

GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA REGENERADA EN UN ÁREA INDUSTRIAL

Francesc Hernandez Sancho



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



Xarxa
Càtedres de
**Transformació
del Model Econòmic**



**GENERALITAT
VALENCIANA**
Conselleria d'Hisenda
i Model Econòmic



UNIVERSITAT
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



UJI UNIVERSITAT
JAUME I



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

Contenido

1.	Introducción	1
2.	El agua regenerada como recurso.....	2
3.	El valor del agua regenerada.....	4
4.	Aproximación al modelo de reutilización en el sector Industrial.....	8
5.	Desarrollo del proyecto de reutilización de agua	8
5.1.	Análisis de los costes de implementación del proyecto	9
5.1.1.	Costes de inversión	9
5.1.2.	Costes de operación y mantenimiento	11
5.2.	Desarrollo de un modelo de tarifas de agua regenerada	12
5.2.1.	El precio del agua convencional como restricción	12
5.2.2.	Conglomerados industriales: Garantizar la sostenibilidad del proyecto	18
5.3.	Caso práctico	18
6.	Beneficios sociales y ambientales del proyecto	23
7.	Conclusiones.....	25

Tablas

Tabla 1.	Costes operacionales de diferentes tratamientos de agua regenerada. Adaptación de Iglesias et al. (2010).....	12
Tabla 2.	Características de las zonas industriales a abastecer	19
Tabla 3	Características de las zonas industriales a abastecer	19
Tabla 4	Costes por tratamientos terciarios.....	20
Tabla 5	Costes de amortización y operación	20
Tabla 6	Costes trimestrales agua de potable (red) según consumos y tarifas.	21
Tabla 7	Resultados sector 1: Situación actual y propuesta.....	22
Tabla 8	Sector 1: Costes de producción de calidad B1 y B2.....	22
Tabla 9	Resultados sector 2: Situación actual y propuesta.....	23
Tabla 10	Sector 2: Costes de producción de calidad B1 y B2.....	23

Figuras

Figura 1.	Dimensiones de la Economía Circular.....	2
Figura 2.	Representatividad de los consumos de agua de los diferentes usos. Fuente: FAO	3
Figura 3.	Elasticidad cruzada de la demanda (bien sustitutivo)	7
Figura 4.	Representación de los costes de inversión de una ERA.....	10
Figura 5.	Costes operacionales de una ERA	11

Figura 6. Tipos de tarifas de agua	13
Figura 7. Precio medio por comunidad (2016). Fuente: Instituto Nacional de Estadística	13
Figura 8. Precio medio del agua suministrada por comunidad (2016). Fuente: Instituto Nacional de Estadística.....	15

1. Introducción

El rápido crecimiento de la población y el actual sistema económico lineal, basado en el “coger-transformar-usar-tirar” que lo sustenta, es insostenible (Ghisellini et al., 2016; Turcu & Gillie, 2020). En este modelo de economía se utilizan materias primas y recursos (muchos de los cuales no son renovables) que se convierten en productos que luego se utilizan y desechan en un corto período de tiempo generando grandes cantidades de residuos que dañan el medio ambiente. Para hacer frente a esta situación, en el año 2015, la Comisión Europea puso en marcha un Plan de Economía Circular denominado “Cerrar el círculo: un plan de acción de la Unión Europea para la Economía Circular” (Guerra-Rodríguez et al. 2020). Este plan pretende promover un uso racional de los recursos manteniendo los productos y materiales en la economía durante el mayor tiempo posible, reduciendo al mismo tiempo la producción de residuos. Un modelo de economía circular pretende separar el crecimiento económico del consumo de recursos naturales y la degradación ambiental (Christis et al., 2019).

En este contexto, el concepto de Economía Circular ha ido ganando protagonismo en las últimas décadas con el fin de mantener los productos y materias primas en el sistema económico durante más tiempo. De esta forma se incrementa la eficiencia en el uso de recursos y se reduce la generación y disposición de los residuos generados en todo el conjunto de procesos. La Economía Circular implica que el flujo de materiales y residuos se vuelva circular, buscando la reutilización de las diferentes corrientes de residuos generadas a lo largo de todo el sistema productivo, eliminando la dependencia entre el crecimiento económico y el proceso productivo. Es un modelo que va más allá del reciclaje, es un sistema de aprovechamiento de recursos cuyo pilar es el uso de cuatro “Rs”: reducir, reutilizar, reparar y reciclar; y que se propone ir a la raíz del problema para ofrecer soluciones viables. Con este modelo de gestión de los recursos que ofrece el planeta se establece un ciclo circular que evita el despilfarro de los recursos naturales.

Figura 1. Dimensiones de la Economía Circular

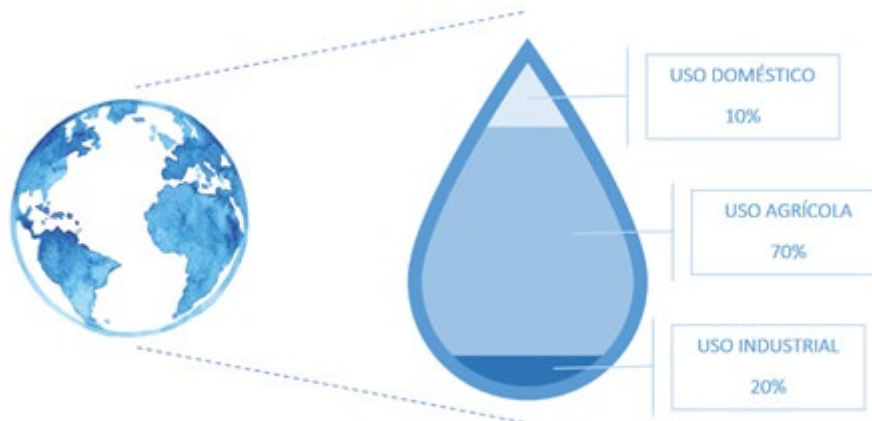


2. El agua regenerada como recurso

Uno de los recursos más vulnerables es el agua. El agua es un recurso muy valioso que no solo es esencial para la vida humana y de los organismos, sino también para muchos sectores económicos. Debido al incremento en la demanda de agua y los altos niveles de contaminación de las masas de agua la transición hacia un modelo económico circular es clave en la gestión de los recursos hídricos. El agua es esencial para mantener la vida y la sostenibilidad de los ecosistemas, pero también lo es para el desarrollo económico. Se estima que solo un 1% del agua existente en nuestro planeta, puede ser aprovechada para las actividades humanas y productivas. Esta escasez de agua en cantidad y calidad tiene consecuencias sobre el medio ambiente y el ámbito económico y social.

La mayor parte del consumo de agua tiene lugar en el sector agrícola, representando aproximadamente el 70%, seguido del uso industrial con un 20%, siendo minoritario el consumo de agua para uso doméstico, representando el 10% restante (Figura 2).

Figura 2. Representatividad de los consumos de agua de los diferentes usos. Fuente: FAO



En este sentido, el sector de tratamiento de aguas residuales cobra especial relevancia, mediante la aplicación de diversos tratamientos fisicoquímicos permite aprovechar el agua residual para otros usos. Los últimos estudios muestran cómo el desarrollo tecnológico actual permite adecuar el agua reutilizada a todos los usos, pudiendo ser utilizada de forma directa para los usos con criterios de calidad más exigentes o para otros procesos que requieran una calidad menor, en cuyo caso podría estar liberando recursos de mejor calidad para los usos más restrictivos en relación con la calidad exigida. De este modo, el agua residual se convierte en un recurso hídrico alternativo que asegura la disponibilidad de agua al tiempo que reduce la presión sobre los cuerpos de agua garantizando su sostenibilidad.

A nivel nacional, existe un marco normativo en materia reutilización de aguas basado en el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre (RD 1620/2007) que recoge los usos que pueden tener las aguas regeneradas. A su vez, en mayo de 2020, se publicó el Reglamento del Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua, que será aplicable a partir del 27 de junio de 2023 (2020/741/UE).

Dentro de esta nueva regulación se consideran los recursos hídricos de la UE como un bien escaso a salvaguardar en un contexto de cambio climático en el que se incrementa el uso del agua para fines agrícolas, industriales y urbanos.

Sin embargo, la reutilización del agua se enfrenta a numerosas barreras, que van desde la percepción del público hasta los desafíos tecnológicos, de seguridad y regulatorios de precios (WWI, 2017). Esto es debido principalmente a la necesidad de recuperar los costes de los distintos tratamientos a los que debe ser sometida el agua residual para alcanzar la calidad necesaria para su uso. Este último aspecto actúa en numerosas ocasiones como desincentivo. Para poder estimar la distribución de los costes implicados, es preciso considerar los costes de tratamiento, así como los asociados con la infraestructura de transporte de agua, la energía para el bombeo, dada la alta variabilidad de costes dependiendo de la posición relativa de las zonas objeto de abastecimiento respecto a las EDAR. Esta circunstancia ocasiona que el atractivo de la reutilización del agua varíe según el caso, siendo el más favorable, cuando la infraestructura ya existe y las inversiones adicionales necesarias son limitadas. Del mismo modo, permite entrever que el coste de la reutilización del agua debe ser considerado en un contexto amplio para incluir, por un lado, toda la cadena de valor suministrada por la industria y, por otro lado, el proceso de gestión de cuencas hidrográficas donde la reutilización puede representar una medida con importantes beneficios colaterales.

3. El valor del agua regenerada

El agua regenerada debe ser reconocida como un elemento fundamental en la estrategia de gestión del ciclo urbano del agua con el fin de conservar y proteger los recursos hídricos. Así pues, se trata de una fuente alternativa que sustituye el uso de agua procedente de fuentes convencionales. Para aplicar un modelo de economía circular centrado en la reutilización es necesario implementar nuevas tecnologías e infraestructuras que aseguren tanto la calidad del agua como su distribución y almacenamiento.

Pero para que un proyecto de reutilización de agua residual tenga éxito, éste debe superar una serie de barreras entre las que se encuentran las de tipo social, relacionadas con la reticencia de la sociedad a hacer uso del agua regenerada, y económicas, ya que

el agua residual requiere de unos tratamientos adicionales para su reutilización, así como de una infraestructura adecuada para hacerla llegar al usuario final, lo cual conlleva unos costes que ni las empresas distribuidoras ni los usuarios finales quieren asumir. Con el fin de superar las limitaciones económicas es necesario dar un valor de mercado al agua regenerada para poder desarrollar estructuras tarifarias apropiadas. Por lo tanto, superadas las limitaciones sociales lo que garantizará la viabilidad económica del proyecto será el valor del agua regenerada y su integración en un sistema de tarifas competitivo.

A continuación, se presentan diferentes formas de dar valor al agua regenerada:

- **Fijación de precios del agua para la recuperación de costes**

La tarificación del agua puede tener dos funciones. La primera es la recuperación de costes, destinada a pagar los costos de gestión, mantenimiento y renovación de las redes públicas de abastecimiento de agua y saneamiento. La segunda función es influir en el comportamiento de los usuarios para inducir un uso más eficiente del recurso hídrico (CEPS, 2012). El diseño del sistema de precios juega un papel particularmente importante en áreas con estrés hídrico, y, por lo tanto, puede desempeñar un papel vital para garantizar la recuperación de costos para los operadores de tratamiento de aguas residuales que buscan introducir esquemas de reutilización.

- **Comercio de derechos de agua**

Un sector puede intercambiar agua con otro sector donde el valor del usuario o el valor de la producción por unidad de agua es mayor. Hay dos niveles de mercados de agua de los simples entre dos usuarios a complejos que pueden involucrar a todos los usuarios del agua. Un caso exitoso de mercados de agua para su reutilización puede extraído del proyecto EPI Water de la cuenca del río Llobregat cerca de Barcelona que muestra un comercio de agua intersectorial (EPI Water, 2012). Los agricultores han acordado mediante un sistema voluntario reducir el uso de agua dulce para riego a cambio de aguas residuales tratadas, liberando así más agua dulce para otros usos. El sistema se autofinancia. El costo de la regeneración del agua lo pagan los usuarios domésticos, en aplicación del principio de quien contamina paga, y el costo de distribución del agua

reciclada es pagado por agricultores ya que se benefician de su uso. La mayor disponibilidad de agua dulce redujo la necesidad de reducir riego en temporadas de sequía, aumentando así la producción e ingresos agrícolas. Los mercados del agua y el comercio del agua son, en principio, eficientes y efectivos en la asignación de los escasos recursos hídricos a los usos más productivos y, por lo tanto, pueden ser un esquema atractivo para el tratamiento de aguas residuales.

- **Pago por servicios ecosistémicos (PSA)**

La distribución de costes y beneficios entre los usuarios del agua y otras partes interesadas puede tomar la forma de transferencias financieras entre ellos. Los PSA se pueden utilizar para compensar los costos directos o la pérdida de beneficios derivados de la protección de los recursos hídricos. Se ha argumentado que los PSA también pueden incluir pagos para evitar la contaminación, cuando la contaminación está vinculada a la provisión de un bien público (CEPS, 2012). En este caso, los pagos ayudarían a los contaminadores a invertir en medidas de protección del agua, especialmente cuando carecen de los medios económicos para hacerlo por sí mismos. Si bien, la valoración de los servicios ecosistémicos presenta algunas limitaciones, por En primer lugar, la falta de mercados que reconozcan el valor económico de muchos servicios ambientales que la sociedad sí reconoce. En segundo lugar, el costo de oportunidad depende de la capacidad adquisitiva de quien lo valora y, en tercer lugar, es que dicho valor está en función de la escasez relativa del bien o servicio.

- **Tarificación a partir de los costes del proyecto.**

La tarificación a partir de los costes de los servicios de agua considera la totalidad de los costes del servicio, incluyendo los costes de capital de obras financiadas “a fondo perdido” por otros entes. En cuanto a los ingresos únicamente se considerarán los ingresos directamente relacionados con el servicio prestado que se repercuten a los usuarios, sin considerar los ingresos financieros procedentes de subvenciones directas. Este método puede presentar ciertas reticencias, principalmente debidas al precio final del recurso: agua regenerada. En este sentido la posibilidad de existir una fuente convencional de agua con precios menores desincentiva el consumo del agua regenerada.

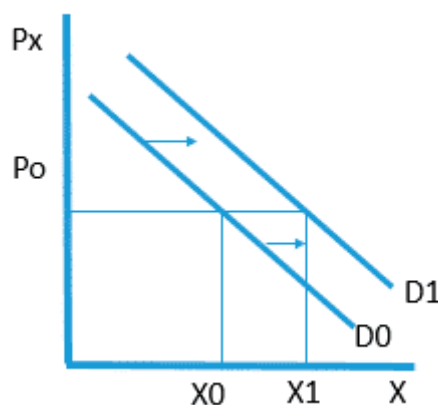
- **Método de recuperación basado en el precio del bien sustitutivo**

Estos métodos basados en el mercado sirven para fijar el precio del bien o servicio teniendo como referencia el precio del bien sustitutivo. Un bien se considera sustitutivo (o bien sustituto) de otro, en tanto uno de ellos puede ser consumido o usado en lugar del otro en alguno de sus posibles usos.

De modo que, en el sector del agua, cuando hablamos de agua regenerada haríamos referencia al precio que los usuarios (industrias) pagan actualmente por el uso del agua potable. En este sentido, cabe diferenciar las distintas calidades de agua regenerada que pueden ser usadas por las industrias, ya que nos encontramos ante un bien sustitutivo no perfecto. Si bien, la tecnología actual permite alcanzar calidades muy elevadas de agua regenerada, pudiendo éstas ser utilizadas en numerosos procesos industriales.

Este método puede resultar muy ventajoso en términos económicos, debido a que la demanda de las dos clases de bienes (agua potable y agua regenerada) será considerada conjunta por el hecho de que los usuarios pueden cambiar un bien por otro si existe alguna ventaja económica. En este sentido, un menor precio del agua regenerada hará incrementar su demanda, disminuyendo a la par la demanda de agua potable. Del mismo modo, un incremento del precio de agua convencional (bien sustitutivo) debido a aspectos relacionados con su escasez o mayores requerimientos tecnológicos implicará un aumento en la demanda del agua regenerada. Este efecto se denomina elasticidad cruzada de la demanda.

Figura 3. Elasticidad cruzada de la demanda (bien sustitutivo)



4. Aproximación al modelo de reutilización en el sector Industrial

La implementación de un modelo de economía circular centrado en la reutilización del agua regenerada se compone de una serie de etapas cuya finalidad es identificar los aspectos más relevantes del proceso de diseño. A continuación, una vez identificada la industria como usuario potencial, se enumeran dichas etapas, así como los aspectos que se han de considerar para cada una de ellas:

1. Análisis de los costes de implementación del proyecto.
 - a. Costes de inversión
 - b. Costes de operación y mantenimiento
2. Desarrollo de un modelo de tarifas de agua regenerada.
 - a. El precio del agua convencional como restricción
 - b. Conglomerados industriales: La distancia como restricción
3. Caso práctico.

5. Desarrollo del proyecto de reutilización de agua

Para implementar un proyecto de reutilización de agua residual es necesario evaluar el conjunto de costes asociados a las infraestructuras y tecnología necesaria para adaptar la calidad del agua regenerada a los criterios establecidos según para su uso final. Además de los costes asociados a las infraestructuras y tratamiento del agua, para establecer una tarifa de agua regenerada que garantice la viabilidad del proyecto habrá que contemplar otros aspectos como el precio actual del agua potable, la distancia del punto de tratamiento al del usuario final, y la recuperación de costes.

Los costes de los sistemas de tratamiento y reutilización del agua regenerada pueden presentarse en función del volumen de agua tratada en el proceso, el uso final del agua, o la configuración de los procesos de tratamiento. El coste global puede ser determinado analizando el coste de los componentes individuales, según criterios de diseño. El coste de cada componente individual variará, en cada caso, en función de la capacidad de tratamiento y reutilización del sistema del que se trate y sus dimensiones. El coste anual del sistema global de recuperación del agua, incluyendo tratamiento y reutilización,

comprende los costes de personal, costes de operación (energía más productos químicos) y costes de mantenimiento (reparaciones y sustitución de equipos). Los requisitos de personal son función del tamaño y complejidad de las instalaciones. El coste de operación depende del consumo de energía y productos químicos.

5.1. Análisis de los costes de implementación del proyecto

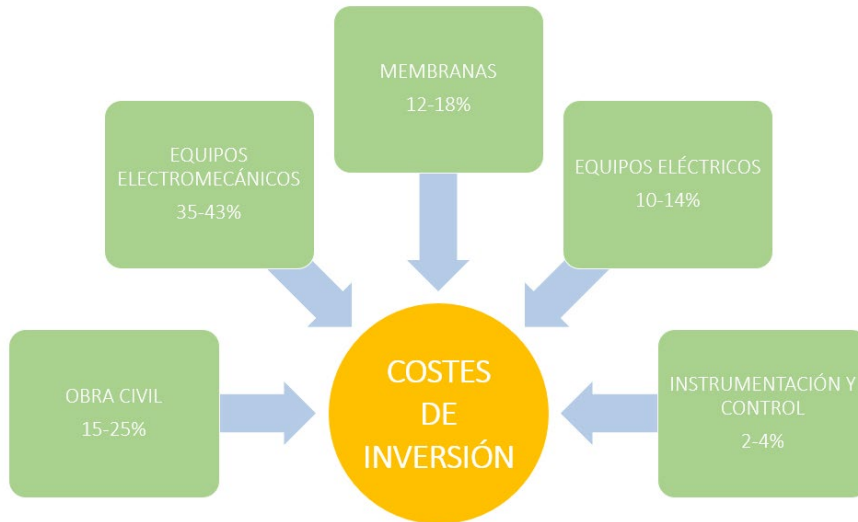
5.1.1. Costes de inversión

Los costes de inversión corresponden a todos aquellos costes relacionados con la adquisición de los activos necesarios y puesta en funcionamiento del proyecto, en el caso que nos ocupa, una estación regeneradora de aguas residuales (E.R.A) implica principalmente: terrenos, canalizaciones, obra civil (reactores), equipos electromecánicos (bombas de impulsión, sumergibles, soplantes, centrifugas...) y tuberías. Además, asociados a los costes de inversión, encontraríamos los servicios de ingeniería (estudios previos, redacción de proyecto, supervisión y control de las obras) así como otros costes relativos al propio desarrollo del proyecto (administración, permiso ambiental y servicios legales).

Un aspecto fundamental en la determinación de los costes es el tipo de tecnología utilizado para el tratamiento del agua regenerada (Chellam et al.,1998; Van der Bruggen et al., 2001), el cual dependerá de los estándares de calidad requeridos para su uso establecidos en el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre (RD 1620/2007). Además de la tecnología, el factor escala juega un papel muy relevante ya que la inversión específica (la necesaria para cada $m^3/día$ de producción) disminuye a medida que aumenta el tamaño de la instalación.

Los costes de inversión asociados a este tipo de instalaciones (incluyendo tratamiento terciario con membranas) se distribuyen de la siguiente forma (en porcentaje sobre el total):

Figura 4. Representación de los costes de inversión de una ERA



Para garantizar la viabilidad del proyecto y del sistema tarifario, éste último debe cumplir con el principio de recuperación de costes, para lo cual habrá que tener en cuenta la vida útil de los diferentes activos que constituyen el conjunto de infraestructuras del proyecto. Generalmente, para la obra civil y el resto de los costes de primer establecimiento se considera adecuado un período de 30 años, pues, aunque con anterioridad pueda ser necesario realizar una remodelación de algunos equipos, la obra civil es perfectamente aprovechable para una instalación nueva. Para el resto de los equipos se establecen períodos más cortos y en muchos casos no porque vayan a seguir funcionando con buen rendimiento al cabo de dicho período, sino por la obsolescencia técnica, dado que los progresos técnicos pueden aconsejar su cambio por otros de mayor eficiencia o más adaptados a las necesidades reales de la instalación. Con estos criterios los períodos más frecuentemente adoptados son:

- Equipos mecánicos: 12 años
- Membranas: 8 años
- Equipos eléctricos: 15 años
- Instrumentación y control: 12 años
- Tuberías: 15 años

5.1.2. Costes de operación y mantenimiento

Los costes de operación y mantenimiento son aquellos que derivan exclusivamente de la explotación o funcionamiento de la instalación. La [figura 5](#) se muestran el conjunto de costes que engloba.

Figura 5. Costes operacionales de una ERA



Al igual que ocurre con los costes de inversión, los de operación y mantenimiento van a depender en gran medida del tipo de tecnología aplicada para el tratamiento del agua y el volumen de agua tratado. A continuación, se presenta una con los costes operacionales de distintos tratamientos ([Iglesias et al., 2010](#)).

Tabla 1. Costes operacionales de diferentes tratamientos de agua regenerada. Adaptación de Iglesias et al. (2010)

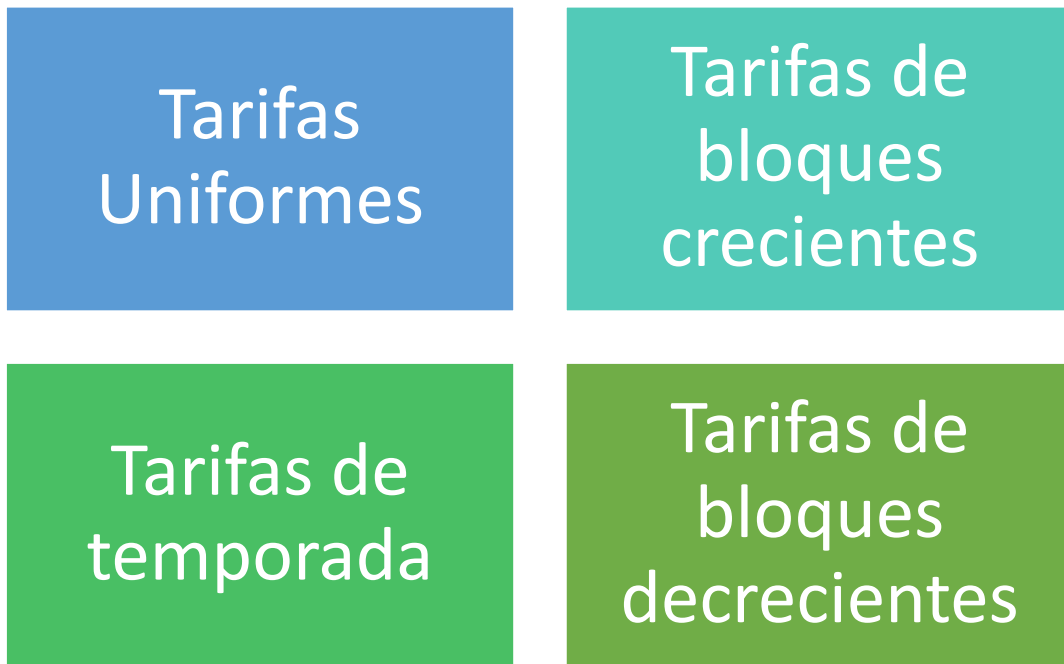
Tratamiento terciario	Costes de operación (€/m ³ producido)
Tratamiento fisicoquímico con sedimentación lamelar, filtración de lecho profundo, ultrafiltración y desinfección	0,14-0,20
Tratamiento fisicoquímico con sedimentación lamelar, filtración de lecho profundo y desinfección	0,06-0,09
Filtración y desinfección o Filtración de lecho profundo	0,04-0,07
Tratamiento fisicoquímico con sedimentación lamelar, filtración de lecho profundo + ultrafiltración, osmosis inversa, cloro residual o electrodiálisis y desinfección.	0,35-0,45

5.2. Desarrollo de un modelo de tarifas de agua regenerada

5.2.1. El precio del agua convencional como restricción

Normalmente en las tarifas se establecen unos costes fijos de acceso y una parte variable según el consumo. El precio del m³ se fija de manera lineal o por tramos o bloques (los metros cúbicos hasta cierto límite se facturan a un precio, los del segundo bloque a otro precio, normalmente más caro), con el fin de desincentivar el derroche de agua (tabla 6). A su vez, pueden existir distintas clasificaciones de usuarios, por ejemplo, el agua de servicio doméstico (uso domiciliario) puede incluir incentivos económicos de índole social a familias numerosas y monoparentales y, el agua industrial (uso en empresas). Finalmente, puede incluir un importe relacionado con el mantenimiento del contador, que puede depender de su diámetro (13mm, 15mm, 20 mm etc.). La finalidad de la tarifa es favorecer el uso sostenible del agua y obtener recursos para financiar programas de gestión del agua.

Figura 6. Tipos de tarifas de agua



Cada municipio diseña sus tarifas y fija sus tasas, su gestión corresponde a los ayuntamientos, quienes delegan o comparten con empresas privadas, y que son los responsables de fijar la estructura de las tarifas y los precios que se van a cobrar a los usuarios. Este aspecto puede generar diferencias en el precio que abonan los usuarios en las distintas comunidades autónomas, provincias e incluso a nivel local.

En la siguiente tabla se pueden observar las diferencias mencionadas, el coste unitario viene desagregado en el coste de suministro de agua y el coste dedicado a alcantarillado y depuración, ambos expresados en €/m³. Los datos económicos son un promedio entre las distintas tarifas de la misma Comunidad autónoma.

Figura 7. Precio medio por comunidad (2016). Fuente: Instituto Nacional de Estadística

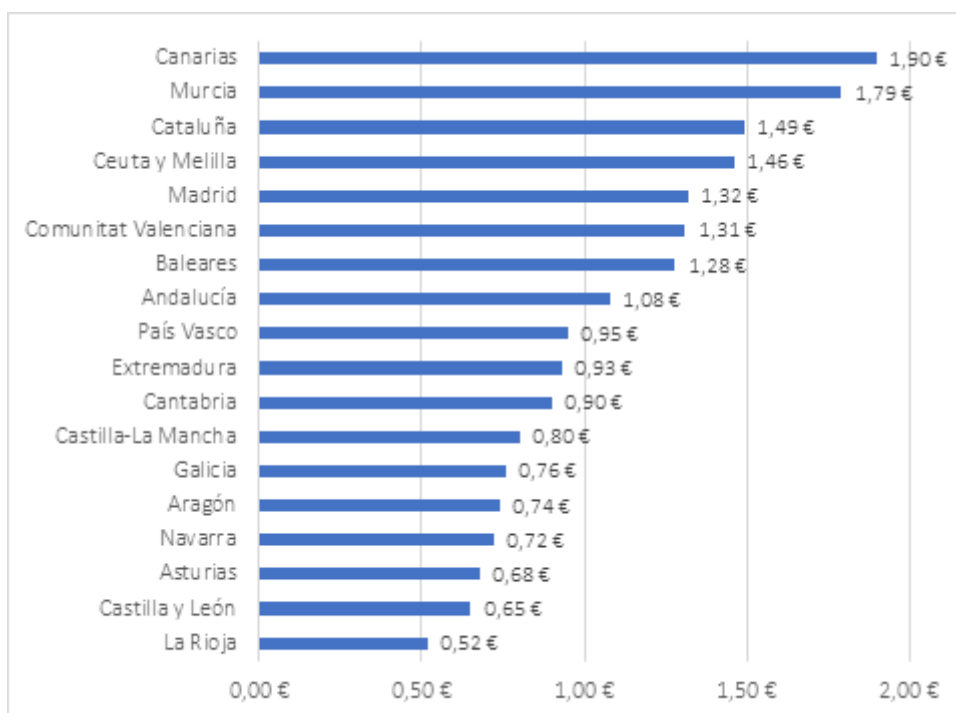
Comunidad autónoma	Coste unitario €/m ³	Suministro €/m ³	Alcantarillado y Depuración €/m ³
Andalucía	1,8	1,08	0,72
Aragón	1,52	0,74	0,78
Asturias	1,27	0,68	0,59
Baleares	2,32	1,28	1,04
Canarias	2,3	1,9	0,4

Cantabria	1,72	0,9	0,82
Castilla y León	1,16	0,65	0,51
Castilla-La Mancha	1,26	0,8	0,46
Cataluña	2,69	1,49	1,2
Comunitat Valenciana	2,23	1,31	0,92
Extremadura	1,36	0,93	0,43
Galicia	1,24	0,76	0,48
Madrid	2,07	1,32	0,75
Murcia	2,61	1,79	0,82
Navarra	1,33	0,72	0,61
País Vasco	1,94	0,95	0,99
La Rioja	1,17	0,52	0,65
Ceuta y Melilla	1,95	1,46	0,49

Las Comunidades autónomas con mayores precios medios son: Cataluña (2,69 €/m³), Murcia (2,61 €/m³), Baleares (2,32 €/m³), Canarias (2,3 €/m³), Comunitat Valenciana (2,23 €/m³) y Madrid (2,07 €/m³). Por otro lado, las comunidades con menores precios por m³ son Castilla y León (1,16 €/m³), La Rioja (1,17 €/m³), Galicia (1,24 €/m³) y Castilla la Mancha (1,26 €/m³).

En este sentido, con tal de establecer un criterio máximo de precio para el agua suministrada en cada Comunidad autónoma, se aíslan los costes de suministro (figura 8). Los costes de suministro incluyen únicamente el abastecimiento de agua potable. De modo que, de nuevo, se observan diferencias entre las distintas Comunidades autónomas, estas variaciones pueden deberse a aspectos relacionados con la propia obtención y tratamiento del recurso, su disponibilidad u otros aspectos relacionados con su gestión.

Figura 8. Precio medio del agua suministrada por comunidad (2016). Fuente: Instituto Nacional de Estadística



Las Comunidades con mayores precios de agua potable son: Canarias (1,90 €/m³), Cataluña (1,49 €/m³), Murcia (1,79 €/m³), Cataluña (1,49 €/m³), Ceuta y Melilla (1,46 €/m³), Madrid (1,32 €/m³) y la Comunitat Valenciana (1,31 €/m³). Los precios más bajos se localizan en: La Rioja (0,52 €/m³), Castilla y León (€/m³), Asturias (0,68 €/m³) y Navarra (0,72 €/m³).

Siguiendo con el método de recuperación basado en el precio del bien sustitutivo, las Comunidades autónomas donde mayor precio abonan las industrias por el agua (m³) son, en términos estratégicos, usuarios potenciales para la implementación de proyectos de regeneración de aguas. Sin embargo, serán los costes del proyecto los que finalmente determinen el precio mínimo para alcanzar la viabilidad económica.

En este sentido es importante destacar la posibilidad de adaptar la calidad del agua a las exigencias de los procesos industriales, se ofrecerán 2 calidades de agua. La primera calidad (B1), se obtiene a partir de un tratamiento terciario que consiste en un pretratamiento de adsorción mediante carbón activo seguido de un sistema de membranas, el agua obtenida puede ser usada en los procesos industriales más exigentes. La segunda calidad (B2), procede directamente del efluente de las EDAR

después de un tratamiento secundario, puede ser usada para tareas de limpieza y otros requerimientos con menor exigencia. Las distintas calidades de efluente requieren distintos consumos energéticos, reactivos, personal y materiales por lo que pueden variar significativamente tanto los costes de inversión como los de operación.

Siguiendo con el diseño de la tarifa, se evalúan en primer lugar las tarifas de agua potable (red) para cada una de las Comunidades autónomas o abastecimientos concretos que estemos comparando. Es importante mencionar que el agua de red actúa como bien sustitutivo del agua no convencional. De modo que se asume que las empresas mostrarán preferencia a abastecerse de agua potable de red si existe disponibilidad y su precio está por debajo del agua tratada o regenerada. Con el fin de obtener el precio del agua potable de red se identifican los distintos municipios y las tarifas de abastecimiento asociadas, diferenciando tanto la parte fija como variable. En segundo lugar, se plantean las tarifas para las calidades ofrecidas, en nuestro caso (B1 y B2), tomando como referencia el umbral mínimo de las tarifas de abastecimiento actuales. Las diferencias en las tarifas entre Comunidades autónomas, provincias y municipales generan distintos escenarios, por lo que es importante realizar el ejercicio estableciendo las distintas zonas candidatas.

Es importante asegurar un menor coste de las calidades (B1 y B2) con respecto al abastecimiento actual de agua potable y, además, la tarifa diseñada debe promover el uso de ambas calidades (B1 y B2) usando el precio como principal mecanismo que incentiva su uso. Por esta razón, el precio asociado a la calidad de agua (B2) debe ser inferior al precio de la calidad (B1).

Además, para asegurar la sostenibilidad del proyecto, debemos asegurar el margen industrial de las empresas suministradoras (B1 y B2) con el objetivo de servir como fuente de financiación para extender este modelo a otros perfiles de usuarios, como el sector agrícola (con la implementación de otras tecnologías si así lo requieren). La posibilidad de generar mayores volúmenes de agua depurada o regenerada supondría un ahorro a las industrias de la zona, aumentando su ventaja comparativa vía disminución de costes de producción y, además, alcanzar mayores volúmenes de agua tratada permitiría una reducción de costes debido a la presencia de economías de escala en el sector, pudiendo reducir el precio del agua, tanto de calidad (B1) como de (B2).

Sintetizando, el modelo incorpora 2 restricciones, la primera restricción hace referencia al precio de agua de red de cada zona evaluada, de modo que el precio del agua regenerada (B1) siempre será inferior al precio de agua de red (€/m³) con tal de incentivar su uso. Además, el precio fijado para la calidad de agua (B2) deberá ser inferior al agua regenerada (B1). En este último caso, el precio del agua de calidad (B2) puede usarse para compensar posibles diferencias negativas con respecto al agua regenerada. También es importante recordar que existen Comunidades autónomas con tarifas de agua potable (red) menores a los costes del agua regenerada (B1). Por otro lado, la segunda restricción está orientada a disminuir el importe total que abonan las industrias, por ejemplo, un 10% inferior al precio que las industrias están pagando actualmente por el uso de agua de red.

De modo que:

$$(T_1 \times V_{B1}) + (T_2 \times V_{B2}) = 0,90 \times \text{Coste tarifa agua red (€)}$$

Donde:

- T_1 ; tarifa de B1 (€/ m³)
- T_2 ; tarifa de B2 (€/ m³)
- V_{B1} ; consumo de agua B1 (m³)
- V_{B2} ; consumo de agua B2 (m³)

Con tal de incentivar el consumo de agua regenerada, T_1 incorpora una restricción que disminuye el precio propuesto un 5% con respecto a la tarifa actual de red de agua potable.

Ambas restricciones, el 10 % sobre la factura actual y el 5% sobre el precio de Agua regenerada, dan lugar a un precio sugerido para el agua (B2). Si bien, los diferentes consumos de (B1) y (B2) que realizan las industrias de una misma zona requiere establecer finalmente un reparto homogéneo que podría ser el promedio de precios sugeridos por la función.

De este modo se garantiza que, por un lado, las industrias abonen un precio menor al actual con la consiguiente disminución de costes de producción y, por otro, la empresa de abastecimiento maximiza los ingresos con tal de amortizar la inversión y ampliar tanto la red como la tecnología para llegar a otros usuarios potenciales adecuando la calidad del agua según los usos que se planteen.

Otros aspectos que resultan de gran relevancia son; la disponibilidad de una EDAR que esté próxima a la zona que se desea abastecer, y la asegurar un volumen mínimo de agua regenerada que permita amortizar la inversión.

5.2.2. Conglomerados industriales: Garantizar la sostenibilidad del proyecto

Con tal de abastecer de agua a la industria es necesaria una red de distribución y acopio. Para el diseño de esta red se deben evaluar las distancias desde la EDAR hasta las industrias, así como la infraestructura de distribución (tuberías y bombas de impulsión) necesaria. La canalización implica la instalación de una doble tubería con tal de diferenciar las calidades (B1 y B2) mencionadas anteriormente. Por otro lado, la construcción de los distintos depósitos de almacenamiento asegurará la disponibilidad de agua, evitando discontinuidad en el servicio.

El proyecto de abastecimiento de agua regenerada debe contemplar la amortización de todos los costes. Estos costes, vienen expresados en €/m³, el objetivo es incluirlos en la tarifa de agua (B1 y B2) ya sea en la parte fija o variable. Por este motivo, asegurar un caudal anual promedio a lo largo de los años es de suma importancia. Este caudal debe contemplar ambas calidades (B1) y (B2), debido a que la amortización de la infraestructura de distribución se realiza de forma independiente.

Asegurar la continuidad de los caudales y evitar posibles periodos de discontinuidad requiere del estudio individual de cada una de las zonas candidata, los polígonos industriales aglutinan una gran cantidad de industrias. Estas empresas pueden pertenecer a sectores donde el volumen de agua necesario para su proceso es ínfimo o nulo. En cambio, las empresas azulejeras, papel y cartón, químicas o agroalimentarias pueden aportar garantías de sostenibilidad al proyecto. A continuación, se define un caso práctico donde se consideran estos aspectos.

5.3. Caso práctico

Datos técnicos y económicos

El caso práctico simula la implementación de un proyecto de regeneración en una zona industrial. Con este fin, se describen unas características concretas relativas a localización y volúmenes de agua (B1 y B2) requeridas por las industrias. Se organizan los datos por sectores 1 y 2, coincidiendo con la EDAR y ERA de la zona de estudio.

Con el fin de ofrecer la máxima objetividad en el estudio, se usan tarifas distintas del abastecimiento actual (red). En el sector 1; 0,74 €/m³ para la industria 1 y 0,98 €/m³ para la industria 2. Con respecto al sector 2; 0,68 €/m³ para la industria 3, 0,70 €/m³ para las industrias 4 y 5, 0,66 €/m³ para la industria 6 y 0,67€.

Las características de las zonas industriales vienen recogidas en la siguiente tabla:

Tabla 2. Características de las zonas industriales a abastecer

EDAR	Nº EMPRESAS A ABASTECER	VOLUMEN AGUA B1 (M ³ /DIA)	VOLUMEN DE AGUA B2 (M ³ /DIA)	KM DESDE EDAR	COSTE ERA	COSTE TUBERÍAS B1 - B2	COSTE DEPOSITO	OTROS (Equipos)
EDAR1	2	179	146	2,70	82.741 €	679.831 €	30.187 €	32.550 €
				1,72				
EDAR2	5	289	794	1,10	133.478 €	679.831 €	30.187 €	32.550 €
				3,67				
				0,50				
				4,75				
				2,00				

La EDAR 1 abastece a 2 empresas, requieren 179 m³ diarios de agua regenerada de la calidad B1 y 146 m³ diarios de agua de calidad (B2). Se sitúan a una distancia de 2,7 y 1,7 km de la EDAR, respectivamente. La EDAR 2 abastece a 5 empresas, el total del volumen necesario de calidad (B1) y (B2) es de 289 y 794 m³ diarios.

Siguiendo las estimaciones relativas a los costes, se prevé una inversión para las estaciones regeneradoras de 82.741 € y 133.478 €, respectivamente. Ambas comparten las instalaciones de tuberías, depósitos de almacenamiento y equipos. Los costes relacionados con la amortización de las infraestructuras son de 0,131 €/m³ para el agua de calidad (B1) y 0,073 €/m³ para el agua de calidad (B2). Este último coste viene explicado porque la calidad (B2) no requiere regeneración.

Tabla 3 Características de las zonas industriales a abastecer

	ERAS	REDES	TOTAL (€/M3)
Agua de calidad C1	0,058		0,131
Agua de calidad C2	0	0,0731	0,073

En cuanto a los costes de operación y mantenimiento, se estima un total de 0,477 €/m³ para el agua de calidad (B1). En este sentido, intervienen 3 tratamientos como son el carbón activado, la ultrafiltración y la nanofiltración.

Tabla 4 Costes por tratamientos terciarios

CARBÓN ACTIVADO	ULTRAFILTRACIÓN	NANOFILTRACIÓN	TOTAL
0,084	0,184	0,209	0,477

Los costes totales incluyen la amortización de infraestructuras y los costes de operación y mantenimiento, resultando 0,535 €/m³ para el agua de calidad (B1) y 0,073 €/m³ para el agua de calidad (B2) (tabla 5). Para la amortización de las Estaciones de regeneración se usa un caudal constante, un interés anual del 2% y un horizonte temporal de 25 años. Para el resto de infraestructura (red y depósitos) se usa un interés de 2% y un periodo de amortización de 35 años para los elementos constructivos y 15 años para los equipos electromecánicos (bombas).

Tabla 5 Costes de amortización y operación

	Infraestructura		Operación	TOTAL (€/M3)
	ERAs	REDES		
Agua de calidad B1	0,058		0,477	0,535
Agua de calidad B2	0	0,0731		0,073

Coste agua convencional (según tarifa)

En la situación actual, muchas de las industrias se abastecen directamente de la red de agua potable. A continuación, se realiza una estimación de los costes de abastecimiento utilizando las tarifas de agua potable comentadas anteriormente. Las tarifas se descomponen, en su mayoría, en una cuota de servicio, un coste destinado al mantenimiento del contador y una tarifa (€/m³) que suele presentarse por bloques. Los resultados son trimestrales.

Tabla 6 Costes trimestrales agua de potable (red) según consumos y tarifas.

Sector	Empresa	m ³	Coste agua red (€)
SECTOR 1	Industria 1	27.847,73	30.075,55
	Industria 2	1.460,45	1.577,29
SECTOR2	Industria 3	12.876,18	16.996,56
	Industria 4	6.759,86	8.923,02
	Industria 5	6.428,47	8.485,58
	Industria 6	49.315,07	65.095,89
	Industria 7	22.247,01	29.366,05

Tal y como se puede observar en la [tabla 6](#), la Industria 1 y 2 abonarían trimestralmente por el agua (red) un total de 30.075 € y 1.577 €, respectivamente. Del mismo modo, para el SECTOR 2, se observan distintos consumos de agua (red) para cada industria, existiendo una elevada dispersión en los consumos requeridos.

El objetivo de la siguiente propuesta es incentivar el uso tanto de agua de regenerada (B1) como de agua depurada (B2), todo ello en el marco de la sostenibilidad económica, la disponibilidad y el respeto al medio ambiente. Por este motivo, en el siguiente punto se plantea un estudio zonificado que tiene en cuenta distintos criterios. En primer lugar, garantizar que a las empresas les supone un ahorro usar agua de una fuente no convencional. En segundo lugar, maximizar el margen industrial de las empresas de abastecimiento con el objetivo de servir como fuente de financiación para extender este modelo a otros perfiles de usuarios, como el sector agrícola (con la implementación de otras tecnologías si así lo requieren). La posibilidad de generar mayores volúmenes de agua depurada o regenerada supondría un ahorro a las industrias de la zona, aumentando su ventaja comparativa vía disminución de costes de producción y, además, alcanzar mayores volúmenes de agua tratada permitiría una reducción de costes debido a la presencia de economías de escala en el sector, pudiendo reducir el precio del agua, tanto de agua de calidad (B1) como de (B2).

Propuesta de tarifa para las calidades B1 y B2 por sectores.

Con tal de establecer un precio para ambas calidades, se sigue el método de recuperación basado en el precio del bien sustitutivo comentado en puntos anteriores. Este método conlleva establecer restricciones, la primera restricción hace referencia al precio de agua

de red de cada zona, de modo que el precio del agua regenerada (B1) siempre debe inferior al precio de agua de red (€/m³) con tal de incentivar su uso. Además, el precio fijado para la calidad de agua (B2) deberá ser inferior al agua regenerada (B1). Esta segunda restricción está orientada a disminuir el importe total que abonan las industrias, éste será un 10 % inferior al precio que actualmente abonan las empresas por el uso de agua de red. De modo que, aplicando la función de cálculo, los resultados serían los siguientes:

Tabla 7 Resultados sector 1: Situación actual y propuesta

Empresas	Situación actual			Tarifa propuesta				
	Volumen total	Tarifa (€/m ³)	Importe (€) *	Volumen B1	Volumen B2	Tarifa B1 (€/m ³)	Tarifa B2 (€/m ³)	Importe (€)
Industria1	27.848	0,73	20.396	14.651	13.197	0,69	0,62	18.357
Industria2	1.460		1.186	1.451	9			1.068

En el sector 1, la tarifa propuesta implica una reducción de precio respecto a la tarifa actual de 0,04 €/m³ para la (B1) y 0,11 €/m³ la (B2). La factura (trimestral) que abonan las industrias implica una reducción de aproximadamente el 10 % para las industrias 1 y 2.

Los costes de producción para ambas calidades (B1 y B2) son los siguientes (ver tabla 8), como se puede observar, existe una diferencia global de 5.671 € en el sector 1.

Tabla 8 Sector 1: Costes de producción de calidad B1 y B2

Costes	Vol B1	Vol B2	Coste B1 (€)	Coste B2 (€)	COSTE (€)
Industria1	14.651	13.197	0,708	0,179	12.725,09
Industria2	1.451	9			1.028,29

La propuesta económica para el sector 2 implica una reducción de precio respecto a la tarifa actual de 0,03 €/m³ para la B1 y 0,08 €/m³ la (B2). La factura propuesta (trimestral) implica una reducción de aproximadamente el 10% en los costes para las siguientes industrias (tabla 9).

Tabla 9 Resultados sector 2: Situación actual y propuesta

Empresas	Situación actual			Tarifa propuesta				
	Volumen total	Tarifa (€/m³)	Importe (€) *	Volumen B1	Volumen B2	Tarifa B1 (€/m³)	Tarifa B2 (€/m³)	Importe (€)
Industria3	12.876	0,65	8.727	10.133	2.743	0,62	0,57	7.854
Industria4	6.760		4.723	6.760	0			4.251
Industria5	6.428		4.506	6.428	0			4.056
Industria6	49.315		32.580	0	49.315			29.322
Industria7	22.247		14.861	2.648	19.599			13.375

Los costes de producción para ambas calidades (B1 y B2) son los siguientes (ver tabla X),

Tabla 10 Sector 2: Costes de producción de calidad B1 y B2

Costes	Vol B1	Vol B2	Coste B1 (€)	Coste B2 (€)	COSTE (€)
Industria3	10.133	2.743	0,708	0,179	7.659,75
Industria4	6.760	0			4.782,60
Industria5	6.428	0			4.548,14
Industria6	0	49.315			8.817,53
Industria7	2.648	19.599			5.377,91

Como se puede observar, existe una diferencia global de 27.671 € en el sector 2, lo que repercute en la sostenibilidad económica del proyecto. A la vista de los resultados cabe resaltar dos aspectos, en primer lugar, abastecer una zona industrial de mayor tamaño permite generar un mayor caudal de ambas calidades, acelerando la amortización del proyecto. En segundo lugar, tratar la zona en su conjunto permite compensar menores consumos de la calidad B2, que es la que mayor margen genera a la empresa de abastecimiento.

6. Beneficios sociales y ambientales del proyecto

La reutilización del agua tiene numerosos beneficios, todos ellos de gran relevancia tanto económica como ambiental y social. El más obvio es que las EDARs se convierten en fuentes de agua no convencional que ayudan a reducir la presión sobre las masas de agua

convencionales. Otro de estos beneficios consiste en la reducción del impacto asociado a la descarga del efluente en el medio natural, ya que se preserva la calidad de las masas de agua de la cuenca.

El alcance de los beneficios de la reutilización debe ser cuantificado con el fin de establecer las bases de viabilidad de un modelo de economía circular. Esto supone un reto desde el punto de la gestión ya que se deben implementar metodologías novedosas para su cuantificación. La consideración de estos beneficios permite que el modelo se ajuste fielmente a las condiciones reales en las que se va a implementar.

La importancia de la dimensión ambiental y social de la reutilización es un hecho evidente que refuerza el potencial de los modelos de economía circular. Teniendo en cuenta que el agua es un recurso universal, la participación de la Administración Pública en este tipo de proyectos está justificada. Concretamente, las autoridades responsables de la gestión del agua pueden abordar la reutilización considerando su marcada dimensión ambiental y social, como, por ejemplo:

- Aplicación del principio de precaución con tal de evitar daños a los ecosistemas hídricos.
- Ahorro en la construcción de grandes infraestructuras de regulación (embalses y transvases).

Tal y como se ha visto en el punto anterior, cuando se plantean proyectos de reutilización es necesario predecir y planificar los costes de inversión y de operación y mantenimiento de las instalaciones. Sin embargo, no solo han de considerarse los costes totales, sino que es importante tener en cuenta la relación entre los costes y la calidad del agua que se obtiene del proceso de regeneración. Una vez que estos costes han sido analizados entra en juego el análisis de los beneficios de la reutilización. Su cálculo puede resultar complicado ya que la dimensión ambiental del agua carece de un mercado clásico. Por otro lado, la percepción que la sociedad tiene de la conservación de las masas de agua a corto, medio y largo plazo puede resultar difícil de percibir. Además, tanto los beneficios ambientales como los sociales están directamente vinculados fruto de la relación intrínseca entre la sociedad y el medio ambiente.

En este caso, la inclusión de los beneficios ambientales y sociales derivados de la mejora en la calidad del agua, el ecosistema y del aumento del volumen de agua disponible son

los beneficios de actuar con medidas concretas sobre el territorio. Por el contrario, si no se implementa ninguna acción ni se promueve el uso del agua regenerada se generan unos costes de la no actuación, es decir, aquellos que recogen el valor de los efectos derivados de no implementar un modelo de economía circular. La cuantificación de este tipo de beneficios necesita de metodologías de valoración monetaria que permitan traducir esa relevancia en unidades monetarias, de tal forma que se puedan incluir en los estudios de viabilidad. De esta forma las administraciones y los gestores de los recursos hídricos pueden obtener el valor real de la reutilización y su impacto en el territorio, fomentando la sostenibilidad y los procesos participativos.

El nuevo paradigma asociado a la internalización de los beneficios ambientales y sociales dentro de los procesos de toma de decisión pone de manifiesto la importancia del medio natural como espacio cuya dinámica cambia por la gestión que la sociedad hace de él. Por otro lado, los beneficios ambientales y sociales presentan fuertes sinergias en común ya que para que la sociedad pueda disfrutar y obtener recursos los ecosistemas deben conservarse en óptimas condiciones, asegurando su sostenibilidad a largo plazo.

7. Conclusiones

Generalmente existe un desconocimiento general del potencial de reutilización del agua en la sociedad, por lo que, para garantizar el éxito de un proyecto de reutilización, además de contemplar aspectos técnicos y económicos, es necesario implementar campañas de información y comunicación a los usuarios y vecinos. Se trata de trasladar a la sociedad los beneficios que se encuentran asociados a esta actividad y del avance en los indicadores de calidad, de sus límites paramétricos, en el conocimiento de los contaminantes asociados a las aguas residuales, en la capacidad para gestionar el riesgo que pueda suponer para la salud humana y el medio ambiente a través del cumplimiento de la normativa y de la aplicación de las buenas prácticas asociadas a la reutilización. Todo ello se puede conseguir haciendo énfasis en los siguientes aspectos:

1. La aceptación del usuario del agua y su formación para que conozca el producto que emplea.
2. Una buena estrategia de marketing.

3. Una buena política de comunicación.
4. Una legislación clara, que establezca el marco de actuación.
5. Una buena identificación de los puntos débiles de los sistemas de regeneración (fiabilidad).

Además de mejorar los aspectos mencionados anteriormente hay que tener en cuenta que el no implementar estos proyectos puede tener un impacto negativo tanto a nivel ambiental, como social y económico, se trata de los costes de la no-actuación. Si no se implementan proyectos de reutilización de agua residual se pone en riesgo satisfacer las necesidades hídricas, generando restricciones en el uso del agua para riego o industrial, con sus consiguientes implicaciones en la economía local; se continúa potenciando la sobreexplotación de acuíferos y la reducción del volumen de agua de fuentes superficiales; así como seguirá produciéndose una reducción en la calidad del conjunto de masas de agua, afectando al conjunto del ecosistema.

Para que todo esto no suceda hay que garantizar que se implementen los modelos de reutilización de agua residual, y la única manera de conseguirlo es garantizando su viabilidad económica. Para ello, es necesario dar un valor al agua regenerada e incluirlo en un sistema de tarifas competitivo. Generalmente, los sistemas de reutilización se conciben como sistemas que requieren de una elevada inversión económica que ni los distribuidores ni usuarios están dispuestos a pagar. Sin embargo, con el sistema de tarifas adecuado tanto usuarios como distribuidores pueden resultar beneficiados.

REFERENCIAS

CEPS: Centre for European Policy Studies (2012), Which Economic Model for a Water-Efficient Europe? CEPS Task Force Report.

Chellam, S., Serra, C. A., & Wiesner, M. R. (1998). Estimating costs for integrated membrane systems. *Journal-American Water Works Association*, 90(11), 96-104.

Christis, M., Athanassiadis, A., & Vercauteren, A. (2019). Implementation at a city level of circular economy strategies and climate change mitigation—the case of Brussels. *Journal of Cleaner Production*, 218, 511-520.

EPI-WATER Conference (26 - 27 January 2012) Understanding the Application of Economic Policy Instruments (EPIs) in Water Management. Review of Empirical Evidence, Experiences and Lessons Learned from Europe and Elsewhere

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32.

Guerra-Rodríguez, S., Oulego, P., Rodríguez, E., Singh, D. N., & Rodríguez-Chueca, J. (2020). Towards the implementation of circular economy in the wastewater sector: Challenges and opportunities. *Water*, 12(5), 1431.

Iglesias, R., Ortega, E., Batanero, G., & Quintas, L. (2010). Water reuse in Spain: data overview and costs estimation of suitable treatment trains. *Desalination*, 263(1-3), 1-10.

Turcu, C., & Gillie, H. (2020). Governing the circular economy in the city: Local planning practice in London. *Null*, 35(1), 62-85.

Van der Bruggen, B., Everaert, K., Wilms, D., & Vandecasteele, C. (2001). Application of nanofiltration for removal of pesticides, nitrate and hardness from ground water: rejection properties and economic evaluation. *Journal of Membrane Science*, 193(2), 239-248.

World Water Assessment Programme (United Nations), & UN-Water. (2009). Water in a changing world.

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> [Ultimo acceso 2 de noviembre 2021]

Zajac, P., Avdiushchenko, A., 2020. The impact of converting waste into resources on the regional economy, evidence from Poland, Ecol. Model. 437, 109299.