rendimiento de sus tratamientos químicos diseñados para reducir incrustaciones en las membranas y alargar su rendimiento. **DUPONT** [83] constituye un referente en ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa, resinas de intercambio iónico y electrodesionización. Sus últimos avances incluyen ósmosis inversa de circuito cerrado, biorreactores de membrana, reactores de biopelícula aireados con membrana y desgasificadores de membrana.

A pesar de los requisitos cada vez más estrictos de *Carbon Disclosure Project* (CDP), **BASF** ha sido reconocida como una de las empresas líderes en gestión de agua y protección de los bosques y el clima. Hasta 2030 estará introduciendo la gestión sostenible del agua en todos sus centros de producción. En cuanto a consumos de agua (utilizada como refrigerante, disolvente, agente de limpieza y como materia prima) debido a los incrementos en su producción, ha aumentado ligeramente su consumo en 2021 hasta 1,7 millones de m³ (1,5 en 2020), con incrementos del casi 50% en agua utilizada para producción (0,61 millones de m³) y 62,5% en refrigeración (52 millones de m³). El consumo de vapor (131 455 t) supuso un aumento de 5,5% respecto a 2020 [84].

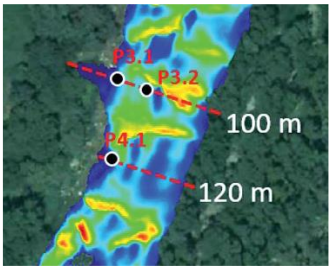
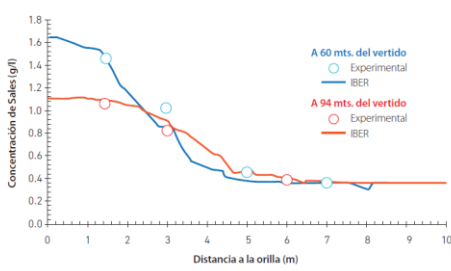
REPSOL [85] capta la mayoría del agua utilizada agua del océano (84%), con sólo un 0,7% del agua dulce total captada procedente de regiones con niveles de estrés alto o extremadamente alto. Además del uso mayoritario en refrigeración, se necesita para producción de vapor, incorporación a procesos industriales y actividades de perforación. En lo que respecta al vertido, el destino principal es el océano (94%), aguas superficiales (4%) y envío a terceros para tratamiento (2%). En 2021 se regeneraron y reutilizaron a nivel interno 17,6 millones de m³, un 25% del total que entra a las operaciones. Desde 2013, utiliza la herramienta de desarrollo propio Repsol Water Tool.



CEPSA se ha fijado el objetivo de reducir en un 20% la captación de agua dulce en zonas de estrés hídrico en 2025, respecto a 2019, lo supondrá un ahorro de más de 3 millones de m³ de agua dulce al año. Además, está llevando a cabo una serie de acciones [86] para conseguir ahorros de agua importantes, como mejores surfactantes (30% menos de agua en lavados) o detergentes en formato “pod” (75% menos de agua que los detergentes líquidos), reciclado de hasta el 85% del agua de lavado de vehículos en sus estaciones de servicio, o 20% de ahorro en la refinería de Gibraltar-San Roque mediante ultrafiltración combinada con ósmosis inversa.

Como ejemplo de aprovechamiento eficaz del agua cabe destacar una instalación pionera instalada en el Camp de Tarragona, zona donde se concentran algunas de las empresas químicas más importantes de España. Según la Asociación Empresarial Química de Tarragona [87] el consumo de agua de las empresas de sus socios en los últimos 10 años se ha mantenido relativamente estable (desde 27,4 hm³ en 2013 hasta 34,98 hm³ en 2017). Sin embargo, desde 2013 ha habido un aumento continuado en el consumo de agua regenerada (desde 1,2 hasta 5,89 hm³ en 2021) gracias a la instalación de la **estación regeneradora de agua** (ERA) del Camp de Tarragona [88]. La instalación consta de un proceso de regeneración básico, además de una regeneración avanzada basada en desmineralización con membranas de ósmosis inversa de doble paso [89].

El agua allí regenerada satisface los límites establecidos para uso industrial en las categorías “Calidad 3.1” (aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria, otros usos industriales y aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria), y “Calidad 3.2” (torres de refrigeración y condensadores evaporativos), según el Real Decreto 1620/2007 [90].

CASOS DE ÉXITO

NOMBRE de la solución tecnológica	PIVER (SISTEMA DE PREDICCIÓN DEL IMPACTO DE LOS VERTIDOS EN LOS CAUCES FLUVIALES)																																																													
SECTOR DE APLICACIÓN	Vertidos de industria química de plástico, Zaragoza																																																													
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	La zona de mezcla se define como el volumen de agua en el que se logra la disolución homogénea del vertido por procesos hidrodinámicos. En estas zonas las concentraciones de contaminante todavía no se han diluido, y pueden exceder los estándares de calidad ambiental del agua (ECA). PIVER ha desarrollado una tecnología que permite valorar el impacto de un vertido al cauce, este conocimiento permite desarrollar un sistema de control que tenga en cuenta la estacionalidad del cauce y poder adaptar los sistemas para enfrentar el estrés hídrico futuro.																																																													
DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS	Los datos experimentales presentan una buena concordancia con los obtenidos a través de las simulaciones. Al comparar los valores de conductividad, temperatura, color, cloruros y sulfatos se ha observado que todos los contaminantes se comportan como sustancias transportadas. Esto facilita extrapolar su comportamiento. Los cauces varían significativamente de forma estacional, lo que puede aumentar la zona de mezcla hasta 200 metros. Esto aumenta la afección que tiene el vertido en esas zonas y podría incluso llegar a alcanzar puntos de abastecimiento. Las posibles acciones para minimizar este impacto han sido valoradas también mediante simulaciones, pronosticando una mejora significativa al aumentar el número de puntos de vertidos transversalmente.																																																													
MATERIAL GRÁFICO	 <p>Mapa de un río con puntos de vertido P3.1, P3.2 y P4.1, y zonas de mezcla de 100 m y 120 m.</p>	 <p>Gráfico de líneas que muestra la concentración de sales (g/l) versus la distancia a la orilla (m) para dos puntos de vertido: 60 mts. del vertido y 94 mts. del vertido. Se comparan los datos experimentales con los simulados por IBER.</p> <table border="1"> <caption>Concentración de Sales (g/l) vs Distancia a la orilla (m)</caption> <thead> <tr> <th>Distancia a la orilla (m)</th> <th>60 mts. del vertido - Experimental (g/l)</th> <th>60 mts. del vertido - IBER (g/l)</th> <th>94 mts. del vertido - Experimental (g/l)</th> <th>94 mts. del vertido - IBER (g/l)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1.4</td><td>1.4</td><td>1.1</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.0</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.1</td><td>1.1</td><td>0.9</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.8</td><td>0.8</td><td>0.7</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.5</td><td>0.5</td><td>0.5</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </tbody> </table>	Distancia a la orilla (m)	60 mts. del vertido - Experimental (g/l)	60 mts. del vertido - IBER (g/l)	94 mts. del vertido - Experimental (g/l)	94 mts. del vertido - IBER (g/l)	0	1.4	1.4	1.1	1.1	1	1.3	1.3	1.0	1.0	2	1.1	1.1	0.9	0.9	3	0.8	0.8	0.7	0.7	4	0.5	0.5	0.5	0.5	5	0.3	0.3	0.3	0.3	6	0.2	0.2	0.2	0.2	7	0.2	0.2	0.2	0.2	8	0.2	0.2	0.2	0.2	9	0.2	0.2	0.2	0.2	10	0.2	0.2	0.2	0.2
Distancia a la orilla (m)	60 mts. del vertido - Experimental (g/l)	60 mts. del vertido - IBER (g/l)	94 mts. del vertido - Experimental (g/l)	94 mts. del vertido - IBER (g/l)																																																										
0	1.4	1.4	1.1	1.1																																																										
1	1.3	1.3	1.0	1.0																																																										
2	1.1	1.1	0.9	0.9																																																										
3	0.8	0.8	0.7	0.7																																																										
4	0.5	0.5	0.5	0.5																																																										
5	0.3	0.3	0.3	0.3																																																										
6	0.2	0.2	0.2	0.2																																																										
7	0.2	0.2	0.2	0.2																																																										
8	0.2	0.2	0.2	0.2																																																										
9	0.2	0.2	0.2	0.2																																																										
10	0.2	0.2	0.2	0.2																																																										
DATOS DE CONTACTO PARA MÁS INFORMACIÓN	Control7: www.control7.es FACSA: info@facsa.com IDEYA: www.ideyared.es																																																													

NOMBRE de la solución tecnológica	Estación regeneradora de agua (ERA) del Camp de Tarragona	
SECTOR DE APLICACIÓN	Empresas del “Polo Químico” de Tarragona	
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	<p>La provincia de Tarragona, con importante actividad turística e industrial ha sufrido históricamente problemas de escasez de agua. El trasvase del Ebro en 1989 no resulta suficiente para un aumento continuo de la demanda. En 2012, Veolia pone en funcionamiento un proyecto pionero en Europa impulsado por la Agencia Catalana del Agua, la Asociación de Empresas Químicas de Tarragona y Aguas Industriales de Tarragona. El proyecto consiste en aprovechar una nueva fuente de suministro, consistente en reutilizar las aguas residuales depuradas de dos EDAR urbanas (Vila-Seca-Salou y Tarragona) para abastecer de agua al principal consumidor: las empresas del Polo Químico de Tarragona.</p>	
DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS	<p>Un pretratamiento inicial en tres etapas: tratamiento físico-químico (1250 m³/h), filtración con microtamices (9375 m³/h) y filtración en doble etapa (gravedad, 1182 m³/h + presión, 1062 m³/h) va seguido de ósmosis inversa, con dos líneas de doble paso y tres etapas por paso, con una conversión del 75% en el primer paso y 95% en el segundo. Su capacidad de producción es de 788 m³/h y el agua de salida tiene turbidez menor a 0,2 NTU, conductividad entre 10-20 µS/cm, sólidos en suspensión menor de 2 mg/L y amonio inferior a 0,1 mg/L. Finalmente, se desinfecta mediante luz UV e hipoclorito de sodio.</p> <p>La capacidad de regeneración de agua instalada es de 6,9 hm³/año</p>	
MATERIAL GRÁFICO		
		
DATOS DE CONTACTO PARA MÁS INFORMACIÓN	<p>Veolia Water Technologies Pol. Industrial Santa Ana. C/ Electrodo, 52 28522 Rivas Vaciamadrid - Madrid Tel: 91 660 40 00 https://www.veoliawatertechnologies.es/casos-estudio/estacion-regeneradora-agua-camp-tarragona</p>	

NOMBRE de la solución tecnológica	<p>J. HUESA - Sistema de desgasificación para multinacional líder en la fabricación de productos químicos que utiliza agua ultrapura en el proceso de elaboración</p>
SECTOR DE APLICACIÓN	<p>Producción de agua ultra pura en la industria química</p>
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	<p>El agua desmineralizada requerida en el proceso de fabricación se obtiene a través de una planta de tratamiento de agua con dos líneas de producción provistas de un equipo de ultrafiltración seguida de una ósmosis inversa y de un equipo de electrodesionización (EDI). El objetivo era reducir el consumo de agua con una solución respetuosa con el medio ambiente. El elevado contenido de CO₂ (que supone una acidificación del agua y un aumento de su conductividad) en el rechazo de la EDI impedía la introducción directa en la etapa de ósmosis inversa.</p> <p>Para solucionarlo, se instaló una planta de desgasificación en formato “contenerizado” para reutilizar los rechazos de la EDI, almacenándolos en un depósito de agua ultrafiltrada situado a la entrada de la ósmosis inversa.</p>
DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS	<p>La planta instalada permitió eliminar el 90% del contenido de CO₂ del agua de rechazo del sistema EDI, con la instalación de un depósito de acumulación de agua bruta de 6 m³ y aprovechando el tanque de agua ultrafiltrada ya existente.</p> <p>Los métodos habituales de desgasificación consisten en procesos atmosféricos, térmicos o químicos. También puede hacerse mediante el uso de membranas hidrófobas que evitan el uso de productos químicos. En esta ocasión se instalaron “contactores de membrana”, que ofrecen un método limpio y eficiente en la eliminación de CO₂, ya que la porosidad de 0,3 μm impide el contacto directo entre aire y agua, eliminando la posibilidad de introducir contaminantes al agua ya tratada mediante la ósmosis inversa. Como resultado, se obtuvo un sistema con capacidad de producción de 11,4 m³/hora</p>
MATERIAL GRÁFICO	
DATOS DE CONTACTO PARA MÁS INFORMACIÓN	<p>J. Huesa Water Technology Polígono Industrial PIBO, Av. de Valencina, 25, 41110 Bollullos de la Mitación - Sevilla Tel: 955 600 808 jhuesa@jhuesa.com https://jhuesa.com/sistema-de-desgasificacion-para-la-produccion-de-agua-ultra-pura-en-la-industria-quimica</p>

El sector de la industria metalúrgica

La industria metalúrgica hace del agua un elemento indispensable para procesos esenciales en la producción; ejemplo de ello son la refrigeración y el lavado de grasas. Además, una circunstancia especial que apremia la necesidad de una correcta gestión del agua en el sector es que, habitualmente este tipo de industrias se encuentran en lugares acuciados por el estrés hídrico [91].

La industria del metal constituye un pilar económico primordial en el tejido empresarial español. No solo por el peso que tiene de forma directa, sino porque es un sector del que, a su vez, dependen muchos otros ámbitos de la industria. De hecho, según el Mapa Sectorial del Metal elaborado por la patronal Confemetal, supone hasta el 8% en el PIB español [92].

Según los datos que proporciona Eurostat, en 2020 en España la industria de manufactura de metales representaba un valor de producción de más de 23 000 millones de euros, más de 1200 empresas dedicadas y casi 59 000 empleos directos siendo uno de los sectores industriales más consolidados a nivel nacional [93].

La industria metalúrgica tiene un peso fundamental en Cataluña, con una cifra de negocio de más de 4000 millones de euros y casi 300 empresas dedicadas, seguida por Andalucía, la Comunidad Valenciana, la Comunidad de Madrid y el País Vasco. En el sector concreto de la fabricación de tubos y tuberías de acero y hierro en concreto, la cifra de negocio en Cataluña supera los 1500 millones de euros, con más de un centenar de empresas dedicadas. Los sectores a los que abastece la industria del metal en España son, especialmente, el de la automoción, el aeronáutico, el naval, el ferroviario, la máquina herramienta y los moldes y matrices, pero muy en especial está centrada en el sector de la automoción [94].

La evolución de la producción en la industria metalúrgica es similar en España y en la UE, con un descenso más acusado en el caso nacional en el periodo 2010-2013, pero también, con una recuperación a partir de ese año que consigue un índice 2018 de 2,7 puntos porcentuales superior al 2010, siendo algo inferior al alcanzado en la UE (3,7 puntos porcentuales) [95].

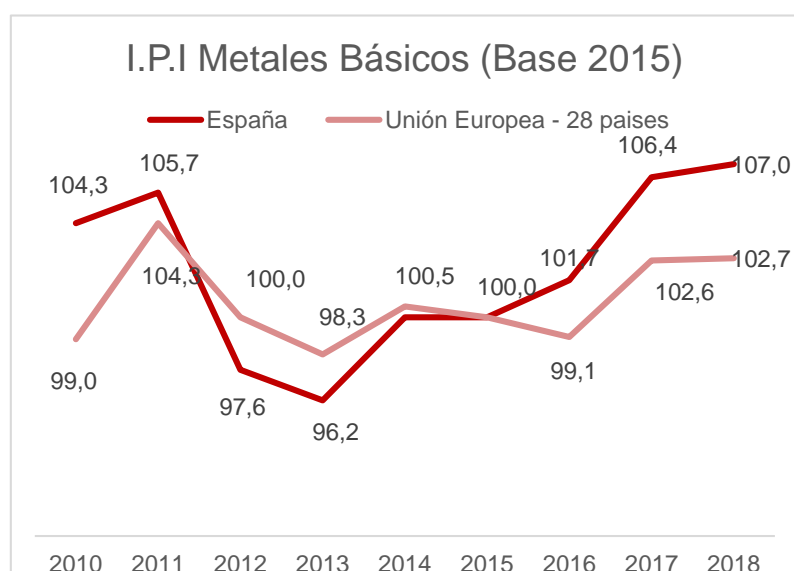


Figura 16. Evolución de la industria metalúrgica en España

El sector de metales básicos se desglosa en cinco subsectores, todos con importancia relativa en la evolución conjunta al estar la cuota de empleo repartida.

- Fabricación de productos a base de hierro, acero y ferroaleaciones (CNAE 241). Con una cuota empleo del 39% de los empleados, destaca como el subsector más consolidado en el sector metalúrgico.
- Fundición de metales (CNAE 245), con una cuota, en 2018, del 19% de los empleados.
- Fabricación de tubos, tuberías, perfiles huecos y sus accesorios de acero (CNAE 242). Presenta una cuota del 18% de los empleados.
- Producción de metales preciosos y de otros metales no férreos (CNAE 244), con una cuota de empleo que supone el 15% de los empleados.
- Fabricación de otros productos de primera transformación del acero (CNAE 243).

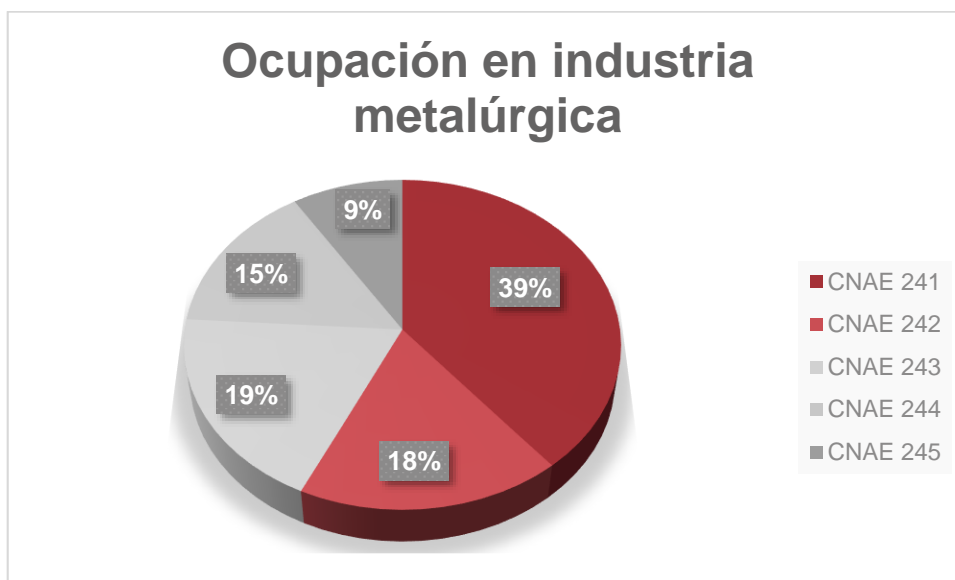


Figura 17. Ocupación en la industria metalúrgica

ANÁLISIS DE LÍNEAS DE AGUA

El agua se utiliza en todas las etapas de una planta metalúrgica y para prácticamente todas las funciones. Una planta metalúrgica no puede funcionar sin agua. Por ello, las plantas metalúrgicas se construyen normalmente cerca de amplias fuentes de agua dulce, para así garantizar la disponibilidad y la calidad del agua que necesita la planta metalúrgica. Sin embargo, hoy en día se presta mayor atención a la gestión de los recursos hídricos disponibles en el entorno de las plantas metalúrgicas, sobre todo en lo que respecta a la calidad y cantidad del agua y a su uso.

Una planta metalúrgica utiliza una gran cantidad de agua para la generación de vapor, la refrigeración, la transferencia de residuos, el control del polvo, etc. Los procesos de la planta no pueden tener lugar sin la disponibilidad de agua. Se necesita una enorme cantidad de agua

en cada etapa de la producción. Menos del 10% de esta agua se consume realmente y el resto suele devolverse al sistema [96].

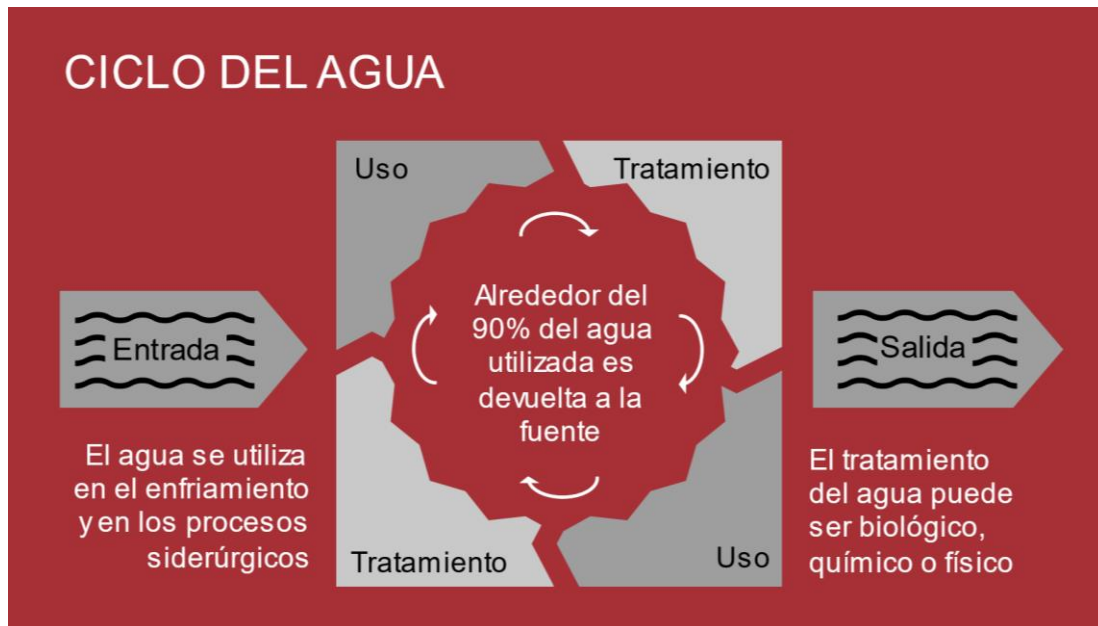


Figura 18. Ciclo del agua en la industria siderúrgica

Un estudio de los miembros de Worldsteel publicado en 2011 mostró que la entrada media de agua para una planta integrada era de $28,6 \text{ m}^3$ por tonelada de acero producida, con una descarga media de agua de $25,3 \text{ m}^3$. En el caso de la ruta de los hornos de arco eléctrico, la entrada media fue de $28,1 \text{ m}^3$ por tonelada de acero, con una descarga media de $26,5 \text{ m}^3$. Esto demuestra que el consumo global de agua por tonelada de acero producida es bajo, oscilando entre $1,6$ y $3,3 \text{ m}^3$. La mayor parte del agua se pierde por evaporación [97].

Varios factores hacen del agua un material versátil dentro de este sector. Puede transportar grandes cantidades de calor por unidad de volumen (alto calor específico). No se expande ni se comprime significativamente dentro de los rangos de temperatura ambiente. No se descompone. Puede disolver, arrastrar, suspender y posteriormente transportar otros materiales. Sin embargo, uno de los factores que hacía versátil al agua, su disponibilidad, se está viendo comprometido durante la actual crisis hídrica.

A pesar de la enorme importancia del agua en las plantas metalúrgicas, la forma de utilizar el agua no está estandarizada, al igual que los procesos de producción de acero, y no existe una estrategia o tecnología "única" para utilizar el agua en cada contexto particular. Hay una serie de aspectos relacionados con el agua y las tecnologías relacionadas con el agua que son importantes para una planta metalúrgica. A continuación, se detallan la importancia del uso del agua en una planta siderúrgica (Figura 19):

- El agua es un medio para la transferencia de calor y, por tanto, está relacionada con la eficiencia energética.
- Importancia del abastecimiento de agua, en términos de calidad y cantidad.
- Tratamiento del agua, su reciclaje y sistemas de recirculación.

- Costes relacionados con el agua.
- La calidad del agua depende del proceso en el que se utiliza.
- Las tendencias de vertido de efluentes del agua (demanda química de oxígeno, sólidos en suspensión, demanda biológica de oxígeno, etc.) están evolucionando hacia normas más exigentes.
- Las necesidades de ablandamiento del agua deben optimizarse proceso por proceso.



Figura 19. Importancia del uso del agua en una planta siderúrgica

Para los procesos y enfriamientos generalmente se suele hacer uso de agua dulce, mientras que para los sistemas de enfriamiento de ciclo único después del pretratamiento se hace uso del agua de mar, si está disponible.

No obstante, la mayor parte de los procesos industriales utilizan el agua de una manera u otra, y, una vez utilizada, debe ser tratada antes de ser vertida, independientemente de que vaya a ser devuelta al medio natural o a la red de saneamiento.

El agua es un recurso natural que no debe ser malgastado, y por eso las industrias metalúrgicas han optado por una alternativa: tratamientos del agua residual.

Muchas plantas metalúrgicas necesitan de manera urgente una tecnología actualizada de tratamiento de agua. Los modos de tratamiento heredados no pueden remediar

completamente el agua para su recuperación, pero las técnicas más nuevas como la separación de membrana son muy prometedoras.

Las corrientes de desechos típicas de la industria del acero contienen compuestos peligrosos como hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), cianuro, amoníaco, tiocianato, fenoles y cresoles y compuestos orgánicos complejos: benceno, tolueno, etilbenceno, xileno (BTEX). Estos compuestos presentan desafíos para el tratamiento.

Las etapas de tratamiento pueden incluir muchas tecnologías diferentes. La separación física, que podría incluir la sedimentación por gravedad, el cribado y la eliminación de aceite, se usan comúnmente en las etapas primarias, pero la tecnología de membrana también es ahora una buena alternativa a la separación tradicional. La coagulación-floculación es comúnmente utilizada. Luego, los procesos de oxidación avanzados (AOP) se usan comúnmente para la desinfección y la reducción de sólidos disueltos totales (TDS). Estos incluyen la fotólisis ultravioleta, la oxidación con peróxido de hidrógeno, la oxidación de foto-Fenton, la oxidación electroquímica y la ozonización.

Los AOP a veces se pueden usar para eliminar compuestos tóxicos como los hidrocarburos poliaromáticos (PAH). Sin embargo, para la eliminación de algunos contaminantes como el cianuro, también se utiliza la adsorción específica de fenol. Es también bastante común que las plantas metalúrgicas incluyan una etapa de lodo activado tradicional en el tratamiento terciario para reducir la carga del material orgánico.

RETOS DE CADA ACTIVIDAD

El agua es un elemento indispensable en los procesos de producción de la industria metalúrgica. Se necesita para el lavado de grasas, descalcificaciones o para procesos, enfriamiento y limpieza de polvo.

Como se ha comentado anteriormente, el gasto de agua frente a la cantidad que se extrae es muy baja, del orden del 10% cuando se utiliza agua dulce la cual se utiliza en los procesos de enfriamiento y otros tratamientos. El agua de mar se utiliza casi exclusivamente en operaciones de refrigeración y la pérdida durante estos procesos puede suponer menos del 1% del total debido a la evaporación. Aunque la captación es considerable, el agua se devuelve al mar sin ningún cambio en su calidad. Con la incertidumbre que genera la actual crisis hídrica y energética es necesario encontrar tecnologías o procedimientos que hagan esta industria más resiliente. A continuación, se muestran algunos retos o desafíos relacionados con el agua en el sector metalúrgico.

Vertido cero

En las zonas con escasez de agua dulce, es cada vez más habitual introducir políticas de “vertido cero” para las plantas industriales [97]. El objetivo es reducir el uso fomentando la recirculación. Para poder reutilizar el agua, es necesario enfriarla y desalinizarla, ya que una mayor concentración de sal en los sistemas de circulación de agua (debido a la evaporación) puede afectar a equipos vitales, por ejemplo, en los trenes de laminación que se utilizan en la industria metalúrgica para reducir el espesor de una lámina de metal. Se necesita una

cantidad importante de energía para cristalizar la sal sólida de las salmueras, que son un coproducto del proceso de desalinización. Además, la sal que se crea en el proceso suele ser de mala calidad y rara vez puede utilizarse. Procesar la sal hasta alcanzar niveles de pureza aceptables suele ser demasiado caro. Por tanto, estas sales son muy problemáticas. Por lo general, tienen que ser depositadas en vertederos con un coste muy elevado. Además, son difíciles de gestionar en un vertedero, ya que influyen considerablemente en la calidad del lixiviado. El aumento del reciclaje también puede provocar un mayor consumo de agua debido a la mayor evaporación.

Diferencias entre plantas Brownfield y Greenfield

En el ámbito de la construcción o ingeniería industrial existen los conceptos de proyectos “*Greenfield*” y proyectos “*Brownfield*” [98], los cuales se definirían como:

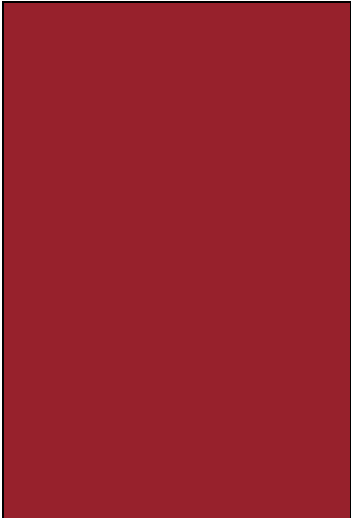
- **Proyectos “*Greenfield*”**, son aquellos proyectos nuevos que parten de cero con respecto al terreno y recursos, donde se construirá y montará una nueva planta de procesos, teniendo que realizar todos los permisos ambientales y sectoriales.
- **Proyectos “*Brownfield*”**, son aquellos proyectos de reposición, expansión o ampliación adosada y re-potenciamiento o aumentos de capacidad productiva en plantas de procesos antiguas que fueron creadas antes de tener en cuenta el aprovechamiento de recursos.

Las plantas metalúrgicas tienen una larga vida útil, por lo que es habitual que sus configuraciones cambien a lo largo de los años para adaptarse a las nuevas circunstancias. Las plantas más antiguas no son comparables con emplazamientos nuevos en los que las consideraciones sobre el consumo de agua se tuvieron en cuenta durante la fase de diseño y están diseñadas para un uso óptimo de los recursos. La posibilidad de modificar aún más estos emplazamientos suele ser limitada debido a las restricciones de espacio y a las interdependencias de agua existentes entre los procesos. Estas limitaciones deben tenerse en cuenta a la hora de evaluar la gestión del agua de un emplazamiento. Por tanto, aunque adaptar las plantas más antiguas para que resulten más eficientes y resilientes frente al gasto de agua, es muy importante la viabilidad de estas adaptaciones pueden suponer un gran reto en sí mismo.

CASOS DE ÉXITO

NOMBRE de la solución tecnológica	ReWaCEM DEMO B: Metal Plating
SECTOR DE APLICACIÓN	ELECTRONIQUEL – Gijón, España
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	<p>El proyecto afronta el reto de la industria metalúrgica de cobre. La industria siderúrgica utiliza grandes cantidades de fluidos de proceso ácidos, de los cuales las mezclas de agua-ácido residual-sal metálica deben eliminarse con frecuencia para mantener la calidad del baño de mezcla. El proyecto ReWaCEM tiene como objetivo reducir el uso de agua, la producción de aguas residuales, el uso de energía, la recuperación de recursos metálicos valiosos y la minimización de la huella hídrica.</p>
DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS	<p>Principales indicadores de rendimiento Flujos de aguas residuales: 4800 m³ de agua; 50 toneladas/año de residuos para su eliminación.</p> <p>La proporción del flujo de sulfato de cobre residual cubierto con el sistema Demo en comparación con el total de la solución ácida residual es: 300%.</p> <p>Ventajas de la tecnología ReWaCEM Enfoque de economía circular: no hay residuos; recuperación de materiales valiosos; reducción de los costes de explotación; reducción de la contaminación ambiental (menos transporte); aumento de la productividad de la planta; reducción de los costes laborales de los operarios; aumento de los beneficios de la empresa. Los modelos validados se utilizarán para el análisis y la planificación de futuros escenarios.</p> <p>Resultados: Ahorro anual de costes de aproximadamente el 14% de los gastos actuales en energía, agua y productos químicos. Recuperación del 78% del ácido y del 75% del cobre del flujo de sulfato de cobre residual cubierto con el sistema de demostración.</p>
MATERIAL GRÁFICO	
DATOS DE CONTACTO PARA MÁS INFORMACIÓN	Electroniquel: www.electroniquel.es Fraunhofer ISE: www.ise.fraunhofer.de Universidad de Almería: www.ual.es

NOMBRE de la solución tecnológica	Sofi Filter
SECTOR DE APLICACIÓN	Industria metalúrgica en Finlandia
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	<p>En general, la filtración por membrana se realiza en modo de flujo cruzado. En los sistemas sin salida, el mayor problema es el bajo caudal de filtración, la concentración de sólidos y el ensuciamiento. En consecuencia, la membrana debe limpiarse o sustituirse con frecuencia. En la filtración con membranas de flujo cruzado, se produce el efecto de cizallamiento, es decir, la alimentación fluye tangencialmente a lo largo de la membrana. Esto reduce la acumulación de posibles capas de suciedad en la membrana y reduce la concentración, la polarización, la adsorción y la formación de capas de torta. El proyecto de desarrollo del Sofi Filter ha consistido en combinar los retos de la microfiltración con la experiencia de los especialistas en filtración.</p> <p>La industria minera, de procesamiento de minerales y metalúrgica tienen unas condiciones de agua de proceso difíciles y las corrientes suelen ser grandes y contener partículas finas. Este tipo de aguas son difíciles de tratar con métodos tradicionales, como la decantación, porque las partículas finas no se depositan por gravedad de forma eficiente. Por lo tanto, un método de filtración de gran capacidad y de tamaño reducido es crucial para aumentar la tasa de recirculación de agua en una planta, así como las ventajas de disponer de agua limpia para el proceso.</p>
DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS	<p>La tecnología de Sofi Filter se ha puesto a prueba en tres estudios de aplicación en plantas hidrometalúrgicas. Todos los casos son de 2012 en Finlandia. Este equipo cuenta con las siguientes ventajas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eliminación de partículas sólidas muy finas de hasta 0,3 µm. • Función de limpieza por ultrasonidos y contraimpulso de aire que evita la obstrucción y el ensuciamiento del elemento filtrante. • Capacidad de cambiar automáticamente las tasas de recirculación y los ciclos de limpieza para manejar el agua de alimentación variable. • Bien equipado con funciones de IoT para la supervisión y el control remotos • Tecnología escalable con una huella pequeña y bajos costes de funcionamiento <p>Los usos de Sofi Filter en la industria minera y metalúrgica son numerosos. Sofi Filter permite una alta tasa de reciclaje de agua y proporciona agua clara para el proceso.</p>
MATERIAL GRÁFICO	 <p>El diagrama muestra un proceso de filtración en tres etapas. Primero, el agua de alimentación (FEED) entra en un clarificador (CLARIFIER) que separa los sólidos (SOLIDS) del agua. El agua que sale del clarificador pasa a un filtro Sofi Filter (SOFI FILTER # 150µm). El filtro produce agua clara (CLEAR WATER) y un concentrado (CONCENTRATE) que se devuelve al clarificador. El diagrama también incluye fotografías de los equipos físicos: un tanque cilíndrico y el filtro Sofi Filter.</p>



DATOS DE CONTACTO PARA
MÁS INFORMACIÓN

Sofi Filtration: www.sofifiltration.com
Aalto University: www.aalto.fi/en

PROYECTOS A FUTURO

NOMBRE de la solución tecnológica	LIFE REMINE-WATER
SECTOR DE APLICACIÓN (si se ha aplicado en un municipio, por favor, indicar su nombre)	Industria minera. Minas Aguas Teñidas (Huelva, España)
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	<p>La minería y las canteras producen el 7% de todas las aguas residuales que se vierten en la UE. El sector depende de un abundante suministro de agua para separar los minerales y metales de las rocas y transportar las materias primas a los lugares de procesamiento.</p> <p>El objetivo del proyecto REMINE-WATER es conservar los recursos hídricos y proteger los entornos naturales de la sal que se vierte en las salmueras industriales. Un nuevo conjunto de tecnologías de tratamiento del agua purificará los efluentes salinos de las operaciones mineras y metalúrgicas. Una nueva tecnología conocida como ósmosis inversa de ultra alta presión reducirá notablemente los gases de efecto invernadero emitidos por las actuales técnicas de tratamiento de aguas residuales</p>
DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS	<p>Las tecnologías desarrolladas en el proyecto eliminarán la sal de las salmueras industriales y también extraerán ácidos y metales, ofreciendo una segunda vida a las salmueras, apoyando la estrategia de economía circular de la UE y la hoja de ruta hacia una Europa eficiente en recursos.</p> <p>Resultados previstos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reutilizar el agua recuperada para reducir el consumo de agua de las operaciones mineras y metalúrgicas en un 15%; • Recuperar el 90% del agua vertida en las operaciones mineras y metalúrgicas a partir de concentrados de ósmosis inversa; • Reducir la salinidad de los efluentes vertidos por la industria minera y metalúrgica en un 50%; • Reducir los gastos de explotación de la tecnología de ósmosis inversa de ultra alta presión en un 50% en comparación con las tecnologías convencionales de tratamiento de salmueras; • Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de los procesos de tratamiento térmico de salmueras en un 70%, (al equivalente de 10 kg de CO₂/m³ de salmuera tratada); • Recuperar minerales, ácido sulfúrico y metales (especialmente cobre y zinc) de los flujos de proceso en la industria minera y metalúrgica.
DATOS DE CONTACTO PARA MÁS INFORMACIÓN	<p>Cetaqua: www.cetaqua.com/contacto/ MATSa: dpto.comunicacion@matsamining.com IMN: www.imn.gliwice.pl/index/en NewHeat: contact@newheat.com</p>

Conclusiones

La sociedad es cada año más consciente de la realidad que supone el cambio climático y sus efectos, provocando eventos climáticos extremos como sequías e inundaciones. La situación es cada vez más extrema, con los expertos afirmando que la actual es la peor sequía de los últimos 500 años. Debido a esto, cada vez es más relevante la importancia de la resiliencia del agua, no solo para recuperarse de los factores de estrés, sino también tener la capacidad de adaptar los sistemas para enfrentar el estrés futuro. Esto es especialmente importante en las actividades industriales intensivas en el uso de recursos, ya que los efectos de eventos climáticos extremos pueden tener efectos muy negativos a nivel no solo económico sino también a nivel ecológico.

En este informe se han identificado y analizado los cuatro sectores industriales a nivel europeo y nacional que más presión ejercen sobre los recursos naturales del medio, sobre todo en los recursos hídricos. Los sectores identificados han sido el sector de industria agroalimentaria, el sector de producción de energía, el sector de industria química y el sector de industria metalúrgica. Del análisis de estos sectores respecto a la gestión y uso del agua se pueden sacar una serie de conclusiones.

La **industria agroalimentaria** es un sector comprometido con el uso eficiente de los recursos naturales, con el 70% de empresas estudiadas en el informe de AECOC contando con estrategias para reducir el consumo de agua y además estas compañías han reducido en un 20% la cantidad de agua utilizada. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos que la industria agroalimentaria lleva a cabo, el problema de la huella hídrica de los alimentos sigue existiendo, suponiendo el 70% de la huella hídrica mundial.

En la cuarta edición del seminario técnico internacional, organizado por AINIA en 2021, sobre gestión del agua en la industria se establecieron las tres claves para la gestión del agua: depuración y la reutilización del agua, reutilización de aguas de proceso y residuales, y la tecnología en la reutilización en la industria alimentaria.

Entre los retos más importantes a los que se enfrenta España, está la modernización de los sistemas de riego. Para alcanzarlos, se están ejecutando los objetivos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

La **industria de producción de energía**, al igual que el sector agroalimentario, es especialmente vulnerable a eventos climáticos extremos como sequías o inundaciones, ya que, aunque el consumo de agua en las plantas es reducido, el volumen de captación de agua es muy elevado. A pesar de ello, todavía existen muy pocas investigaciones aisladas sobre los usos del agua en el sector eléctrico en España.

Es necesario seguir trabajando en el análisis de la disponibilidad de agua en las diferentes cuencas hidrográficas españolas, en la evaluación de las descargas de agua de los sistemas de refrigeración de ciclo abierto y poder estudiar supuestos efectos negativos en los ecosistemas acuáticos o evaluar e intentar cuantificar las necesidades hídricas de las tecnologías renovables ya que suelen necesitar menos agua que los combustibles fósiles.

El sector de la **industria química** está muy comprometido con la gestión del agua. Se trata de un sector que ha estado trabajando activamente en la mejora de la gestión de recursos

hídricos. Un ejemplo concreto es el proyecto E4WATER en el que participaron seis empresas químicas de Europa y en el que se establecieron tres objetivos: reducir más de un 20% el uso de agua, reducir la cantidad de aguas residuales generadas en más un 30% y disminuir el consumo energético.

En el informe de Responsabilidad Social Empresarial (RSE) de la Federación Empresarial de la Industria Química Española (FEIQUE), que representa a más de 1500 empresas químicas españolas que en conjunto generan el 75% de la producción química en España se presenta una evolución decreciente en lo que a consumo de agua se refiere, con un importante descenso desde 1999 del 55% gracias a los esfuerzos que se están haciendo en el sector.

Por último, en el sector de la **industria metalúrgica** al igual que en el sector de producción de energía, el consumo de agua es bajo (~10%) frente a la cantidad de agua que se capta. Sin embargo, ante la actual escasez del agua es importante empezar a buscar soluciones para intentar reducir todavía más este consumo, reutilizando el agua e intentando alcanzar el “vertido cero”, este tipo de medidas sin embargo son más sencillas de implementar en nuevos proyectos metalúrgicos que en plantas metalúrgicas más antiguas en las que es más difícil adaptar los procesos industriales para hacerlos más eficientes en el uso del agua.

Como conclusión, es urgente adaptarse a la variabilidad e incertidumbre que está ocurriendo en el siglo XXI. La actual sequía y su coincidencia con olas de calor debe contextualizarse en la realidad del cambio climático y, en consecuencia, debe conducir a aumentar los esfuerzos realizados en estrategias de mitigación y de adaptación.

Si se pretende ser una sociedad resiliente respecto al sector del agua, se debe hacer una correcta gestión de estas situaciones multirriesgo, con mayor prevención y preparación de todos los sistemas de alerta y emergencia, intentar reducir la huella hídrica lo máximo posible tanto a nivel de consumidor como a nivel industrial y agrícola y que el uso del agua esté enfocado a nivel integral en todos los procesos en los que participa la actividad humana.

Consejos para mejorar la resiliencia de las actividades industriales

El cambio climático y sus efectos son cada vez más evidentes, con cambio en los patrones de lluvias que provocan eventos extremos de sequías e inundaciones. Los recursos naturales cada año son más escasos y la disponibilidad de estos es cada vez más imprevisible. A partir del estudio realizado en este informe, se presentan una serie de consejos para mejorar la resiliencia respecto a la gestión del agua en el sector industrial:

1. **Mejorar la reutilización del agua** dentro de la actividad industrial, para lo que resulta necesario optimizar los consumos de los procesos, eliminando las pérdidas o reutilizando caudales. Reducir el consumo total de agua con el objetivo de limitar el volumen de captación del medio y reducir el estrés hídrico.
2. **Modernizar los procesos industriales** de modo que tengan en cuenta la gestión del agua y priorizar nuevos proyectos en los que las consideraciones sobre el consumo de agua se definieron durante la fase de origen y estén diseñados para un uso óptimo de los recursos.
3. **Aumentar la eficiencia:** Con una visión total del uso y del panorama medioambiental, se pueden abordar las áreas de la empresa que puedan ahorrar agua. Dar prioridad a las instalaciones situadas en zonas con problemas de agua. Maximizar la eficiencia energética y el uso de fuentes de energía renovables.
4. **Mejorar la investigación, el desarrollo y la innovación:** Apostar por la investigación en resiliencia y consumo de agua en todos los sectores y procesos industriales, ya que todavía existen actividades industriales que no han investigado suficiente esta problemática. Desarrollo de nuevas alternativas que garanticen una reutilización eficiente de las corrientes de proceso.
5. **Integrar la resiliencia como estrategia corporativa:** Considerar la gestión y el uso eficiente del agua como estrategia corporativa y tener en cuenta la resiliencia en cada aspecto de la institución para poder estar más preparados ante situaciones críticas.
6. **Promover la colaboración:** Unir fuerzas con otras partes interesadas en la misma zona de captación de agua aumentará de forma proactiva la resiliencia general en beneficio mutuo, siendo incluso posible la creación de asociaciones basadas en la captación de la cuenca hidrográfica.
7. **Planificación para emergencias:** Ante la actual situación global respecto a la escasez de agua, es necesario crear planes de respaldo, apoyados por un despliegue eficaz que sean capaces de remediar e incluso prevenir los efectos negativos derivados de eventos como sequías o inundaciones.

ANEXO. Entrevistas

Se ha recogido la opinión de cuatro expertos de las actividades industriales seleccionadas sobre materia de gestión del agua y energía en la industria. A partir de las respuestas proporcionadas por los entrevistados se han obtenido una serie de conclusiones respecto la gestión del agua en las industrias intensivas relativas a agua y energía.

Al preguntar que conceptos creen que están más relacionados con la resiliencia hídrica el concepto más seleccionado fue **gestión**, los siguientes más elegidos fueron **recuperación, estrés, economía, clima y actuaciones industriales**. Es importante mencionar que parece que el concepto de resiliencia está bien definido como un concepto integral en los sectores industriales entrevistados al elegir gestión y actuaciones industriales frente a otro tipo de actuaciones, teniendo claro la importancia del papel que tiene la industria frente a la gestión del agua.

Para la mayoría de los entrevistados se está dando **mucha importancia a la resiliencia** del agua, y es que cada vez somos más conscientes del estrés hídrico que estamos atravesando debido al cambio climático y lo necesario que es establecer medidas y planes de control para intentar remediar esta problemática. Además, la mayoría considera que el ámbito donde más se debe trabajar es la educación, en cualquier ámbito de la misma.

La mayoría de los entrevistados tuvieron que tomar medidas relacionadas con la resiliencia de forma **continuada**. Cada entrevistado respondió con distintas medidas todas ellas relacionadas con el aprovechamiento, control y reutilización de las líneas de agua para reducir el uso de agua en su sector.

Debido a lo anterior todos los entrevistados están de acuerdo en que la escasez del agua y el concepto de resiliencia debería incorporarse como una **estrategia corporativa** dentro de las empresas. Esto pone de manifiesto la importancia no solo ecológica, sino también económica dentro de las industrias intensivas en recursos naturales. Esto queda demostrado al comprobar que todos los entrevistados creen que un evento extremo de escasez de agua sería **extremadamente grave** y tendría graves consecuencias en su sector.

Todos los entrevistados coinciden en que de las cinco principales amenazas para los sistemas hídricos a nivel mundial la más severa en España sería el **deterioro de las aguas freáticas**. Esto ocurre cuando sustancias o partículas contaminantes permean o llegan a las aguas subterráneas, generalmente debido a actividades humanas.

Como conclusión, gracias a las respuestas de los entrevistados se puede conocer la importancia del concepto de resiliencia del agua y la gravedad que supondría un evento de escasez de agua para las industrias intensivas del agua, corroborando con los expertos los puntos tratados en este informe y obteniendo una visión del usuario final y del proveedor tecnológico.

Cuestionario 1 | José Ramón Natal, Metaindustry4

1. Desde su punto de vista, de los siguientes conceptos, ¿cuáles están relacionados con la resiliencia hídrica?

- Recuperación
- Estrés**
- Economía**
- Sociedad
- Medioambiente
- Clima
- Sequía
- Inundaciones
- Ecosistema
- Biodiversidad**
- Planificación**
- Estrategia**
- Calidad
- Gestión
- Actuaciones domiciliarias
- Actuaciones industriales
- Actuaciones comerciales
- Actuaciones gubernamentales
- Urbe
- Rural

2. En su organización empresarial/organismo público, ¿se le está dando la suficiente importancia a la resiliencia del agua? (1=Poco importante, 5=Extremadamente importante).

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5

3. Para lograr un aumento en la resiliencia del agua en qué ámbitos se debe trabajar Ordénelos de mayor a menor preferencia:

1. Educación (educación primaria y secundaria, formación profesional, universidad)
2. Organismos públicos
3. Medios de comunicación
4. Eventos sociales
5. Empresas

4. En su organización, ¿se han visto obligados a tomar medidas para incrementar la resiliencia en el uso del agua?

<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sí	No

5. En caso de responder afirmativamente a la pregunta anterior ¿De forma continuada o puntual?

<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Continuada	Puntual

6. ¿Podría, de una forma breve, enumerar las más relevantes o describir la más significativa?

No nos hemos visto obligados a tomar medidas.

7. ¿Cree que la escasez de agua se debería de tomar en cuenta como estrategia corporativa? (1=En desacuerdo, 5=Totalmente de acuerdo)

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5

8. ¿Cómo de grave sería para su organización un evento de escasez de agua? (1=Poco grave, 5=Extremadamente grave)

- 1 2 3 4 5

9. A nivel mundial, se han determinado las cinco principales amenazas para los sistemas hídricos. ¿Cuál considera que es la más severa en España?

- Contaminación por metales
- Desvío y transferencia de agua
- Deterioro de las aguas freáticas**
- Eutrofia
- Polución por plásticos

10. ¿Cuáles son los principales retos que identifica en su sector a la hora de enfrentarse a periodos de sequía o eventos de inundaciones?

Escasez de energía.

11. Por último, un consejo, una frase, desde su punto de vista profesional ¿Qué medidas deberían tomarse para hacer al sector del agua más resiliente?

Consensuar una planificación estratégica contando con todos los agentes de interés implicados, definiendo un diagnóstico, unos objetivos, unas líneas de acción, una consignación presupuestaria y unos indicadores para medir el avance. Es imprescindible llegar acuerdos, empezando por la aceptación del problema y el consenso en la búsqueda de una solución que habrá de ser a largo plazo.

Cuestionario 2 | Ernesto Luis Agorreta Fando, Repsol SA

1. Desde su punto de vista, de los siguientes conceptos, ¿cuáles están relacionados con la resiliencia hídrica?

■ **Recuperación**

Estrés

■ **Economía**

Sociedad

■ **Medioambiente**

Clima

Sequía

Inundaciones

Ecosistema

Biodiversidad

Planificación

Estrategia

Calidad

■ **Gestión**

Actuaciones domiciliarias

■ **Actuaciones industriales**

Actuaciones comerciales

Actuaciones gubernamentales

Urbe

Rural

2. En su organización empresarial/organismo público, ¿se le está dando la suficiente importancia a la resiliencia del agua? (1=Poco importante, 5=Extremadamente importante).

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5

3. Para lograr un aumento en la resiliencia del agua en qué ámbitos se debe trabajar Ordénelos de mayor a menor preferencia:

- Empresas
- Organismos públicos
- Educación (educación primaria y secundaria, formación profesional, universidad)
- Medios de comunicación
- Eventos sociales

4. En su organización, ¿se han visto obligados a tomar medidas para incrementar la resiliencia en el uso del agua?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sí	No

5. En caso de responder afirmativamente a la pregunta anterior ¿De forma continuada o puntual?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Continuada	Puntual

6. ¿Podría, de una forma breve, enumerar las más relevantes o describir la más significativa?

Aprovechamiento del agua de una EDAR de los municipios circundantes, con ahorro del 10% del total de agua captada. Elaboración de un plan a medio plazo para reaprovechar toda el agua residual, una vez tratada.

7. ¿Cree que la escasez de agua se debería de tomar en cuenta como estrategia corporativa? (1=En desacuerdo, 5=Totalmente de acuerdo)

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1	2	3	4	5

8. ¿Cómo de grave sería para su organización un evento de escasez de agua? (1=Poco grave, 5=Extremadamente grave)

- 1 2 3 4 5

9. A nivel mundial, se han determinado las cinco principales amenazas para los sistemas hídricos. ¿Cuál considera que es la más severa en España?

- Contaminación por metales
- Desvío y transferencia de agua
- Deterioro de las aguas freáticas**
- Eutrofia
- Polución por plásticos

10. ¿Cuáles son los principales retos que identifica en su sector a la hora de enfrentarse a periodos de sequía o eventos de inundaciones?

La correcta evaluación y actuaciones necesarias para dar salida a la escorrentía de aguas acumuladas en zonas recientemente asfaltadas o encementadas.

11. Por último, un consejo, una frase, desde su punto de vista profesional ¿Qué medidas deberían tomarse para hacer al sector del agua más resiliente?

Hay que disponer de Balances completos (incluyendo composición) de las corrientes de agua del Complejo Industrial con mediciones confiables y automáticas donde se caractericen diferenciadas las entradas, salidas, usos, pérdidas y reutilizaciones

Cuestionario 3 | Eudald Mas Ortas, Samtack Industrial Adhesives

1. Desde su punto de vista, de los siguientes conceptos, ¿cuáles están relacionados con la resiliencia hídrica?

Recuperación

■ **Estrés**

Economía

Sociedad

Medioambiente

■ **Clima**

■ **Sequía**

Inundaciones

Ecosistema

Biodiversidad

Planificación

Estrategia

Calidad

■ **Gestión**

Actuaciones domiciliarias

■ **Actuaciones industriales**

Actuaciones comerciales

Actuaciones gubernamentales

Urbe

Rural

2. En su organización empresarial/organismo público, ¿se le está dando la suficiente importancia a la resiliencia del agua? (1=Poco importante, 5=Extremadamente importante).

1 2 3 4 5

3. Para lograr un aumento en la resiliencia del agua en qué ámbitos se debe trabajar Ordénelos de mayor a menor preferencia:

- a. Educación (educación primaria y secundaria, formación profesional, universidad)
- b. Organismos públicos
- c. Empresas
- d. Medios de comunicación
- e. Eventos sociales

4. En su organización, ¿se han visto obligados a tomar medidas para incrementar la resiliencia en el uso del agua?

Sí No

5. En caso de responder afirmativamente a la pregunta anterior ¿De forma continuada o puntual?

Continuada Puntual

6. ¿Podría, de una forma breve, enumerar las más relevantes o describir la más significativa?

En Samtack hemos revisado todos los procesos de uso del agua para minimizar su consumo. Utilizamos el agua como componente de algunos adhesivos, este proceso se encuentra muy controlado y ajustado. Donde se puede perder por utilización indebida es en los procesos de limpieza de máquinas y de procesos, para ello tenemos contratado un servicio de limpieza externo en el que también utiliza agua de forma muy controlada y eficiente, esta agua sucia es recogida en cuba y se transporta al centro de gestión y depuración para su reutilización.

Otra medida que acordamos desde el inicio es inutilizar los desagües que existían dentro de fábrica para evitar fugas de vertidos fortuitos de aguas de limpieza.

También tenemos un circuito cerrado de agua para enfriamiento de procesos que mantenemos en buen estado a través de un mantenimiento externo de control. El agua de

este circuito cerrado se mantiene durante varios años sin problema y en condiciones sanitarias correctas hasta su gestión.

7. **¿Cree que la escasez de agua se debería de tomar en cuenta como estrategia corporativa? (1=En desacuerdo, 5=Totalmente de acuerdo)**

1 2 3 4 5

8. **¿Cómo de grave sería para su organización un evento de escasez de agua? (1=Poco grave, 5=Extremadamente grave)**

1 2 3 4 5

9. **A nivel mundial, se han determinado las cinco principales amenazas para los sistemas hídricos. ¿Cuál considera que es la más severa en España?**

- Contaminación por metales
- Desvío y transferencia de agua
- Deterioro de las aguas freáticas**
- Eutrofia
- Polución por plásticos

10. **¿Cuáles son los principales retos que identifica en su sector a la hora de enfrentarse a periodos de sequía o eventos de inundaciones?**

Mejorar la gestión de uso y evitar su malgasto.

11. **Por último, un consejo, una frase, desde su punto de vista profesional ¿Qué medidas deberían tomarse para hacer al sector del agua más resiliente?**

Incrementar reservas hídricas construyendo más pantanos y mejorar todas las canalizaciones para su uso racional.

Concienciar a la población y a la industria de que el agua es un bien escaso y que no podemos malbaratar.

Cuestionario 4 | Verónica Sevillano García, Bodegas Grupo Yllera

1. Desde su punto de vista, de los siguientes conceptos, ¿cuáles están relacionados con la resiliencia hídrica?

■ **Recuperación**

■ **Estrés**

Economía

Sociedad

Medioambiente

■ **Clima**

Sequía

Inundaciones

■ **Ecosistema**

Biodiversidad

Planificación

Estrategia

Calidad

■ **Gestión**

Actuaciones domiciliarias

Actuaciones industriales

Actuaciones comerciales

Actuaciones gubernamentales

Urbe

Rural

2. En su organización empresarial/organismo público, ¿se le está dando la suficiente importancia a la resiliencia del agua? (1=Poco importante, 5=Extremadamente importante).

1 2 3 4 5

3. Para lograr un aumento en la resiliencia del agua en qué ámbitos se debe trabajar Ordénelos de mayor a menor preferencia:

- a. Organismos públicos
- b. Empresas
- c. Educación (educación primaria y secundaria, formación profesional, universidad)
- d. Medios de comunicación
- e. Eventos sociales

4. En su organización, ¿se han visto obligados a tomar medidas para incrementar la resiliencia en el uso del agua?

Sí No

5. En caso de responder afirmativamente a la pregunta anterior ¿De forma continuada o puntual?

Continuada Puntual

6. ¿Podría, de una forma breve, enumerar las más relevantes o describir la más significativa?

Proyecto de digitalización y reutilización de las aguas

7. ¿Cree que la escasez de agua se debería de tomar en cuenta como estrategia corporativa? (1=En desacuerdo, 5=Totalmente de acuerdo)

1 2 3 4 5

8. ¿Cómo de grave sería para su organización un evento de escasez de agua? (1=Poco grave, 5=Extremadamente grave)

- 1 2 3 4 5

9. A nivel mundial, se han determinado las cinco principales amenazas para los sistemas hídricos. ¿Cuál considera que es la más severa en España?

- Contaminación por metales
- Desvío y transferencia de agua
- Deterioro de las aguas freáticas
- Eutrofia
- Polución por plásticos

10. ¿Cuáles son los principales retos que identifica en su sector a la hora de enfrentarse a periodos de sequía o eventos de inundaciones?

Uso razonable del agua en viticultura, la optimización de la aplicación de productos de protección de plantas, la biodiversidad funcional, la monitorización y vigilancia de enfermedades, la mejora genética y selección de variedades de vid resistentes a distintos factores del cambio climático, etc.

11. Por último, un consejo, una frase, desde su punto de vista profesional ¿Qué medidas deberían tomarse para hacer al sector del agua más resiliente?

Gestionar el agua de forma eficiente, establecer métodos para reducir el consumo, buscar técnicas de reutilización del agua. Concienciación.

Bibliografía

- [1] “Carbon Disclosure Project. High and Dry. How water issues are stranding assets,” 2022.
- [2] Water Europe, “The value of water,” 2020. [Online]. Available: https://watereurope.eu/wp-content/uploads/2020/04/WE-Water-Vision-english_online.pdf. [Accessed Noviembre 2022].
- [3] European Commission, “The Roadmap to a Resource Efficient Europe,” 2020. [Online]. [Accessed Noviembre 2022].
- [4] El Economista, “La peor sequía de Taiwan en 50 años es la última maldición para el suministro mundial de chips,” 2021. [Online]. Available: <https://www.eleconomista.es/economia/noticias/11267109/06/21/La-peor-sequia-en-50-anos-en-Taiwan-la-ultima-maldicion-para-el-suministro-mundial-de-chips.html>. [Accessed Noviembre 2022].
- [5] Global Water Forum, “Understanding resilience: Implications for the water sector,” 2012. [Online]. [Accessed Noviembre 2022].
- [6] N. C. Eloise Taysom, “Resilience in Sociotechnical Systems: The Perspectives of Multiple Stakeholders,” *She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation*, vol. 3, no. 3, pp. 165-182, 2017.
- [7] Grantham Research Institute on Climate Change and the environment, “What are stranded assets?,” 2022. [Online]. [Accessed Noviembre 2022].
- [8] Electrive, “Tesla secures water supply in Brandenburg,” 2022. [Online]. Available: <https://www.electrive.com/2022/03/17/tesla-secures-water-supply-in-brandenburg/>. [Accessed Noviembre 2022].
- [9] Better Society Network, “Water risks strand assets,” 2022. [Online]. Available: https://bettersociety.net/water-risk-stranded-assets.php?utm_source=jsrecent. [Accessed Noviembre 2022].
- [10] Waterscan, “Water Matters, Insight for the UK’s Public Sector,” 2021. [Online]. Available: <https://waterscan.com/content/uploads/Waterscan-Public-Sector-Report.pdf>. [Accessed Noviembre 2022].
- [11] UNECE, “Background Note on Increasing Resilience to Climate Change,” UNECE Publishing, Ginebra, 2022.
- [12] Aqueduct, “Aqueduct Water Risk Atlas,” 2019. [Online]. Available: <https://www.wri.org/aqueduct>. [Accessed Noviembre 2022].

- [13] European Commission, "Drought in Europe August 2022," JRC Publications, Luxembourg, 2022.
- [14] BBC, "Europe's drought the worst in 500 years - report," 2022. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/news>. [Accessed Noviembre 2022].
- [15] National Geographic España, "La sequía afecta a la crisis energética, y el 47% de Europa se encuentra en prealerta," Agosto 2022. [Online]. Available: https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/sequia-afecta-a-crisis-energetica-y-47-europa-se-encuentra-prealerta_18683. [Accessed Noviembre 2022].
- [16] European Environment Agency, "Water abstraction by source and economic sector in Europe," 2022. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/ims/water-abstraction-by-source-and>. [Accessed Noviembre 2022].
- [17] Agencia Europea de Medio Ambiente, "Consumo de agua en Europa: Grandes problemas de índole cuantitativa y cualitativa," 2018. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2018-el-agua-es-vida/articulos/consumo-de-agua-en-europa>. [Accessed Noviembre 2022].
- [18] Statistical Office of the European Union (Eurostat), "Water abstraction by sector, EU. Annual freshwater abstraction by source and sector [env_wat_abs]," 2018. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/external/annual-freshwater-abstraction-by-source>. [Accessed Noviembre 2022].
- [19] European Environment Agency, "Freshwater use," 2018. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/airs/2018/resource-efficiency-and-low-carbon-economy/freshwater-use>. [Accessed Noviembre 2022].
- [20] Eurostat Statistics Explained, "Water use in industry," 2014. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Water_use_in_industry. [Accessed Noviembre 2022].
- [21] Statistical Office of the European Union (Eurostat), "Water use in industry," 2015. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Water_use_in_industry&oldid=262077. [Accessed Noviembre 2022].
- [22] Fundación Aquae, "¿Qué sectores industriales consumen más agua?," 2021. [Online]. Available: <https://www.fundacionaquae.org/que-sectores-de-la-actividad-consumen-mas-agua/>. [Accessed Noviembre 2022].
- [23] Fundación Aquae, "¿Qué industrias consumen más agua?," 2021. [Online]. Available: <https://www.fundacionaquae.org/que-industrias-consumen-mas-agua/>. [Accessed Noviembre 2022].
- [24] OCDE/FAO, «OECD-FAO Agricultural Outlook (Edition 2022),» [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1787/data-00609-en>. [Último acceso: noviembre 2022].

- [25] FAO, "AQUASTAT - Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua en la agricultura," FAO, [Online]. Available: <https://www.fao.org/aquastat/es/databases/>. [Accessed Octubre 2022].
- [26] Comité de Agricultura - FAO, "COAG/2022/14 - El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura," Comité de Agricultura - FAO, Roma, 2022.
- [27] Ceres, "Feeding Ourselves Thirsty: How the Food Sector is Managing Global Water Risks. A Benchmarking Report for Investors," Ceres, San Francisco, CA (EE.UU.), 2015.
- [28] Ceres, "Feeding ourselves Thirsty Executive Summary 2017," Ceres, San Francisco, CA (EE.UU.), 2017.
- [29] Ceres, "Feeding ourselves Thirsty Executive Summary 2019 | Tracking Food Company Progress Toward a Water-Smart Future," Ceres, San Francisco, CA (EE.UU.), 2019.
- [30] Ceres, "Feeding ourselves Thirsty Executive Summary 2021 | Tracking Food Company Progress Toward a Water-Smart Future," Ceres, San Francisco, CA (EE.UU.), 2021.
- [31] Break Free From Plastic Movement, "BRANDED Volume IV: Brand Audit Report," Break Free From Plastic, 2021.
- [32] Nestlé Group, "Our road to net zero," [Online]. Available: <https://www.nestle.com/sustainability/climate-change/zero-environmental-impact>. [Accessed Octubre 2022].
- [33] Nestlé Group, "Our approach to sustainably produced raw materials," [Online]. Available: <https://www.nestle.com/sustainability/sustainable-sourcing/farming-communities-ecosystems>. [Accessed Octubre 2022].
- [34] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, «SOLAW 2021: El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite,» FAO, Roma (Italia), 2021.
- [35] Global Institute for Water Security, "Global Assessment of Private Sector Impacts on Water," Universidad de Saskatchewan, Saskatoon (Canadá), 2022.
- [36] Fundación Aquae, "¿Cuánta agua se necesita para producir alimentos?," [Online]. Available: <https://www.fundacionaquae.org/cuanta-agua-se-necesita-para-producir-alimentos/>. [Accessed Octubre 2022].
- [37] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, "Informe del consumo alimentario en España," MAPA, Madrid, 2021.
- [38] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, «Series de datos de consumo alimentario en hogares (1999-2022),» [En línea]. Available: <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-tendencias/panel-de-consumo-alimentario/series-anuales/>. [Último acceso: Noviembre 2022].

- [39] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, "Informe anual industria alimentaria 2021-2022," MAPA, Madrid, 2021.
- [40] Water Footprint Network, "National water footprint statistics," [Online]. Available: <https://www.waterfootprintassessmenttool.org/world/scope>. [Accessed Octubre 2022].
- [41] G. García, "Estas son las claves para la gestión del agua en la industria agroalimentaria," THE FOOD TECH - B2BLatam, México, 2021.
- [42] UE, "Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua," *Diario Oficial de la Unión Europea*, vol. 63, no. L177, p. 32–55, 2020.
- [43] OCDE, «Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2022: Reforming Agricultural Policies for Climate Change Mitigation,» OECD Publishing, París, 2022.
- [44] OCDE, «Seguimiento y evaluación de las políticas agrarias en 2022,» *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2022: Reforming Agricultural Policies for Climate Change Mitigation*, 23 junio 2022.
- [45] The Coca-Cola Company, «Informe de Sostenibilidad España Coca-Cola 2021,» Junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.cocacolaep.com/assets/Spain/Informe-Sostenibilidad-2021/Informe-de-Sostenibilidad-Espana-Coca-Cola-2021.pdf>. [Último acceso: Octubre 2022].
- [46] AECOC, "Coca-Cola reduce su consumo de agua más del 10% en la planta de Bilbao," *El Economista-Agua y Medio Ambiente*, 7 Julio 2020.
- [47] D. Sesma Martín, *The use of water for powder generation in the most arid country in Europe: The thermoelectric water footprint in Spain*, Pamplona: Universidad Pública de Navarra, 2019.
- [48] TotalEnergies, "El agua y la generación de electricidad," Agosto 2020. [Online]. Available: <https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/el-agua-y-la-generacion-hidroelectrica>. [Accessed Noviembre 2022].
- [49] B. Navalón Burgos. [Online]. Available: <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/cajaAzul/S2-P1->. [Accessed octubre 2020].
- [50] D. E. McNabb, *Global Pathways to Water Sustainability*, Springer, 2019.
- [51] UPNA, "El reto del agua en la producción de energía eléctrica," [Online]. Available: <https://traductordeciencia.es/wp-content/blogs.dir/5/files/sites/5/2020/02/analysis.jpg> /. [Accessed Noviembre 2022].
- [52] D. Sesma Martín and M. d. M. Rubio Varas, "Freshwater for cooling needs: A long-run approach to the nuclear water footprint in Spain," *Ecological Economics*, vol. 140, pp. 146-156, 2017.

- [53] D. Sesma Martín and M. d. M. Rubio Varas, "The weak data on the water–energy nexus in Spain," *Water Policy* 21, vol. 21, pp. 382-393, 2019.
- [54] D. Sesma Martín, "The river's light: Water needs for thermoelectric power generation in the Ebro river basin, 1969-2015," *Waters*, vol. 11, no. 441, p. 18, 2019.
- [55] J. Macknick, R. Newmark, G. Heath and K. C. Hallett, "Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature," *Environmental Research Letters*, vol. 7, no. 045802, p. 11, 2012.
- [56] Red Eléctrica de España, *The Spanish Electricity System. Preliminary report*, Madrid, 2017.
- [57] T. A. DeNooyer, J. M. Peschel, Z. Zhang and A. Stillwell, "Integrating water resources and power generation: the energy–water nexus in Illinois," *Applied energy*, vol. 162, pp. 363-371, 2016.
- [58] B. Scanlon, I. Duncan and R. Reedy, "Drought and the water–energy nexus in Texas," *Environmental Research Letters*, vol. 8, no. 4, 2013.
- [59] Dirección General de la Energía del Ministerio de Economía, *Planificación Energética 2002-2011*, 2002.
- [60] Dirección General de la Energía del Ministerio de Industria, *Planificación Energética 2007-2016*, 2007.
- [61] M. Bartos and M. Chester, "Impacts of climate change on electric power supply in the Western United States," *Nature Climate Change*, vol. 5, no. 8, p. 748, 2015.
- [62] M. Van Vliet, J. Sheffield, D. Wiberg and E. Wood, "Impacts of recent drought and warm years on water resources and electricity supply worldwide," *Environmental Research Letters*, vol. 11, no. 12, pp. 1-11, 2016.
- [63] H. Förster and J. Lilliestam, "Modeling thermoelectric power generation in view of climate change," *Regional Environmental Change*, vol. 10, no. 4, pp. 327-338, 2010.
- [64] C. Hervás-Gámez and F. Delgado-Ramos, "Drought management planning policy: From Europe to Spain," *Sustainability*, vol. 11, no. 7, pp. 1-26, 2019.
- [65] C. Frei and A. Rio-Carrillo, "Water: A key resource in energy production," *Energy Policy*, vol. 37, no. 11, pp. 4303-4312, 2009.
- [66] L. Hardy, A. Garrido and L. Juana, "Evaluation of Spain's water-energy nexus," *International Journal of Water Resources Development*, vol. 28, no. 1, pp. 151-170, 2012.
- [67] P. De Vries, J. Tamis, A. Murk and M. Smit, "Development and application of a species sensitivity distribution for temperature-induced mortality in the aquatic environment," *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 27, no. 12, pp. 2591-2598, 2008.

- [68] C. E. -. CORDIS, «Final Report Summary - E4WATER (Economically and Ecologically Efficient Water Management in the European Chemical Industry),» 2016. [En línea]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/280756/reporting/es>. [Último acceso: Noviembre 2022].
- [69] P. Cauwenberg, K. D. Sitter, J. Ceulemans and E. Linclau, “Water and detergent recovery from rinsing water in an industrial environment,” *Water Resources and Industry*, vol. 14, no. C, pp. 3-10, 2016.
- [70] K. Hu, “Contribution to modeling of treatment and reuse of industrial wastewater,” Technische Universität Berlin, Berlín, 2017.
- [71] W. d. Schepper, R. J. M. Bisselink, I. Pinel, J. Trampé, A. Krutko, N. Groot and W. v. d. Broek, “Mild desalination demo pilot: New normalization approach to effectively evaluate electro dialysis reversal technology,” *Water Resources and Industry*, vol. 14, pp. 18-25, 2016.
- [72] N.E.Koeman-Stein, R.J.M.Creusen, M.Zijlstra, C.K.Groot and W. d. Broek, “Membrane distillation of industrial cooling tower blowdown water,” *Water Resources and Industry*, vol. 14, pp. 11-17, 2016.
- [73] FEIQUE, “El sector en cifras,” 2022. [Online]. Available: <https://www.feique.org/el-sector-en-cifras/>. [Accessed Noviembre 2022].
- [74] FEIQUE, “Radiografía del Sector Químico Español. 2022,” 2022. [Online]. Available: <https://www.feique.org/pdfs/radiografiasectorial.pdf>. [Accessed Noviembre 2022].
- [75] FEIQUE, “Radiografía del sector químico español,” 2022. [Online]. Available: <https://www.feique.org/pdfs/infografia-sector-quimico-espanol.jpeg>. [Accessed Noviembre 2022].
- [76] FEIQUE, “Indicadores de sostenibilidad y RSE de Responsible Care. Avance de resultados 2019,” 2018. [Online]. Available: <https://www.feique.org/pdfs/informeRSE.pdf>. [Accessed Noviembre 2022].
- [77] Forética-FEIQUE, “Guía de la aplicación de la Responsabilidad Social Empresarial en el sector químico y ciencias de la vida,” 2022. [Online]. Available: <https://www.feique.org/wp-content/uploads/2016/06/19-descargar-guia-de-aplicacion-de-rse.pdf>. [Accessed Noviembre 2022].
- [78] Air Liquide, “Air Liquide. Tratamiento de aguas residuales,” 2022. [Online]. Available: <https://es.airliquide.com/soluciones/tratamiento-aguas>. [Accessed Noviembre 2022].
- [79] Carburos Metálicos, “Crecimiento sostenible para un futuro sostenible. Informe de sostenibilidad 2021,” 2021. [Online]. Available: <https://www.carburos.com/-/media/airproducts/files/es/900/900-21-010-es-sustainability-report-2021.pdf>. [Accessed Noviembre 2022].

- [80] Nippon Gases, "Making life better through gas technology. Sustainability report," 2022. [Online]. Available: <https://nippongases.com/es-en/-/media/files/sustainability-report/sustainability-report-ng-22.pdf>. [Accessed Noviembre 2022].
- [81] Bayer, "Sostenibilidad. Protección medioambiental," 2022. [Online]. Available: <https://www.bayer.com/es/es/espana-proteccion-medioambiental>. [Accessed Noviembre 2022].
- [82] Dow Chemical Ibérica, "Informe público," 2021. [Online]. Available: <https://es.dow.com/content/dam/corp/documents/about/903-305-05-dow-chemical-iberica-public-report-2021.pdf>. [Accessed Noviembre 2022].
- [83] DuPont, "Soluciones hídricas," 2022. [Online]. Available: <https://www.dupont.es/water.html>. [Accessed Noviembre 2022].
- [84] BASF, "BASF en España. Informe 2021. 3. Seguridad, salud y medioambiente," 2021. [Online]. Available: <https://es-report-basf.com/wp-content/uploads/2022/06/3.seguridad-salud-medioambiente.pdf>. [Accessed Noviembre 2022].
- [85] Grupo Repsol, "Informe de gestión integrado," 2021. [Online]. Available: <https://www.repsol.com/content/dam/repsol-corporate/es/accionistas-e-inversores/informes-anuales/2021/informe-gestion-integrado-2021.pdf>. [Accessed Noviembre 2022].
- [86] Cepsa, "La eficiencia en el consumo del agua, una de nuestras ambiciones," 2022. [Online]. Available: <https://www.cepsa.com/es/sostenibilidad/medio-ambiente/gestion-uso-del-agua>. [Accessed Noviembre 2022].
- [87] Asociación Empresarial Química de Tarragona, «Agua regenerada, un recurso creciente,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.aeqtonline.com/es/indicadores-de-sostenibilidad/>. [Último acceso: Noviembre 2022].
- [88] Veolia Water Technologies Spain, "ERA de El Camp de Tarragona," 2020. [Online]. Available: <https://www.asersagua.es/Asersa/Archivos/ERA%20Camp%20de%20Tarragona.pdf>. [Accessed Noviembre 2022].
- [89] J. Sanz, J. M. J. Suescun, F. Rubio and B. S. R. Mujeriego, "Reclaimed water for the Tarragona petrochemical park," *Water Science & Technology: Water Supply*, vol. 15, no. 2, pp. 308-316, 2015.
- [90] Ministerio de la Presidencia, «Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas,» *Boletín Oficial del Estado*, vol. 294, pp. 50639-50661, Diciembre 8 2007.
- [91] Bluegold, "Tratamiento de aguas para el sector metalúrgico," 2022. [Online]. Available: <https://www.bluegold.es/la-industria-del-hierro-y-el-acero/>. [Accessed Noviembre 2022].

- [92] Ulmaforge, "INDUSTRIA METALÚRGICA: RADIOGRAFÍA DE UN SECTOR FUNDAMENTAL EN EL DESARROLLO ECONÓMICO," 2022. [Online]. Available: <https://www.ulmaforge.com/noticia/industria-metalurgica-espana/>. [Accessed Noviembre 2022].
- [93] Statistical Office of the European Union (Eurostat), "Annual detailed enterprise statistics for industry (NACE Rev. 2, B-E)," 2022. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/>. [Accessed Noviembre 2022].
- [94] Ferrosplanes, "Industria de la metalurgia en España," 2022. [Online]. Available: <https://ferrosplanes.com/industria-metalurgia-espana/>. [Accessed Noviembre 2022].
- [95] CCOO Industria, "Análisis de la industria: Análisis de la industria," 2019. [Online]. Available: <https://industria.ccoo.es/c9bd3b5f3004cb22db567298fc78c4ec000060.pdf>. [Accessed Noviembre 2022].
- [96] Å. Ekdahl, "Blog: Climate – How the steel industry is coping with water scarcity," 2020. [Online]. Available: <https://worldsteel.org/media-centre/blog/2020/climate-steel-industry-water-scarcity/>. [Accessed Noviembre 2022].
- [97] Worldsteel Association, "Water management in the steel industry," 2020. [Online]. Available: <https://worldsteel.org/>. [Accessed Noviembre 2022].
- [98] I. Peñaloza, "La minería, más compleja de lo que imaginas," *Revista Ciencias de la Tierra*, Noviembre 2020.



Con el apoyo de:



Elaborado por:

