

# ESTUDIO SOBRE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS DE REUTILIZACIÓN DEL AGUA Y SU IMPACTO EN LA COMPETITIVIDAD DE LOS SECTORES PRODUCTIVOS CLAVE DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

Francesc Hernández Sancho  
Agueda Bellver Domingo  
Lledó Castellet Viciano



Càtedra de  
Transformació del  
Model Econòmic  
Economia Circular  
en el Sector de l'Aigua



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



# Índice

<b>1.</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Importancia de promover los proyectos de reutilización del agua en el contexto económico, ambiental y social actual.....</b>	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>Análisis de los impactos positivos de la reutilización sobre la competitividad de las empresas: Propuesta de indicadores .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.</b>	<b>Reutilización, ecoinnovación y competitividad empresarial .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2.</b>	<b>Influencia de la reutilización sobre la competitividad empresarial .....</b>	<b>19</b>
<b>4.</b>	<b>La reutilización del agua en pequeñas poblaciones: Importancia de los servicios ecosistémicos en los procesos de toma de decisión .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1.</b>	<b>Humedales artificiales como tratamiento de las aguas residuales en pequeñas poblaciones.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2.</b>	<b>Ánálisis de los servicios ecosistémicos de los humedales artificiales y su importancia en los proyectos de reutilización del agua .....</b>	<b>30</b>
<b>5.</b>	<b>Claves para Escalar la Reutilización de Agua .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1.</b>	<b>Replicabilidad .....</b>	<b>36</b>
<b>5.2.</b>	<b>Transferibilidad .....</b>	<b>39</b>
<b>6.</b>	<b>Riesgos y desafíos para la sostenibilidad hídrica.....</b>	<b>40</b>
<b>6.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>41</b>
<b>7.</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>42</b>

## **Índice de Tablas**

Tabla 1. Propuesta de indicadores para la monitorización de la implementación de la economía circular para el ejemplo concreto de la reutilización del agua industrial tras un tratamiento de descontaminación por membranas. Fuente: elaboración propia. ..	21
Tabla 2. Municipios totales a nivel nacional según el número de habitantes según los datos del INE para 2022.....	28
Tabla 3. EDARs de la Comunidad Valenciana clasificadas según h.e. y tecnología empleada. Elaboración propia a partir de datos de la EPSAR.....	29
Tabla 4. Listado de servicios ecosistémicos asociados a humedales artificiales para mejora de la calidad del agua depurada en pequeñas poblaciones. Fuente: elaboración propia. ..	32

## **Índice de Figuras**

Figura 1. Tipos de tratamiento de agua residual en función de la necesidad de obra civil. Fuente: elaboración propia.....	6
Figura 2. Influencia de la ecoinnovación sobre la economía circular y los modelos de negocio. Fuente: adaptado de Rhein (2021). .....	13
Figura 3. Evolución de la responsabilidad ambiental y social en las empresas. Adaptado de: @econosublime.....	14
Figura 4. Modelos de negocio disponibles para la implementación de la economía circular por parte de las empresas. Fuente: elaboración propia a partir de Accenture (2014). .....	15
Figura 5. Propuesta de Plan de Replicabilidad aplicado a proyectos de reutilización del agua bajo el enfoque de la economía circular. Fuente: elaboración propia. .....	38

## 1. Introducción

El crecimiento de la población mundial está asociado a un aumento en la demanda de agua. Las consecuencias de este incremento son dobles; por un lado, pone en peligro el equilibrio hídrico del ecosistema; y, por otro, eleva considerablemente el volumen generado de aguas residuales. Esta situación obliga a monitorizar y mejorar los procesos de tratamiento de aguas residuales con tal de minimizar el impacto ambiental y garantizar el buen estado de las masas de agua. En este sentido, las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDARs) desempeñan un papel fundamental ya que forman parte del conjunto de infraestructuras urbanas y su objetivo es garantizar la calidad de los efluentes vertidos al medio ambiente.

Fruto del incremento del volumen de agua residual y del endurecimiento de los criterios de calidad establecidos en las normativas europeas, el número de EDARs se ha incrementado de forma significativa en las últimas décadas. Las normativas más relevantes para la gestión de las aguas residuales y la conservación de los ecosistemas acuáticos son la Directiva 91/271/CEE, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, y la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, que establece un marco para la acción comunitaria en el ámbito de política de aguas, más conocida como la Directiva Marco del Agua.

La importancia de la Directiva 91/271/CEE radica en que exige la instalación de tecnologías de recolección y tratamiento de las aguas residuales de las aglomeraciones urbanas, estableciendo unos criterios de calidad más estrictos en función de la cercanía a zonas catalogadas como sensibles (humedales, lagos, etc.). Como resultado, el número de pequeñas EDARs se ha incrementado de forma significativa a lo largo de toda la Unión Europea (Fraquelli & Giandrone, 2003). De hecho, todas las aglomeraciones <2.000 habitantes equivalentes deben tener EDAR y las aglomeraciones urbanas de entre 2.000 y 10.000 habitantes equivalentes deben instalar colectores y EDAR con tratamiento secundario. Este incremento supone un efecto positivo de la implementación de la Directiva ya que antes solo los grandes centros urbanos tenían plantas de tratamiento (Molinos-Senante et al., 2014).

La Directiva 2000/60/CE supuso un cambio profundo en la política hídrica existente hasta el momento, ya que sus objetivos pretendían conservar los ecosistemas hídricos al mismo tiempo que se asegura un uso sostenible de los caudales disponibles. Este marco de actuación significó una importante reforma legal y estructural de la política de aguas de todos los estados miembros. La Directiva Marco del Agua aborda un enfoque multidisciplinar como mecanismo de evaluación ya que incluye el análisis económico, de tal forma que los aspectos ambientales y económicos de la gestión del ciclo del agua se integran para diseñar, implementar y regular las decisiones en materia de usos de agua y gestión de ecosistemas. Esta situación supuso un doble desafío para los estados miembros ya que implica una mayor monitorización y control del estado de las masas de agua, así como de los caudales asignados para cada uso.

Recientemente, la Directiva (UE) 2024/3019, además de abordar diversos aspectos clave para la gestión del agua, como el refuerzo de los criterios de calidad de las aguas depuradas y la ampliación del número de municipios de más de 1.000 habitantes equivalentes que deben disponer de sistemas adecuados de tratamiento de aguas residuales, pone especial énfasis en la necesidad de promover e implementar sistemas de reutilización del agua. Esta prioridad refleja el compromiso europeo con una gestión más sostenible y eficiente de los recursos hídricos, impulsando la reutilización como herramienta fundamental frente al estrés hídrico y el desafío del cambio en las condiciones climáticas.

Esta nueva directiva, establece una serie de disposiciones orientadas a promover la reutilización del agua tratada, reconociéndola como un componente esencial para la gestión sostenible de los recursos hídricos y para el avance hacia una economía circular. En este marco, la norma insiste en que los Estados miembros deben impulsar de forma sistemática el uso de aguas residuales urbanas tratadas en todas aquellas situaciones en las que resulte viable, especialmente en regiones sometidas a estrés hídrico. El propósito de esta promoción es reforzar la capacidad de la Unión Europea para hacer frente a las crecientes presiones sobre los recursos disponibles, reduciendo la extracción de agua dulce de ríos, lagos y acuíferos. La directiva también recalca que cualquier iniciativa de reutilización debe respetar siempre el caudal ecológico mínimo de las masas de agua receptoras y evitar efectos adversos sobre el medio ambiente o

sobre la salud humana. Además, subraya que el potencial de reutilización debe evaluarse teniendo en cuenta los planes hidrológicos de cuenca establecidos conforme a la Directiva 2000/60/CE, así como las decisiones derivadas del Reglamento (UE) 2020/741. En este sentido, las estrategias de resiliencia hídrica desarrolladas por los Estados miembros deberán incluir medidas específicas destinadas a fomentar la reutilización de aguas residuales tratadas.

Con el fin de llevar a cabo la depuración de las aguas residuales son necesarios un conjunto de tratamientos fisicoquímicos, el grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de los límites de vertido para el efluente. En este sentido, cabe señalar la existencia de dos tipos de tratamientos de aguas residuales, los tratamientos intensivos y los extensivos (Figura 1). Los tratamientos intensivos necesitan de energía para oxigenar las aguas a tratar y aportar una serie de reactivos para eliminar las sustancias contaminantes. Este proceso requiere un elevado uso de infraestructuras en forma de obra civil, equipos electromecánicos (impulsión, aireación, entre otros) y tuberías (Qasem et al., 2010). Esta tecnificación permite el control del proceso y de la eficiencia del tratamiento haciendo que este tipo de instalaciones requiera menos espacio.

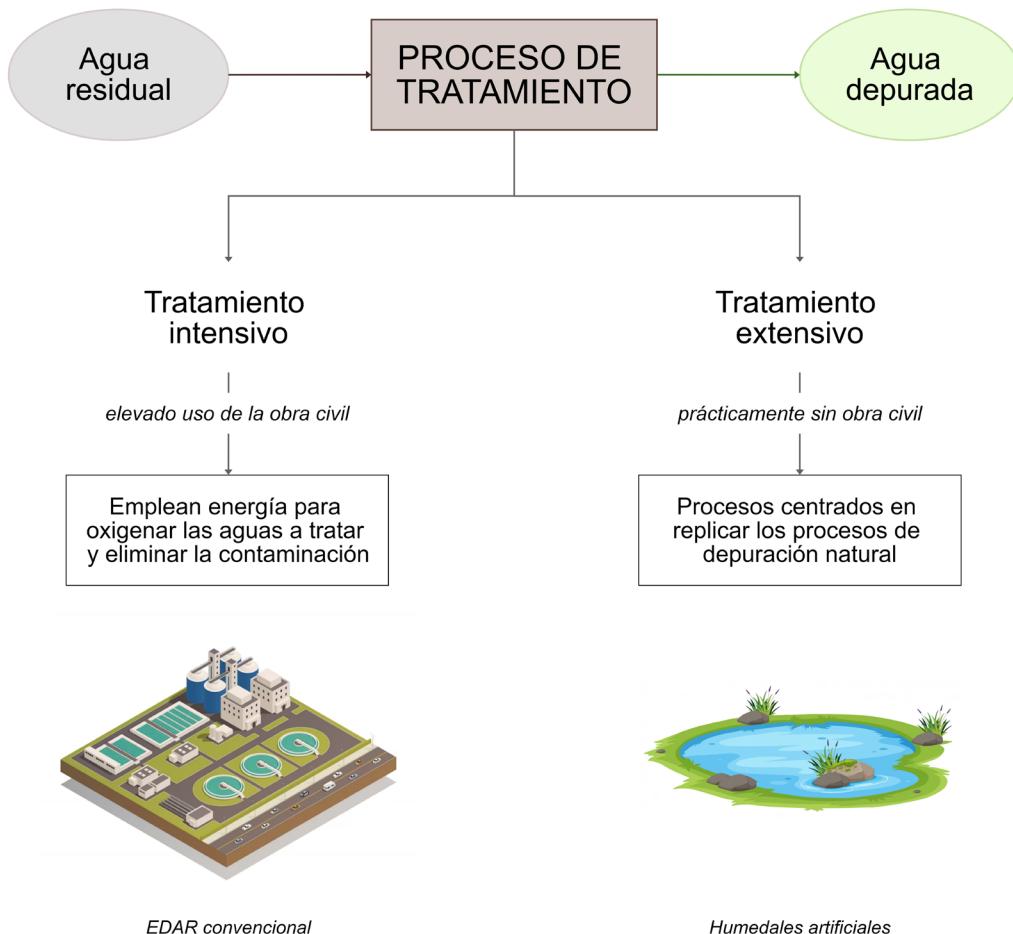


Figura 1. Tipos de tratamiento de agua residual en función de la necesidad de obra civil.  
Fuente: elaboración propia.

Como contrapunto a los tratamientos anteriores están los tratamientos extensivos, donde hay un menor uso de infraestructuras y equipos electromecánicos. La razón principal es que no requieren de una oxigenación artificial ya que utilizan gravas, arenas, flora, fauna y gravedad para desarrollar los procesos de depuración. Es decir, son tratamientos inspirados en los procesos naturales de depuración, siendo prácticamente innecesaria la obra civil (más allá del movimiento de tierras y algunas tuberías y sistemas de impulsión). Este tipo de tratamientos requieren menor esfuerzo económico inicial y de mantenimiento, además de que permiten una mejor integración paisajística, creando espacios que sirven para el refugio de biodiversidad.

La contrapartida de los tratamientos extensivos es que requieren mucho más espacio para conseguir determinados niveles de calidad del agua, siendo éste el principal factor limitante y el responsable de que sean la opción más adecuada para pequeñas

poblaciones (<2.000 habitantes equivalentes) y zonas rurales. La tecnología de tratamiento extensiva más utilizada es el humedal artificial, el cual, como su propio nombre indica, replica el funcionamiento de un humedal natural con el fin de depurar el agua residual.

Tanto los tratamientos intensivos como extensivos son capaces de obtener rendimientos de eliminación de contaminantes y patógenos elevados. Si bien es cierto que cabe diferenciar el efluente obtenido en función de la calidad que se desee conseguir y su uso posterior. No es lo mismo un efluente depurado que un efluente regenerado. Este último ha sido sometido a un proceso de tratamiento adicional o complementario con el fin de adecuar su calidad al uso al que se destinan, teniendo en cuenta que esas aguas van a ser reintroducidas en el ecosistema siguiendo la normativa y los criterios de calidad recogidos en el Real Decreto 1620/2007.

## 2. Importancia de promover los proyectos de reutilización del agua en el contexto económico, ambiental y social actual

El agua es un recurso esencial cuya gestión eficiente resulta fundamental para el crecimiento y desarrollo sostenible de las regiones. La falta de acceso a una fuente segura y continua de agua, junto con una inadecuada gestión de las aguas residuales (grises y negras), limita gravemente la posibilidad de desarrollar actividades socioeconómicas a corto y largo plazo. A ello se suman los problemas de salud pública derivados del contacto con contaminantes presentes en el agua y el deterioro de los ecosistemas, lo que agrava aún más la situación.

El crecimiento poblacional ha provocado un aumento constante en el consumo de agua, tanto para el abastecimiento de agua potable como para la producción agrícola, ganadera e industrial. Desde la década de los ochenta, el consumo mundial de agua dulce ha ido creciendo alrededor del 1% anual impulsado por el crecimiento demográfico y el desarrollo económico, siendo la agricultura responsable del 71% del consumo global. Desde un punto de vista ambiental, el planeta ha perdido el 57% de su superficie de humedales naturales durante el último siglo (UNESCO, 2021). Sin

embargo, determinar los niveles reales de extracción y uso continúa siendo un desafío, debido a la dificultad de controlar todos los puntos de acceso al recurso. En este contexto, preocupa especialmente la competencia entre los sectores productivos y el consumo urbano, dado que las organizaciones internacionales buscan mejorar la cobertura de agua y saneamiento en países en desarrollo y economías emergentes.

El principal desafío en la gestión del agua es el estrés hídrico, presente en todos los continentes y limitante del desarrollo económico y social. Actualmente, más de dos mil millones de personas en más de 200 cuencas hidrográficas sufren este problema (UNESCO, 2021). Este fenómeno no se debe únicamente al cambio en las condiciones climáticas, sino también a otros tipos de escasez. Por un lado, la escasez natural de agua, derivada de las variaciones del ciclo hidrológico que generan períodos de sequía o lluvias intensas; y por otro, la escasez económica de agua, que ocurre cuando, a pesar de existir disponibilidad física del recurso, no se cuenta con la infraestructura necesaria para su acceso y distribución. De acuerdo con la ONU, aproximadamente 1.6 mil millones de personas enfrentan este tipo de escasez, por lo que los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) buscan garantizar el derecho universal al agua mediante esfuerzos coordinados entre gobiernos, comunidades y sectores productivos.

La escasez de agua constituye, por tanto, un reto global que exige soluciones innovadoras orientadas a una gestión sostenible del recurso. En un escenario marcado por el crecimiento demográfico y las nuevas condiciones de carácter climático, la reutilización del agua se ha consolidado como una alternativa viable para satisfacer la creciente demanda. El uso de fuentes no convencionales de agua contribuye a reducir la presión sobre las masas de agua tradicionales como ríos, lagos y acuíferos, asegurando la disponibilidad del recurso para todos los sectores.

En este contexto, el agua regenerada presenta un elevado potencial, debido al gran volumen de aguas residuales generadas por la sociedad actual. Según la Organización Mundial de la Salud, en el año 2015 solo una fracción de las aguas residuales domésticas fue tratada, lo que evidencia un amplio margen para fortalecer la implementación del reuso a nivel global. El objetivo final es promover la transformación de las plantas de tratamiento de aguas residuales en nuevas fuentes de suministro hídrico, capaces de producir agua de alta calidad destinada a satisfacer las demandas

agrícolas, industriales y ambientales, contribuyendo así a la sostenibilidad del recurso en el tiempo.

Los proyectos de reutilización de agua representan una aplicación práctica del modelo de economía circular. A través del tratamiento y la reutilización de las aguas residuales, estos proyectos transforman lo que tradicionalmente se considera un desecho en un recurso valioso. De este modo, contribuyen a reducir la presión sobre las fuentes hídricas convencionales y a preservar su calidad. Además, la reutilización del agua tratada puede garantizar un suministro alternativo y confiable para diversos usos, como el riego agrícola, los procesos industriales e, incluso, el consumo humano.

Uno de los principales beneficios de la reutilización del agua es la reducción del impacto ambiental asociado a la descarga de efluentes en las masas de agua. Los vertidos procedentes de la industria o de las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR), aun después de ser tratados, contienen diferentes tipos de contaminantes (materia orgánica, nutrientes, productos químicos, entre otros) que pueden generar efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana. Al reutilizar dichos efluentes, se contribuye a preservar la calidad de las masas de agua, minimizando los efectos sobre los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad.

No obstante, la falta de implementación de proyectos basados en la economía circular suele estar relacionada con la existencia de múltiples barreras que dificultan su materialización. Entre ellas se encuentran las barreras sociales, vinculadas principalmente a la falta de información y a la persistencia de modelos tradicionales arraigados en la sociedad; las barreras políticas y normativas, derivadas de la fragmentación institucional y de la dispersión de competencias en la gestión de los recursos; así como las barreras tecnológicas y económicas.

La puesta en marcha de proyectos de economía circular requiere tecnologías avanzadas que, por un lado, optimicen la eficiencia de los procesos y, por otro, faciliten la recuperación de productos y materiales para su reintegración en los sistemas productivos. Aunque la tecnología requerida ya existe y el desarrollo tecnológico no constituye la principal limitación, se sostiene que el principal obstáculo para su

implementación es de carácter económico, debido a las altas inversiones iniciales que estos sistemas requieren.

Uno de los grandes desafíos que busca afrontar la economía circular es desvincular el crecimiento económico del deterioro ambiental. Actualmente, tanto los responsables de la formulación de políticas públicas como las empresas e industrias reconocen que el modelo de producción y consumo vigente genera una degradación ambiental que pone en riesgo la sostenibilidad de sus propias actividades y del desarrollo económico en general. En este contexto, los proyectos de reutilización de agua promueven los principios de la economía circular al cerrar el ciclo del uso del recurso hídrico, reducir la generación de residuos y fomentar un uso más eficiente de los recursos naturales.

Estos proyectos generan beneficios significativos en los ámbitos económico, ambiental y social, y su eficacia depende de la capacidad para demostrar la eficiencia, efectividad y sostenibilidad del proceso. Para ello, resulta esencial desarrollar nuevas metodologías que permitan cuantificar los beneficios sociales y ambientales derivados de la reutilización del agua, así como establecer marcos normativos e incentivos económicos que favorezcan su adopción. Sin embargo, el éxito de estos proyectos depende de diversos factores y requiere una colaboración activa y fluida entre todos los actores involucrados en el territorio donde se pretende aplicar, garantizando una gestión integral, participativa y sostenible del recurso hídrico.

### **3. Análisis de los impactos positivos de la reutilización sobre la competitividad de las empresas: Propuesta de indicadores**

Ante la creciente demanda de agua, resulta imperativo adoptar soluciones tecnológicas avanzadas que permitan la reutilización del agua dentro de un esquema de uso basado en la economía circular. Esta transición no solo contribuye a la seguridad hídrica, sino que también aporta importantes beneficios económicos, sociales y ambientales, posicionando las tecnologías de reutilización del agua como un componente clave en la gestión futura de los recursos hídricos y de los sistemas de producción. La necesidad de implementar tecnologías de reutilización del agua está estrechamente vinculada a los

principios de la gobernanza del agua, ya que ambos buscan garantizar la gestión sostenible de los recursos hídricos. La gobernanza implica el establecimiento de marcos regulatorios, políticas y acciones que aseguren la gestión eficiente y responsable de los recursos hídricos, situación que propicia la implementación de tecnologías de reutilización del agua con el objetivo de mejorar no solo el medio ambiente, sino también la competitividad empresarial.

Al integrar soluciones tecnológicas avanzadas para la regeneración del agua se puede mejorar la eficiencia en el uso de los recursos, optimizando su distribución y reduciendo el impacto ambiental de las actividades humanas. Además, la implementación de estas tecnologías contribuye a la eficacia de las políticas hídricas, permitiendo a gobiernos y empresas alcanzar sus objetivos de sostenibilidad hídrica y fomentar la confianza y la participación ciudadana mediante su integración en los procesos de reutilización y recuperación del agua.

En este sentido, la combinación de la innovación tecnológica con una gobernanza hídrica eficiente no solo mejora la seguridad hídrica y reduce la presión sobre las fuentes convencionales, sino que también impulsa el desarrollo de un modelo más sostenible en el uso de los recursos hídricos por parte de las empresas. La adopción de tecnologías de reutilización del agua se convierte así en un elemento fundamental para alcanzar los objetivos de la gobernanza hídrica, garantizando una gestión más eficiente del agua, siendo el resultado la seguridad hídrica para la población y para el sistema económico y productivo.

### **3.1. Reutilización, ecoinnovación y competitividad empresarial**

La economía circular y, en particular, la reutilización del agua, se han convertido en pilares fundamentales para la implementación de estrategias orientadas a la mejora de los procesos productivos. El tratamiento y reacondicionamiento de las aguas residuales industriales para su posterior uso en los mismos procesos permite reducir de forma significativa el consumo de agua y los costes económicos asociados a la producción. Este enfoque no solo beneficia a las empresas, que logran mayor eficiencia y menores riesgos de escasez hídrica, sino que también contribuye a la sostenibilidad del territorio y al bienestar social, al liberar recursos hídricos que pueden destinarse a satisfacer otras demandas. De esta manera, disminuye la presión sobre los ecosistemas acuáticos y se

garantiza la continuidad de la actividad productiva y, con ello, el desarrollo económico y social.

La ecoinnovación, entendida como una estrategia empresarial basada en la gestión eficiente del agua en los procesos industriales, se presenta como un elemento clave para la creación de valor. Su incorporación no solo optimiza los recursos, sino que también mejora la percepción del producto y de la marca por parte de los consumidores, quienes valoran cada vez más las prácticas sostenibles. Además, permite a las empresas adaptarse a un mercado en constante transformación, influido por los cambios culturales, demográficos y de consumo.

Desde una perspectiva empresarial, la ecoinnovación se define como una estrategia que busca integrar la sostenibilidad a lo largo de toda la cadena de valor de un producto o servicio. Implica un conjunto coordinado de cambios o la incorporación de soluciones innovadoras en los productos, servicios, procesos, enfoques de mercado y estructuras organizativas, con el propósito de mejorar el desempeño global de la empresa y aumentar su competitividad.

En este sentido, resulta fundamental identificar los desafíos ambientales y sociales asociados a cada producto o servicio, con el fin de desarrollar una estrategia empresarial coherente con dichas necesidades (Figura 2). La ecoinnovación presenta dos ventajas principales (Rhein, 2021):

1. Puede ser adoptada por cualquier tipo de empresa, independientemente de su tamaño o sector productivo.
2. Genera una doble externalidad positiva, ya que mejora los procesos productivos y produce beneficios ambientales perceptibles para la sociedad.



Figura 2. Influencia de la ecoinnovación sobre la economía circular y los modelos de negocio. Fuente: adaptado de Rhein (2021).

La transición hacia la eco-innovación es un proceso complejo que requiere un cambio profundo en la forma de actuar de la empresa, orientando su producción hacia un modelo sostenible y asumiendo una mayor conciencia sobre los impactos ambientales y sociales derivados de sus actividades. Considerando la relevancia del contexto climático actual y la necesidad de incorporar estrategias de producción sostenibles, Rhein (2021) identifica tres factores principales que impulsan la eco-innovación como modelo de negocio, los cuales pueden presentarse de manera independiente o simultánea:

- **Factores a nivel macro:** Son aquellos derivados de las decisiones políticas y regulaciones ambientales establecidas en distintos países. Estas normativas, ya sea en materia de producción o de gestión de residuos, inciden directamente en el desempeño de las empresas, al obligarlas a adoptar nuevos estándares de producción y gestión que promuevan sinergias positivas tanto en el ámbito ambiental como en el social.
- **Factores a nivel meso:** Se relacionan con la dinámica del mercado y su influencia sobre la implementación de la ecoinnovación. Incluyen la demanda de los consumidores, la presión de grupos de interés (lobbies) y las características específicas de cada sector industrial. La ecoinnovación puede generar una ventaja competitiva para las empresas que la adoptan; sin embargo, es

importante considerar el impacto del precio del producto o servicio en las decisiones de compra del consumidor.

- **Factores a nivel micro:** Están directamente vinculados con la capacidad interna de la empresa para llevar a cabo procesos de ecoinnovación. Entre ellos se destacan la disponibilidad de capacidades técnicas y de conocimiento, la implementación de sistemas de gestión ambiental, y la posibilidad de adquirir conocimientos externos mediante la cooperación con otros actores. Estos elementos son esenciales para promover la ecoinnovación dentro de cada organización.

En la actualidad, se espera que las empresas asuman un papel activo frente a los desafíos sociales y ambientales, pasando de una actitud basada únicamente en el cumplimiento de obligaciones a una acción intencionada y proactiva. No obstante, no todas las organizaciones abordan la responsabilidad empresarial de la misma manera. Algunas compañías se limitan a cumplir con los requisitos legales, asegurando que sus operaciones se mantengan dentro de los marcos normativos establecidos. Otras perciben la responsabilidad como una ventaja competitiva, integrándola en sus estrategias de negocio para impulsar la innovación y fortalecer su posición en el mercado. Finalmente, existen aquellas que adoptan la responsabilidad como un reflejo de sus valores y de su compromiso ético, actuando conforme a la convicción de hacer lo correcto (Figura 3).



Figura 3. Evolución de la responsabilidad ambiental y social en las empresas. Adaptado de: @econosublime.

Los modelos de negocio basados en la economía circular ponen de relieve la relevancia de la reutilización del agua en el sector industrial, destacando cómo los esquemas de producción sostenibles aplicados al tratamiento de aguas residuales pueden generar valor añadido. Este enfoque no solo produce beneficios económicos, ambientales y sociales de manera integrada, sino que también fortalece la imagen de la empresa y la percepción positiva de sus productos por parte de los consumidores.

Desde la perspectiva empresarial, la economía circular ofrece ventajas claras en términos de:

- Mejora de la eficiencia productiva,
- Maximización del uso de materias primas, y
- Valorización de los flujos de subproductos.

Estas ventajas dan lugar a diversos modelos de negocio y enfoques de producción (Figura 4), que pueden adaptarse e implementarse en las diferentes empresas que incorporen a su proceso productivo tecnologías de reutilización como herramienta de gestión de los recursos hídricos en el sector industrial.

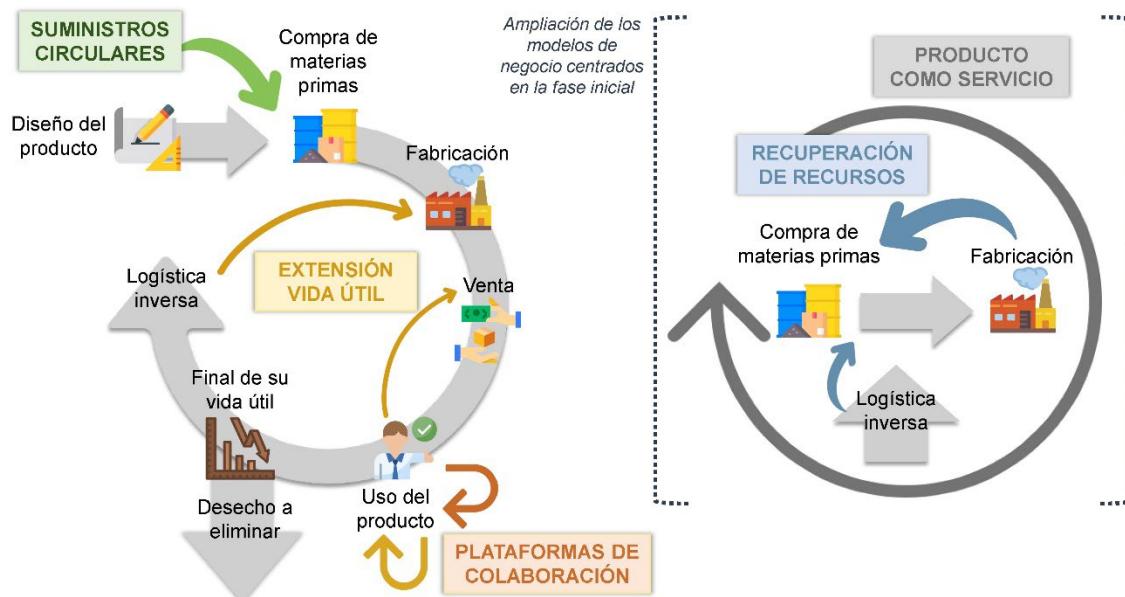


Figura 4. Modelos de negocio disponibles para la implementación de la economía circular por parte de las empresas. Fuente: elaboración propia a partir de Accenture (2014).

Los modelos de negocio basados en la economía circular requieren una transformación profunda de la estructura empresarial, implicando un cambio desde el modelo lineal tradicional, la mejora tecnológica para aumentar la eficiencia, la adaptación de los subproductos a los procesos de producción y la comunicación entre todos los actores involucrados, con el fin de reducir costes de producción y aumentar la sostenibilidad a corto, medio y largo plazo. A continuación, se describen los principales modelos asociados a la economía circular:

### **1. Suministros circulares**

Este modelo se basa en el abastecimiento de materias primas cuyo origen sean fuentes renovables, recicladas o biodegradables, evitando aquellas fuentes no renovables de recursos y reduciendo la generación de residuos, lo cual aumenta la eficiencia del proceso de producción. Este modelo permite hacer frente a la escasez de materias primas de origen natural por razones de cambio en las condiciones climáticas.

### **2. Recuperación de recursos**

Está basado en el reciclaje del producto al final de su vida útil, donde el valor de dicho producto se recupera. Esto transforma los residuos en corrientes de valor basadas en nuevas tecnologías capaces de recuperar su valor y convertirlo en un recurso económicamente viable. En concreto, el modelo de negocio basado en la recuperación de recursos abarca desde la simbiosis industrial hasta el reciclaje de residuos dentro de circuitos cerrados, es decir, en procesos donde se recupera el valor y se reincorpora a la cadena de producción. Este modelo es adecuado para aquellas industrias que generan una gran cantidad de subproductos y cuyas corrientes de desechos se pueden recuperar y adaptar de forma rentable a otros procesos.

### **3. Extensión de la vida útil del producto**

Este modelo de negocio se centra en la extensión de la vida útil del producto con tal de evitar que sea reemplazado de forma anticipada por el usuario. El objetivo

es la reducción de los residuos que se generarían y se deberían gestionar, así como el fomento de las acciones de reparación, actualización o, incluso, recomercialización de los productos. Este uso extendido junto con las actividades derivadas de la extensión de su vida útil generará mayores ingresos durante un periodo de tiempo más prolongado. Para conseguir la implementación exitosa de este modelo de negocio la empresa debe garantizar que sus productos serán útiles durante un mayor plazo y que sus actualizaciones serán de verdadera utilidad para garantizar su funcionamiento. Un ejemplo sería el reemplazo de un componente específico que ya no funcione en lugar de desechar el producto completo, o bien una actualización de software (en el caso de productos electrónicos) que garantice el correcto funcionamiento del producto con respecto a las actualizaciones del resto de sus componentes y el avance tecnológico.

#### **4. Plataformas colaborativas**

Este modelo de negocio se basa en el desarrollo de una plataforma que permita la comunicación y colaboración entre los diferentes actores implicados, tanto personas como organizaciones. Gracias a estas plataformas los actores pueden conocer qué subproductos están disponibles, sus características y sus limitaciones, aumentando la eficiencia del sector gracias al conocimiento compartido. Estas plataformas necesitan de la colaboración activa entre los actores ya que el flujo de información debe ser realista y actualizado a las condiciones de cada uno de sus procesos, de tal forma que el potencial comprador conozca la cantidad y la calidad de recursos que tiene disponibles y si le fuera necesario aplicar un tratamiento previo para adecuar el recurso a su proceso de producción.

#### **5. Producto como servicio**

Un sistema de productos como servicios consiste en una combinación de productos tangibles y servicios intangibles, diseñados y combinados de manera que, conjuntamente, sean capaces de satisfacer las necesidades finales del consumidor. La idea es favorecer los incentivos para incrementar la durabilidad

del producto y su rendimiento, al mismo tiempo que se fomenta el uso compartido de los recursos. Este concepto se apoya en dos pilares fundamentales: i) la funcionalidad o satisfacción que el usuario quiere alcanzar actúa como punto de partida del desarrollo del negocio (en lugar de la propiedad del producto como forma de satisfacer la necesidad) y ii) se elabora el sistema de negocio que proporciona tal funcionalidad teniendo en cuenta las necesidades de la empresa y del consumidor.

Se basa en dos pilares fundamentales:

- La funcionalidad o satisfacción del usuario como punto de partida, en lugar de la propiedad del producto.
- La planificación del sistema de negocio teniendo en cuenta las necesidades tanto de la empresa como del consumidor.

Considerando lo anterior, se pueden desarrollar diversos tipos de modelos de negocio basados en producto como servicio:

- Servicios orientados al producto, los cuales añaden servicios (como mantenimiento) al sistema de productos ya existente.
- Servicios orientados al uso, donde se fomenta el arrendamiento, el uso compartido o la utilización en grupo del producto.
- Servicios orientados al resultado, que proporcionan resultados concretos en un caso particular, por ejemplo, la creación de un ambiente agradable en la oficina.

Como resultado se afianza la durabilidad de la reutilización y se elimina el riesgo de que otros actores mayores desplacen del mercado a los actores más pequeños, aumentando los ingresos y reduciendo los costes de producción. Este modelo ayuda a reducir los costes de operación, ya que favorece las acciones de mantenimiento y la venta de servicios a los potenciales clientes, es decir, supone una ventaja a la hora de recuperar el valor residual del producto al final de su vida útil.

Estos modelos de negocio requieren un cambio profundo en la estructura empresarial del sector productivo, ya que implican el alejamiento del modelo lineal, la mejora tecnológica para aumentar la eficiencia y adaptar los subproductos a las necesidades de cada proceso de producción y la comunicación entre todos los actores para alcanzar una reducción en los costes de producción y una mayor sostenibilidad. La estrategia empresarial debe centrarse en la planificación, la maximización del rendimiento y la clara identificación de los márgenes de negocio de cada producto. De esta forma cada empresa podrá participar en las redes de comunicación y conocer la disponibilidad de subproductos, consiguiendo aumentar sus beneficios.

El desarrollo de redes de comunicación circulares fortalece el sector productivo y demuestra la capacidad de la economía circular para valorizar subproductos y mejorar la posición competitiva de las empresas a nivel local, regional, nacional e internacional. Involucrar a proveedores, fabricantes, minoristas, transportistas, prestadores de servicios y clientes permite crear valor e internalizar la sostenibilidad en los modelos de negocio actuales y futuros. En conjunto, los modelos de producción y cadenas de valor circulares muestran cómo el sector productivo puede responder a la escasez de recursos y a los impactos ambientales y sociales derivados del modelo lineal, convirtiendo la transición hacia un sistema de producción circular en una oportunidad de negocio que genera beneficios intra e intersectoriales para las empresas, el medio ambiente y la sociedad en el corto, medio y largo plazo.

### 3.2. Influencia de la reutilización sobre la competitividad empresarial

La economía circular necesita de estrategias y modelos de negocio que ayuden a las empresas e instituciones públicas a hacer un uso eficiente de los recursos, reduciendo la cantidad de residuos generados; al mismo tiempo que se elabora un marco regulatorio que asegure la correcta participación de todos los actores implicados. La implementación de estas estrategias se basa en acciones centradas en la reutilización y el reciclaje de productos de forma que se prolongue la vida útil de los materiales que forman parte del sistema productivo y económico. El resultado es un modelo circular más eficiente y sostenible en el tiempo, con menor impacto ambiental.

Este incremento en la eficiencia genera una reducción de sus costes operativos, derivados de un menor consumo de materias primas y el ahorro en la gestión de una menor cantidad de residuos. Además, la implementación de este tipo de prácticas supone una ventaja competitiva para las empresas, ya que tanto consumidores como socios colaboradores o inversores son cada vez más sensibles con aquellas iniciativas que tengan un menor impacto ambiental y sean sostenibles. Por lo tanto, desde el punto de vista empresarial evaluar y crear indicadores capaces de medir el grado de circularidad de las empresas o sus productos es fundamental para posicionar y garantizar su éxito.

Los indicadores que miden la economía circular han de tener en cuenta diversos aspectos en base a que las medidas centradas en la economía circular han de ser viables técnica y económicamente para las empresas. Al mismo tiempo han de generar rentabilidad económica y ser respetuosas para el medio ambiente. Por lo que se refiere a los indicadores técnicos, estos deben reflejar como de adaptado esta un sistema productivo o empresa a la reducción de residuos y generación de subproductos y su eficacia.

Por otro lado, la circularidad debe contemplar también aspectos económicos, ya que un sistema productivo circular requiere de una inversión en tecnología e innovación, la cual además de beneficios ambientales debe generar beneficios económicos a la empresa, por ejemplo, gracias a la recirculación de subproductos la empresa puede ver reducidos sus costes en materia prima. Finalmente, para corroborar que las prácticas implementadas por las empresas cumplen con los principios de la economía circular, es necesario disponer de indicadores ambientales capaces de medir el impacto que tienen dichas prácticas sobre el medio ambiente, y esto puede ser a través de la reducción de la huella de carbono, la generación de residuos, emisión de vertidos, entre otros.

Como forma de ejemplificar la idoneidad de establecer indicadores que monitoricen la implementación de la economía circular, se propone un ejemplo asociado a la reutilización del agua de un proceso industrial de alto consumo tras un tratamiento de reducción de la contaminación a través de sistemas avanzados de membrana (Tabla 1). El objetivo de estos indicadores es conocer el estado general de los recursos hídricos en

el territorio, considerando la influencia de las actividades industriales en la demanda de agua y la generación de aguas residuales. Estos indicadores permiten hacer frente a las posibles barreras existentes en la implementación de la economía circular, al mismo tiempo que permiten lograr la replicabilidad de las medidas de actuación desarrolladas en el territorio.

Tabla 1. Propuesta de indicadores para la monitorización de la implementación de la economía circular para el ejemplo concreto de la reutilización del agua industrial tras un tratamiento de descontaminación por membranas. Fuente: elaboración propia.

<b>Indicador</b>	<b>Definición</b>
<b>Indicadores de Captación (IC)</b>	<b>IC.1. Porcentaje de agua captada para uso urbano sobre el volumen total de agua captada.</b> Este indicador se refiere a la cantidad total de agua captada para consumo humano (uso consuntivo).
	<b>IC.2. Eficiencia de los sistemas de captación de agua.</b> Evaluación de la eficiencia de las infraestructuras de captación, considerando la capacidad de almacenamiento para la que fueron diseñadas, así como la influencia del cambio en las condiciones climáticas de la zona de estudio.
	<b>IC.3. Costes de operación y mantenimiento.</b> Indicadores centrados en los costes de operación y mantenimiento de las infraestructuras de captación de agua para identificar casos en los que la antigüedad de la infraestructura afecta su desempeño técnico y económico.
<b>Indicadores de Suministro (IS)</b>	<b>IS.1. Cantidad de energía utilizada por m<sup>3</sup> de agua potable.</b> Indicador que cuantifica el consumo energético asociado al proceso de tratamiento de agua potable con el fin de establecer su huella ecológica.
	<b>IS.2. Origen de la energía utilizada en el proceso de tratamiento de agua.</b> Identificación del origen de la energía y determinación de las áreas donde es necesaria una inversión en energías renovables.
	<b>IS.3. Porcentaje de agua perdida por fugas en la red de suministro.</b> El volumen de agua perdido por fugas debe considerarse dentro de los indicadores de economía circular debido a su

	<p>alto impacto en la disminución del volumen de agua disponible.</p> <p><b>IS.4. Costes de producción y distribución de agua potable.</b> El objetivo es determinar el impacto económico del tratamiento y suministro de agua potable, considerando su eficiencia económica. Identificar las infraestructuras con mayores costes puede ayudar a desarrollar medidas específicas que mejoren la eficiencia del proceso y reduzcan los costes asociados.</p> <p><b>IS.5. Grado de inversión en equipamiento.</b> Conocer el nivel de inversión destinado a la modernización de las plantas de tratamiento y de la red de distribución de agua potable.</p> <p><b>IS.6. Volumen de agua disponible liberado por la reutilización de agua industrial.</b> Se refiere al volumen de agua potable convencional disponible para suministro urbano y/o agrícola debido a la reducción de la presión de demanda ocasionada por la reutilización de aguas residuales industriales.</p>
<b>Indicadores de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales (IATAR)</b>	<p><b>IATAR.1. Volumen de aguas residuales tratadas respecto al total de agua suministrada.</b> Permite conocer el grado de tratamiento de aguas residuales en un área determinada, e identificar debilidades y oportunidades en la depuración.</p> <p><b>IATAR.2. Energía consumida respecto al volumen de agua tratada.</b> Determinación del consumo energético asociado al proceso de tratamiento de aguas residuales para establecer su huella ecológica.</p> <p><b>IATAR.3. Grado de envejecimiento de los activos involucrados en el proceso de tratamiento.</b> La antigüedad de las instalaciones está directamente relacionada con su eficiencia; a mayor antigüedad, mayor riesgo de deterioro y averías (incrementando costes y huella ecológica).</p> <p><b>IATAR.4. Costes de tratamiento de aguas residuales.</b> El objetivo es determinar el impacto económico del tratamiento de aguas residuales, considerando su eficiencia económica. Identificando las infraestructuras con mayores costes será posible diseñar medidas específicas que aumenten la eficiencia y reduzcan los costes operativos.</p>

	<p><b>IATAR.5. Grado de inversión en equipamiento.</b></p> <p>Cuantificación de las inversiones destinadas a mejorar las plantas de tratamiento de aguas residuales, como indicador de la capacidad técnica de las instalaciones.</p>
	<p><b>IATAR.6. Indicadores microbiológicos.</b></p> <p>La legislación vigente incluye una serie de bacterias, virus y otros organismos que deben ser monitorizados por los operadores para reducir el impacto ambiental de los efluentes de las plantas de tratamiento.</p>
<b>Indicadores de Reutilización (IR)</b>	<p><b>IR.1. Volumen de agua disponible para reutilización.</b></p> <p>Debe considerarse el volumen de aguas residuales tratadas generado en cada planta de tratamiento, para su uso como fuente de agua. Este indicador relaciona los efluentes con sus posibles usos, considerando la demanda.</p>
	<p><b>IR.2. Costes de producción, operación y mantenimiento de la infraestructura de agua regenerada.</b></p> <p>Estos valores permiten determinar el impacto económico de la reutilización del agua en la empresa, considerando su eficiencia técnica, económica, ambiental y social.</p>
	<p><b>IR.3. Indicadores microbiológicos.</b></p> <p>Se requiere monitorizar microorganismos cuando el usuario final potencial es el sector agrícola.</p>
	<p><b>IR.4. Indicadores fisicoquímicos.</b></p> <p>Sustancias que deben eliminarse del agua residual industrial para que pueda reutilizarse en el propio proceso de producción sin afectar el rendimiento del equipo ni la calidad del producto final.</p>
<b>Indicadores de Ecosistémicos (IE)</b>	<p><b>IE.1. Caudales ambientales mínimos.</b></p> <p>Identificación y monitoreo de los caudales mínimos necesarios para mantener el equilibrio del ecosistema. Este indicador evalúa el grado de impacto en los ecosistemas acuáticos y ayuda a identificar aquellos susceptibles de recibir agua regenerada para su conservación.</p>
	<p><b>IE.2. Concentración de contaminantes prioritarios en el ecosistema.</b></p> <p>Monitoreo de sustancias prioritarias y contaminantes emergentes para garantizar la salud de los servicios ecosistémicos del agua.</p>
	<p><b>IE.3. Nivel freático de masas de agua superficiales y subterráneas.</b></p> <p>Monitoreo del nivel de las masas de agua para conocer el</p>

	nivel de presión antrópica, así como el mantenimiento o incremento del nivel freático como resultado de la reutilización de agua industrial.
--	--

La implementación de la economía circular en los procesos productivos implica la revalorización de la cadena de producción en todas sus direcciones, ya que los subproductos se convierten en las nuevas materias primas de proximidad dentro del tejido empresarial nacional, regional y local. Si las empresas pueden ofrecer productos y servicios a otras empresas que puedan utilizarse a lo largo de su ciclo productivo, obtienen mayores oportunidades de crecimiento, así como una mayor resiliencia ante la inestabilidad de los mercados nacionales e internacionales. La reintroducción de subproductos en los procesos productivos fomenta la I+D+i en los sectores del reciclaje y la gestión de subproductos, reduciendo el coste de la gestión de residuos y su impacto ambiental.

La revalorización de los subproductos y las cadenas de producción, lograda mediante la economía circular, genera un beneficio económico clave para afrontar el nuevo paradigma socioeconómico que surge a medio y largo plazo. Alcanzar una mayor eficiencia productiva y un mejor aprovechamiento de las nuevas materias primas también contribuye a aumentar la confianza del consumidor, inspirando a otras empresas a adoptar un nuevo modelo de producción. Como se analiza en este estudio, la economía circular aplicada a los procesos productivos conduce a una red empresarial sólida, innovadora y resiliente, que garantiza el crecimiento económico, el empleo y la sostenibilidad.

Desde el punto de vista cuantitativo, no existe una metodología universal para medir la eficiencia técnica, económica y ambiental asociada a la implementación de la economía circular. Estos indicadores, pese a ser considerados de forma conjunta, han de ser calculados de manera independiente con tal de acercarse lo más posible a la dinámica de las redes empresariales creadas entre las empresas y las instituciones públicas. Gracias a estos indicadores se obtiene una información muy valiosa para las empresas, ya que pueden ser conocedoras de la dirección que deben tomar para potenciar los beneficios asociados a la economía circular.

#### **4. La reutilización del agua en pequeñas poblaciones: Importancia de los servicios ecosistémicos en los procesos de toma de decisión**

El concepto de Economía Circular se ha popularizado debido a la presión que la economía lineal tradicional ejerce sobre la disponibilidad de recursos naturales. La idea es reducir el impacto que los procesos de producción y consumo tienen sobre el medio ambiente a través del aprovechamiento de todos los subproductos derivados de los procesos productivos. La economía circular surge en contraposición con el modelo de economía lineal tradicional, donde no hay un aprovechamiento directo de los subproductos que se generan en la fabricación de los diferentes bienes de mercado. De tal forma que los desechos derivados de este tipo de producción y el elevado consumo de materias primas que se necesita para hacer frente a la demanda repercuten directamente en el equilibrio de los ecosistemas y en la disponibilidad de materias primas (Castellet-Viciano et al., 2022).

El papel de la economía circular adquiere especial importancia en el sector del agua ya que se trata de un recurso fundamental para la vida humana y los organismos, además de ser una materia prima esencial para una amplia variedad de sectores económicos y productivos. Esta situación hace que la disponibilidad de agua dulce, tanto en cantidad como en calidad, sea un elemento clave para mantener el desarrollo económico. Sin embargo, este desarrollo se ha producido a costa de la sobreexplotación y la contaminación de las masas de agua cuya situación empeora año tras año debido a los cada vez más frecuentes y prolongados períodos de sequía atribuidas a las nuevas condiciones climatológicas (Gössling et al., 2012).

Centrando la atención en el ciclo urbano del agua, la economía circular adquiere mayor relevancia en la etapa de tratamiento del agua residual. Los avances tecnológicos actuales permiten que el agua regenerada tenga los niveles de calidad adecuados en función de los usos para los que se va a destinar. De este modo, el agua residual se convierte en un recurso hídrico alternativo que asegura la disponibilidad de agua y reduce la presión sobre las masas de agua convencionales, garantizando su sostenibilidad a corto, medio y largo plazo. La normativa que regula los criterios de

calidad y los diferentes usos a los que se puede destinar el agua regenerada se fundamenta en el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre y en el Reglamento del Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua (2020/741/UE). La novedad del reglamento europeo se fundamenta en la escasez de recursos hídricos en la Unión Europea y la necesidad de proteger las masas de agua dentro del contexto de las nuevas condiciones climáticas y el aumento de la demanda agrícola, industrial y urbana.

Desde un punto de vista tecnológico, la regeneración del agua puede ser realizada tanto con tratamientos intensivos (coagulación, adsorción, membranas, tratamiento iónico, entre otros) como con tratamientos extensivos (humedales artificiales). La diferencia principal entre ambos tratamientos radica en los equipos utilizados y en el consumo energético necesario, siendo los tratamientos intensivos los que mayor consumo tienen. Por el contrario, los humedales artificiales poseen una menor tecnificación y un menor consumo energético, siendo comúnmente utilizados para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades, pero también como tratamiento terciario ya que permite alcanzar buenos niveles de calidad en el efluente (Rousseau et al., 2008).

Utilizados como tratamientos terciarios, los humedales pueden eliminar los sólidos en suspensión, patógenos y nutrientes, entre otras variables. Con respecto a los nutrientes, la eliminación de nitrógeno se logra aplicando diferentes esquemas de operación (Albuquerque et al., 2012). Con respecto al fósforo, su capacidad de retención es algo más limitada, pero se compensa gracias al uso de materiales de alta capacidad de adsorción (Vymazal, 2001). Un buen diseño y mantenimiento garantiza unos efluentes de elevada calidad y, además, se pueden recuperar los nutrientes a través del aprovechamiento de la vegetación acuática generada y/o combinando el tratamiento de las aguas residuales con la acuicultura.

El potencial que poseen los humedales artificiales para actuar como tecnología de tratamiento terciario del efluente de un secundario es elevado. Como ventaja adicional, los humedales artificiales contribuyen a la conservación de la flora y la fauna ya que actúan como hábitat, generando un beneficio social y ambiental directo en su área de influencia. Más concretamente, los humedales artificiales han demostrado ventajas en términos de estética, menor consumo de energía y construcción y operación más

económicas. Factores relacionados con el tamaño del humedal, la biodiversidad estructural como hábitat y características de diseño en cuanto al flujo subsuperficial o superficial pueden potenciar la riqueza ecosistémica. Un ecosistema ofrece servicios de gran valor como puede ser la protección del suelo frente a la erosión, capacidad de retención de carbono, regulación del clima o la calidad del aire o servicios de soporte para la conservación de la biodiversidad y el hábitat para diferentes especies de animales y plantas. Los ecosistemas generan un beneficio social y ambiental que carecen de valor de mercado, pero que deben ser cuantificados económicamente para ser confrontados a los costes y analizar la viabilidad del proyecto.

#### **4.1. Humedales artificiales como tratamiento de las aguas residuales en pequeñas poblaciones**

Los humedales artificiales se convierten en una opción de tratamiento terciario del agua residual en pequeñas poblaciones debido a su versatilidad y adaptabilidad al territorio. Esto genera una serie de impactos sociales y ambientales que deben ser debidamente identificados con el fin de promover la reutilización posterior del agua regenerada. Los humedales artificiales fomentan la economía circular y la reutilización en pequeñas poblaciones donde, actualmente, no se están implementando acciones de mejora de la calidad del agua ni esquemas de reutilización. Por lo tanto, un sistema de tratamiento que incluya un humedal artificial como tratamiento terciario busca un mayor aprovechamiento del agua, con unos usos ambientales, económicos y sociales claros: renaturalizar el ecosistema, mejorar la biodiversidad, riego de zonas verdes, fuentes ornamentales y la mejora del estado ecológico de algunos barrancos.

Los humedales artificiales se sirven tanto de los procesos de crecimiento de la vegetación y los microorganismos, como de las condiciones fisicoquímicas de los lechos filtrantes para retirar los contaminantes del agua y conseguir así un efluente que cumple (y supera) con los criterios de calidad establecidos en la normativa vigente. De tal forma que, en función de la carga contaminante que se quiera eliminar, el tamaño del humedal varía. El uso de humedales artificiales como tratamiento terciario busca afinar la calidad de las aguas depuradas, por lo que sus dimensiones serían adaptables a los requerimientos de espacio. Como resultado, las principales ventajas que se obtienen son: (i) bajos costes de inversión, (ii) sencillez operativa, (iii) inexistencia de averías (al

carecer de equipos electromecánicos), (iv) consumo energético nulo o casi nulo, y (v) bajos costes de explotación y mantenimiento.

La generación de agua residual en las pequeñas poblaciones es un aspecto que ha de tenerse en cuenta fruto del impacto ecosistémico que genera la contaminación. En consecuencia, es imperativo reforzar los procesos de tratamiento de aguas para garantizar el estado ecológico de las masas de agua y aumentar el volumen de agua disponible a través de agua regenerada. Pese a la ausencia de imperativo legal relativo a la necesidad de depuración en pequeñas poblaciones, el establecimiento de tecnologías blandas que permitan reducir el nivel de contaminación orgánica en los ecosistemas hídricos resulta esencial. La relevancia social de este planteamiento es clara: una mejora en la calidad del agua depurada en pequeñas poblaciones que ayudará a recuperar los ecosistemas circundantes y podrá ser usada como fuente de agua no convencional para fines agrícolas y urbanos.

Este último punto tiene como ventaja adicional la reactivación de los territorios rurales como potenciadores del desarrollo productivo. En España hay un elevado número de municipios alejados de los grandes núcleos de población, dispersándose a lo largo del territorio nacional (Tabla 2). Este hecho se une a los condicionantes comentados anteriormente, dificultando todavía más la gestión de las aguas residuales, e, incluso, las oportunidades de reutilización del agua regenerada. Por lo tanto, considerar a esta tipología de municipios como clientes potenciales resulta esencial para alcanzar los objetivos ambientales, sociales y económicos de la economía circular.

Tabla 2. Municipios totales a nivel nacional según el número de habitantes según los datos del INE para 2022.

Número de habitantes	Municipios totales a nivel nacional
Menos de 200	2.580
Entre 200 y 500	1.424
Entre 500 y 1.000	718
Entre 1000 y 5.000	1.823
Entre 5.000 y 10.000	545
Entre 10.000 y 50.000	610
Más de 50.000	148
<b>TOTAL</b>	<b>8.131</b>

Como se observa en la Tabla 2, los municipios con menos de 500 habitantes representan, prácticamente, la mitad del total de municipios en España. Esto supone un número significativo de usuarios potenciales de los humedales artificiales concebidos como tecnologías de tratamiento terciario destinadas a promover la reutilización y la economía circular. Cabe tener en cuenta que estas poblaciones suelen tener dificultades técnicas y económicas para la instalación de EDARs, ya que los costes de instalación y mantenimiento, así como la necesidad de monitorizar las instalaciones suponen un hándicap para los gestores locales del ciclo del agua.

En el caso concreto de la Comunidad Valenciana, y teniendo en consideración el valor de los habitantes equivalentes (h.e.), se pueden dividir las depuradoras en diferentes grupos que reflejan el tamaño de las instalaciones. Este dato es relevante ya que los usuarios potenciales son pequeñas poblaciones cuyas tecnologías de tratamiento de las aguas residuales necesitan de un tratamiento terciario complementario para mejorar la calidad del efluente vertido. En la Tabla 3 se recoge la agrupación de las depuradoras de la Comunidad Valenciana indicando, además, la tecnología de tratamiento utilizada. Los grupos considerados se corresponden con EDARs que tratan menos de 1.000 h.e., entre 1.000 y 2.000 h.e., entre 2.000 y 10.000 h.e., entre 10.000 y 20.000 h.e., entre 20.000 y 50.000 h.e. y aquellas EDARs que tratan más de 50.000 h.e.

Tabla 3. EDARs de la Comunidad Valenciana clasificadas según h.e. y tecnología empleada. Elaboración propia a partir de datos de la EPSAR.

	<1.000	1.000–2.000–		10.000–20.000->			Total
		2.000	10.000	20.000	50.000	50.000	
<b>AIREACIÓN PROLONGADA</b>	215	43	66	13	17	7	361
<b>BIODISCOS</b>	52	2	4	-	-	-	58
<b>FANGOS ACTIVOS</b>	4	2	3	8	6	17	40
<b>HUMEDAL</b>	3	-	-	-	-	-	3
<b>LECHO TURBA</b>	8	-	1	-	-	-	9
	<b>282</b>	<b>47</b>	<b>74</b>	<b>21</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>471</b>

Tal y como se puede observar, la tecnología de aireación prolongada es la más usada en poblaciones con menor número de h.e., es decir, poblaciones pequeñas (un total de 215 depuradoras que tratan una carga orgánica menor a 1.000 h.e.). Además, existen un total

de 43 depuradoras que tratan una carga orgánica de entre 1.000 y 2.000 h.e., así como 66 depuradoras que dan servicio en poblaciones entre 2.000 y 10.000 h.e. Estos valores son relevantes ya que representan casi el 70% del total de depuradoras ubicadas en la Comunidad Valenciana. Por otro lado, las tecnologías más naturales (humedales y lecho de turba) tienen menor presencia en general, estando relegadas a poblaciones que tratan menos de 1.000 habitantes equivalentes, con solo 11 instalaciones en toda la Comunidad Valenciana. Estos datos revelan la potencialidad de implementación de los humedales artificiales en el territorio con el fin de mejorar la calidad de las aguas residuales tratadas, generando un efluente de gran calidad apto para usos ambientales (renaturalización de los ecosistemas hídricos naturales), agrícolas (regadío de explotaciones cercanas y revalorización de explotaciones inutilizadas por falta de rendimiento agrícola y/o agua) y urbanos (fuentes, riego y baldeo de calles).

Los sistemas naturales de depuración son cada vez más necesarios para garantizar la disponibilidad de agua tanto en cantidad como en calidad, a través de infraestructuras que se integran en el medio ambiente. Este tipo de soluciones es especialmente relevante en pequeños municipios o pequeñas urbanizaciones que se encuentran cerca de zonas naturales, por los grandes beneficios ambientales y sociales que se ha demostrado que tienen. La comparación entre los beneficios obtenidos y los bajos costes de inversión y de operación y mantenimiento hace que este tipo de sistemas de tratamiento de aguas residuales se conviertan en una solución viable tanto técnica como económicamente a largo plazo.

#### **4.2. Análisis de los servicios ecosistémicos de los humedales artificiales y su importancia en los proyectos de reutilización del agua**

La situación actual del medio ambiente implica la consideración de los beneficios que las acciones y medidas de gestión generan sobre los ecosistemas a corto, medio y largo plazo. El valor que el medio ambiente genera para la sociedad es evidente, sin embargo, esta importancia no está siendo debidamente captada e incluida en los procesos de toma de decisiones fruto de la complejidad de cuantificar qué valor tiene un activo ambiental o ecosistema en un determinado territorio. Esta situación unida a que, en muchas ocasiones, la degradación ambiental se produce lejos de los núcleos urbanos

ocasiona que la población no sea consciente del valor y la importancia de los ecosistemas, así como de la necesidad de implementar determinadas acciones dirigidas a conservarlos y/o recuperarlos.

La evaluación del beneficio social y ambiental que genera un proyecto supone una forma eficaz de reflejar la importancia de dicha acción de una forma fácilmente entendible para la sociedad en general. Esta evaluación se sirve de metodologías que cuantifican esos beneficios, es decir, calculan el valor monetario del beneficio social y ambiental generado gracias a la implementación de la medida. La utilización de estas metodologías supone un pilar fundamental dentro del análisis de costes y beneficios de un proyecto ya que actúan como herramientas de modelización del medio ambiente, aportando un análisis del escenario base, así como de las mejoras ambientales y sociales que se pueden llegar a conseguir gracias a la implementación del proyecto.

Debido a la complejidad inherente a un ecosistema, la formulación de metodologías es compleja, por ello la mayor parte de los métodos de valoración existentes tienen como pilar fundamental la opinión que tiene el consumidor del activo ambiental. En todos ellos se estima el valor monetario a partir de sus decisiones y de su disposición a pagar o a ser compensado. Sin embargo, nuevos estudios están implementando otro tipo de metodologías cuyo enfoque de aplicación se aleja de las opiniones y decisiones del consumidor para centrarse en una aproximación econométrica.

La elección de cada una de ellas se hará en función del ecosistema a analizar y del tipo de medida/proyecto que se vaya a implementar. Independientemente de la metodología seleccionada, ser capaces de calcular el valor monetario de los beneficios sociales y ambientales permite dar valor al medio ambiente y concienciar a la población acerca de la importancia de implementar acciones de conservación y recuperación. Además, el valor obtenido puede ser incluido en los procesos de toma de decisión aportando más información sobre las opciones de gestión ambiental disponibles.

Los humedales artificiales permiten mejorar la calidad del efluente de las depuradoras en pequeñas poblaciones para que éste sea reutilizado para uso ambiental y/o agrícola. La implementación de esta tecnología tiene asociada una serie de costes relacionados con la inversión y el mantenimiento. Sin embargo, debido a la tipología de las

instalaciones, estos costes son menores que los de las tecnologías clásicas. De esta forma, los humedales artificiales generan diversos servicios ecosistémicos que tienen la capacidad de proveer numerosos beneficios sociales y ambientales gracias a la renaturalización del ecosistema y de la mejora en la calidad del agua. En la Tabla 3 se detallan los servicios ecosistémicos generados por dichos humedales artificiales considerando su uso como tecnología de tratamiento terciario en pequeñas poblaciones.

Tabla 4. Listado de servicios ecosistémicos asociados a humedales artificiales para mejora de la calidad del agua depurada en pequeñas poblaciones. Fuente: elaboración propia.

<b>Servicio ecosistémico principal</b>	<b>Servicio ecosistémico secundario</b>
<b>Aprovisionamiento</b> Son los recursos tangibles que se pueden obtener de los ecosistemas, cuya cantidad está limitada por el propio funcionamiento de los ciclos naturales de nutrientes, energía y materiales.	<b>Agua</b> Los humedales artificiales proveen de agua de calidad gracias al tratamiento de las aguas residuales provenientes de diferentes fuentes (urbana, industrial, lixiviados agrícolas y escorrentía de aguas pluviales, entre otros). El efluente obtenido es adecuado para la reutilización con fines ambientales y sociales (sectores productivos), permitiendo un abastecimiento continuo que satisfaga la demanda de agua.  <b>Biomasa</b> Los humedales artificiales se sirven de la flora para conseguir la eliminación de una amplia gama de contaminantes. Estas plantas crecen en el humedal hasta que finalmente deben ser podadas para que la eficiencia de depuración se mantenga. La biomasa obtenida puede ser reutilizada en diferentes sectores productivos como combustible y fuente de energía, afianzando los principios de la economía circular de forma intersectorial.
<b>Regulación</b> Estos servicios ecosistémicos surgen de los diferentes procesos ecológicos que se	<b>Clima</b> El humedal artificial permite regular el clima en su área de influencia gracias a la fijación de gases de efecto invernadero, metano y N <sub>2</sub> O que realizan las plantas. Este es un aspecto fundamental de su

<p>desarrollan en el seno del ecosistema y que afectan a la forma en la que los seres humanos gestionan el territorio.</p>	<p>funcionamiento ya que reduce el impacto ambiental de los procesos de tratamiento de agua residual.</p>
	<p><b>Absorción y almacenamiento de CO<sub>2</sub></b> La vegetación característica del humedal y la propia lámina de agua son capaces de absorber dióxido de carbono, permitiendo una reducción de este gas en las áreas de estudio, así como en su área de influencia.</p>
	<p><b>Mejora de la calidad del agua</b> El objetivo fundamental del humedal artificial es la mejora de la calidad del efluente del tratamiento secundario en el territorio. Gracias a los humedales se consigue eliminar fósforo y otros contaminantes que convierten al efluente final en un recurso hídrico de gran calidad con potencialidad de ser usado para fines ambientales y sociales.</p>
	<p><b>Polinización</b> La flora característica del humedal artificial, así como el resto de las especies vegetales que se desarrollen en su área de influencia favorecen los procesos de polinización natural, aportando resiliencia al ecosistema y reforzando la presencia de flora en el área de influencia del humedal artificial. La polinización animal es un servicio ecosistémico proporcionado principalmente por los insectos, pero también por algunos pájaros y murciélagos.</p>
	<p><b>Regulación de los flujos del agua</b> Disponer de un efluente de calidad permite el uso ambiental del caudal con el objetivo de mantener el volumen mínimo de agua que permita el mantenimiento de diversas áreas naturales como barrancos y cauces fluviales. Bajo esta premisa se pueden recuperar y mantener diversas zonas con importancia ambiental y social.</p>
	<p><b>Control de plagas</b> El correcto equilibrio de la fauna presente en los humedales artificiales permite controlar a los insectos y parásitos responsables de diferentes plagas que afectarían a la biodiversidad del área de estudio, así como de zonas adyacentes fruto de la</p>

	<p>movilidad de las especies que actúan como vectores.</p>
	<p><b>Fauna</b></p> <p>La construcción de un humedal artificial permite la creación de un nuevo hábitat donde no solo conviven las especies de flora y fauna consideradas durante el proceso de diseño, sino que la renaturalización del ecosistema permite el asentamiento de nuevas especies que favorecerán el mantenimiento y equilibrio del ecosistema a largo plazo. El mantenimiento de especies y su diversidad genética es un beneficio para la sociedad ya que supone conservar la herencia biológica, la conectividad entre los espacios naturales y el valor intrínseco del ecosistema.</p>
	<p><b>Flora</b></p> <p>El desarrollo ecosistémico que se consigue gracias a la existencia del humedal artificial permite, no solo el establecimiento de fauna, sino, que permite el desarrollo e introducción de especies de flora típicas del área donde se ubique el humedal artificial. Esto aporta robustez al ecosistema y a la capacidad de renaturalización que se consigue con la mejora en la calidad de las aguas residuales.</p>
<p><b>Culturales</b>            Estos servicios ecosistémicos hacen referencia a los beneficios intangibles que los humedales artificiales y su interacción con los seres humanos aportan a la sociedad.</p>	<p><b>Recreacional y turístico</b></p> <p>Las oportunidades recreativas basadas en la naturaleza desempeñan un papel importante en el mantenimiento de la salud mental y física (por ejemplo, caminar y practicar deportes en parques y espacios verdes urbanos) así como oportunidades de generación de ingresos para los proveedores de servicios de turismo natural. El paisaje generado y recuperado afecta positivamente a la población y actúan como motor económico del territorio.</p> <p><b>Actividades educativas y de investigación</b></p> <p>Los humedales artificiales permiten realizar actividades educativas destinadas a conocer y acercar a la población y a los escolares el funcionamiento de los humedales artificiales para la mejora de la calidad del agua, así como para acercar los diferentes usos que ese efluente puede tener. Al</p>

	<p>misma tiempo, se pueden realizar diversas actividades investigadoras desde diferentes ámbitos académicos con el fin de monitorizar el funcionamiento de los humedales artificiales.</p>
	<p><b>Sentimiento de pertenencia</b> La conservación y renaturalización de los ecosistemas hídricos y sus zonas de influencia en las áreas de estudio permite mantener las costumbres de la población, reforzando su implicación para con la conservación del ecosistema.</p>
	<p><b>Valor estético</b> El buen estado y conservación de los ecosistemas hídricos y sus zonas de influencia en las áreas de estudio aporta un gran significado estético que puede ser fuente de inspiración para el arte, la cultura y el diseño.</p>

Al hablar de humedales artificiales los servicios ecosistémicos de regulación (clima, CO<sub>2</sub>, mejora de la calidad del agua, polinización, regulación de los flujos del agua y control de plagas) su importancia es clara, sin embargo, no generan un “producto comercializable” con un valor económico. Lo mismo ocurre con los servicios ecosistémicos culturales (recreacional y turístico, actividades educativas y de investigación, sentimiento de pertenencia y valor estético). Si bien es cierto que se han considerado las actividades recreativas y turísticas, al estar hablando de humedales artificiales donde se busca depurar el agua al mismo tiempo que renaturalizar el ecosistema y permitir la vida de flora y fauna, este tipo de actividades no suponen un ingreso económico directo para los gestores del humedal artificial. Lo mismo ocurre con el servicio ecosistémico de flora y fauna, cuyo valor intrínseco está lejos de poseer un valor de mercado.

Sin embargo, los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento son relevantes para usarse como valor pívot, ya que poseen valor de mercado. Más concretamente, el servicio ecosistémico de aprovisionamiento de agua hace referencia a la cantidad de agua que se puede obtener del humedal cuya alta calidad la hace susceptible de ser usada como fuente de agua para usos como agricultura, riego urbano y mantenimiento

y recuperación de ecosistemas. Por lo que este servicio ecosistémico puede ser utilizado como valor de referencia para calcular los beneficios ambientales y sociales generados a través de metodologías económétricas.

## 5. Claves para Escalar la Reutilización de Agua

La puesta en marcha de proyectos de reutilización de agua constituye un referente fundamental para consolidar prácticas sostenibles en la gestión hídrica. En este proceso, la transferibilidad y la replicabilidad emergen como factores decisivos para ampliar el impacto de estas iniciativas y facilitar su integración en modelos de economía circular. En sectores con alta demanda de agua o en territorios marcados por la escasez, disponer de soluciones que puedan adaptarse y reproducirse en diversos contextos resulta indispensable. Así, la regeneración y reutilización del agua no solo optimizan los recursos disponibles, sino que también generan un marco versátil que puede aplicarse a múltiples sectores y regiones, abriendo el camino hacia una gestión del agua más resiliente, eficiente y sostenible.

### 5.1. Replicabilidad

La replicabilidad de los proyectos de reutilización de aguas residuales representa un eje estratégico para impulsar modelos de gestión hídrica más eficientes y, al mismo tiempo, fortalecer la economía de una región. Este concepto se refiere a la capacidad de repetir una experiencia en contextos diversos, con distintos actores, sectores o condiciones, demostrando que la solución es robusta, adaptable y útil más allá del entorno en el que fue creada, es decir, promover la reutilización de agua, ampliando su impacto a nuevos territorios y con fines distintos a los del proyecto inicial.

El proceso de replicabilidad implica, en primer lugar, identificar los sectores con mayor potencial para incorporar tecnologías de regeneración de agua (industrias, EDARs...), evaluando tanto la viabilidad técnica como las necesidades específicas de cada sector industrial o municipio. Además, el plan contempla la identificación de diferentes sectores que podrían emplear agua regenerada para reducir la presión sobre los recursos hídricos locales, diversificando las oportunidades de uso y ampliando los beneficios territoriales.

En la Figura 5 se muestra la propuesta de un Plan de Replicabilidad aplicado a la reutilización del agua, fomentando la economía circular. Este plan se articula a través de un proceso estructurado que comienza con la identificación y contacto de las partes interesadas. Posteriormente, se desarrolla una fase de planificación técnica, en la que se analizan las necesidades específicas de agua de cada empresa (en particular) o territorio (en general) y la disponibilidad del recurso en el entorno. En esta etapa se evalúa si existe agua residual in situ susceptible de regeneración; en caso contrario, se estudian alternativas basadas en la simbiosis industrial, donde otro usuario de agua, generalmente una industria que consume grandes volúmenes de agua actúe como suministradora de agua regenerada. Este análisis incluye la revisión de los volúmenes disponibles y de los costes económicos asociados para asegurar que la solución sea sostenible y económicamente viable. Si la simbiosis resulta inviable, se plantean otras opciones circulares; si es factible, se procede a la implementación del proyecto.

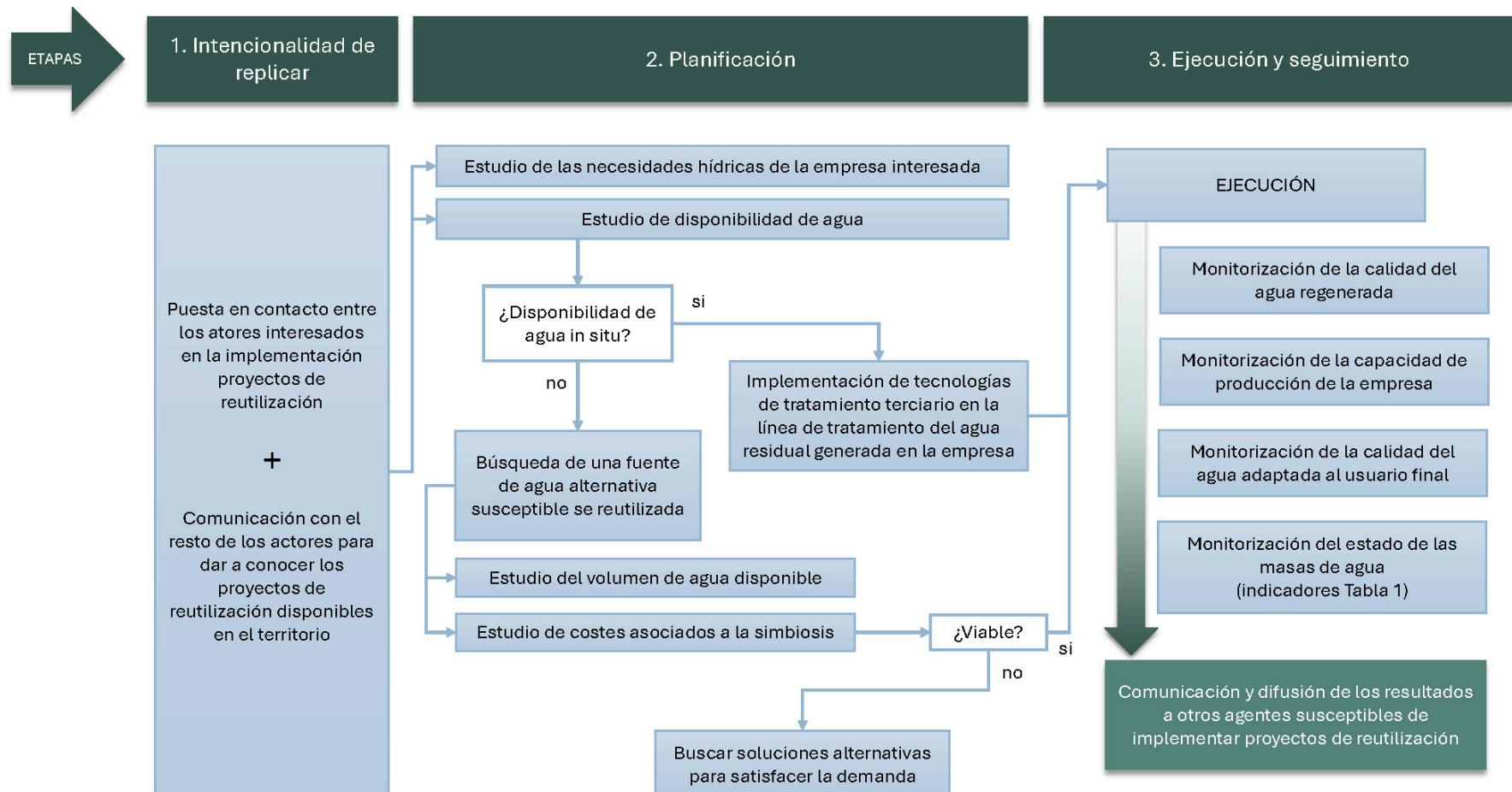


Figura 5. Propuesta de Plan de Replicabilidad aplicado a proyectos de reutilización del agua bajo el enfoque de la economía circular.  
Fuente: elaboración propia.

Implementar proyectos replicables exige la participación de todos los actores implicados en el ciclo urbano del agua, desde los consumidores (industrias, municipios...), los organismos públicos gestores de los recursos hídricos, administraciones y agentes económicos, para asegurar la difusión de los requisitos de calidad y cantidad que cada uso final demanda. Esta cooperación es esencial para crear una visión compartida y promover sinergias que faciliten la transición hacia un modelo circular. El impacto económico de esta replicabilidad es especialmente significativo. Interconectar empresas de distintos sectores mediante redes de suministro de agua regenerada fortalece el tejido empresarial regional, reduciendo la dependencia de fuentes externas o de condiciones climáticas cambiantes para la obtención de recursos. Esto aumenta la resiliencia del sistema productivo, reduce riesgos asociados a la escasez hídrica, promueve la innovación en el uso eficiente del agua y disminuye los costes a largo plazo derivados de la gestión de residuos y del consumo de agua potable.

## 5.2. Transferibilidad

Supone que los resultados, aprendizajes y conclusiones de un proyecto de reutilización puedan aplicarse a nuevos usuarios, sectores y territorios, incluyendo ámbitos tan relevantes como el abastecimiento y el tratamiento de aguas urbanas. Su capacidad para ofrecer soluciones eficaces a retos comunes de la gestión de aguas residuales, desde garantizar la salud pública hasta reforzar la protección ambiental, pone de manifiesto el valor de modelos que integran recuperación de recursos, eficiencia hídrica y principios de economía circular. Gracias a ello, los territorios cuentan con herramientas probadas para afrontar presiones crecientes sobre el recurso, fortaleciendo la cohesión y la sostenibilidad de sus sistemas hídricos.

La transferibilidad de proyectos de reutilización de agua permite adaptar tecnologías, metodologías y enfoques a contextos variados, contribuyendo a mejorar la seguridad hídrica, reducir la dependencia de fuentes tradicionales, disminuir impactos ambientales y fortalecer la economía local. Esta capacidad de adaptación es esencial para avanzar hacia territorios más resilientes, especialmente en un escenario global

marcado por la escasez de agua, el crecimiento demográfico y la necesidad urgente de soluciones circulares y sostenibles.

## 6. Riesgos y desafíos para la sostenibilidad hídrica

La creciente incidencia de fenómenos climáticos extremos, sequías prolongadas, olas de calor, reducción de caudales y mayor irregularidad en las precipitaciones, pone de manifiesto la urgente necesidad de transformar los modelos actuales de gestión hídrica. En este contexto, la transferibilidad y la replicabilidad de los proyectos de reutilización de agua se convierten en herramientas estratégicas para fortalecer la resiliencia de los territorios frente a las nuevas condiciones climáticas. La capacidad de adaptar (transferir) y reproducir (replicar) soluciones de regeneración de agua en distintos sectores y regiones permite ampliar el impacto de iniciativas circulares, ofreciendo opciones concretas para diversificar las fuentes de suministro, reducir la presión sobre los recursos convencionales y mitigar los efectos de la escasez.

Sin embargo, no poner en marcha este tipo de proyectos, o no escalar su aplicación, conlleva importantes costes de no acción, especialmente en escenarios de estrés hídrico creciente. La dependencia exclusiva de recursos hídricos tradicionales, profundamente vulnerables a la sequía, expone a los territorios a riesgos económicos, ambientales y sociales cada vez mayores: aumento del coste del agua, restricciones severas para la industria y la agricultura, disminución de la competitividad regional y deterioro de los ecosistemas que sostienen la vida y la actividad económica.

La falta de iniciativas replicables y transferibles limita la capacidad de los territorios para anticipar y absorber los impactos climáticos, perpetuando un modelo de gestión lineal que resulta insostenible en condiciones de variabilidad hidrológica extrema. Por el contrario, implementar soluciones basadas en la regeneración y reutilización del agua permite construir redes hídricas más flexibles y diversificadas, capaces de estabilizar el suministro incluso en períodos de sequía severa. La ampliación de estas prácticas, apoyada en esquemas probados y adaptables, constituye un elemento esencial para garantizar la seguridad hídrica y reducir la vulnerabilidad territorial.

Frente a un escenario climático cada vez más incierto, no actuar implica asumir riesgos crecientes, mientras que promover la replicabilidad y transferibilidad de los proyectos de reutilización ofrece oportunidades reales para avanzar hacia modelos más sostenibles, circulares y resilientes. La sostenibilidad hídrica dependerá, en gran medida, de la capacidad de los territorios para adoptar estas soluciones de manera ágil, coordinada y a escala.

## 6. Conclusiones

La transferibilidad y replicabilidad de los proyectos de reutilización de agua son pilares esenciales para impulsar la transición hacia una economía circular robusta. Estas cualidades permiten adaptar soluciones probadas a diversos territorios, optimizar el uso de recursos, fortalecer la resiliencia económica y asegurar que las actividades humanas se desarrolleen dentro de los límites ecológicos del entorno que las sustenta.

La implementación de los principios de la economía circular y la ecoinnovación en los procesos de producción mejora toda la cadena de valor, ya que los subproductos se convierten en nuevas materias primas locales para las industrias nacionales, regionales y locales. Las empresas que desarrollan modelos de negocio que ofrecen productos y servicios reutilizables a lo largo de todo el ciclo de producción obtienen mayores oportunidades de crecimiento y una mayor resiliencia ante las inestabilidades del mercado, tanto a nivel nacional como internacional.

La revalorización del agua depurada proporciona una clara ventaja para el nuevo paradigma socioeconómico y ambiental a corto, medio y largo plazo, diferenciando claramente a aquellas empresas que optan por un uso responsable del agua del resto de empresas de la competencia. La ecoinnovación, la economía circular, el compromiso con la regeneración de aguas residuales industriales y la instalación de humedales artificiales en el territorio proporcionan una clara ventaja competitiva que permite a las empresas afrontar las fuerzas cambiantes que definen y modifican constantemente el mercado.

Para fomentar la reutilización del agua es necesario desarrollar nuevas regulaciones e incentivos por parte de las administraciones como forma de reducir las posibles

barreras iniciales que se encuentran las empresas a la hora de establecer esquemas de producción circular. Integrar el agua regenerada en los mercados hídricos existentes podría convertir la reutilización en una alternativa competitiva y atractiva frente a las fuentes convencionales. Los gobiernos y las autoridades hídricas han de establecer mecanismos de fijación de precios, subsidios o incentivos fiscales para alentar a que las industrias y los municipios opten por usar y producir agua regenerada gracias a la amplia variedad de tecnologías intensivas y extensivas disponibles. Mediante la adopción de una combinación de marcos regulatorios, avances tecnológicos, incentivos financieros y divulgación pública, la reutilización del agua puede pasar de ser una práctica alternativa a una solución generalizada. Estas medidas no solo ayudarían a mitigar la escasez de agua, sino que también contribuirían a un enfoque más circular y sostenible de la gestión de los recursos hídricos, garantizando la seguridad hídrica a largo plazo.

## 7. Referencias

- Accenture (2014). Circular Advantage. Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World without Limits to Growth, Accenture.
- Albuquerque, A., Makinia, J., Pagilla, K. (2012). Impacto de las condiciones de aireación en la remoción de bajas concentraciones de nitrógeno en un filtro biológico terciario parcialmente aireado. Ecol. Ing., 44 (2012), págs. 44 – 52.
- Castellet-Viciano, L., Hernández-Chover, V., & Hernández-Sancho, F. (2022). The benefits of circular economy strategies in urban water facilities. Science of The Total Environment, 844, 157172.
- Fraquelli, G. and Giandrone, R. (2003). Reforming the wastewater treatment sector in Italy: Implications of plant size, structure, and scale economies. Water Resources Research, 39.
- Gössling, S., Scott, D., Hall, C. M., Ceron, J. P., & Dubois, G. (2012). Consumer behaviour and demand response of tourists to climate change. Annals of tourism research, 39(1), 36-58.
- Knight, R.L., Clarke, R.A. and Bastian, R.K. (2001). Surface flow (SF) treatment wetlands as a habitat for wildlife and humans. Wat. Sci. Technol., 44(11–12) 27–37.
- Lee, J., Kim, H., Song, C., Kim, G. S., Lee, W. K., and Son, Y. (2020). Determining economically viable forest management option with consideration of ecosystem

services in Korea: A strategy after successful national forestation. *Ecosystem Services*, 41, 101053.

Molinos-Senante, M., Gómez, T., Caballero, R., & Sala-Garrido, R. (2014). Assessment of the economic efficiency of wastewater treatment plants: A metafrontier approach. *Revista De Estudios Regionales*, (100), 83-100.

Qasem, A., Zayed, T., & Chen, Z. (2010). A condition rating system for wastewater treatment plants infrastructures. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 2(3), 155-160. Aristovnik, A. (2015). Regional performance measurement of healthcare systems in the EU: A non-parametric approach. *Lex Localis*, 13(3), 579-593

Rhein, F.E. (2021). Green Innovation in the B2B Context. In: *The Dynamics of Green Innovation in B2B Industries. Forschungs-/Entwicklungs-/Innovations-Management*. Springer Gabler, Wiesbaden.

Rousseau, D. P., Lesage, E., Story, A., Vanrolleghem, P. A., & De Pauw, N. (2008). Constructed wetlands for water reclamation. *Desalination*, 218(1-3), 181-189.

UNESCO, 2021. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: El valor del agua, Naciones Unidas, 225.

Vymazal, J. (2001). Transformaciones de nutrientes en humedales naturales y construidos, Backhuys Publishers , Leiden, Países Bajos, págs. 1 – 93.

WWI (2017). Overcoming the global barriers to water reuse (2017). Available at: <http://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-25/issue-4/editorial-focus/water-reuse/overcoming-the-global-barriers-to-water-reuse.html>