

# Estudio de la viabilidad económica y la rentabilidad social y ambiental de una nueva instalación de tratamiento de aguas residuales

# Índice

<b>1. Introducción</b> .....	3
<b>2. Importancia de la eficiencia y la viabilidad en los proyectos de reutilización de las aguas residuales</b> .....	4
<b>3. Experiencias internacionales</b> .....	8
<b>4. Análisis coste-beneficio como herramienta para evaluar la viabilidad económica en proyectos de reutilización</b> .....	10
4.1. Pasos para desarrollar un análisis coste-beneficio.....	13
<b>5. Análisis de costes de la depuración de aguas residuales</b> .....	15
5.1. Coste de EDARs actualmente en operación.....	15
5.2. Coste de nuevas EDARs o procesos: funciones de coste.....	15
<b>6. Beneficios ambientales derivados de la reutilización</b> .....	19
<b>7. Justificación económica y viabilidad financiera de un proyecto de reutilización del agua</b> .....	21
7.1. Factores esenciales para el éxito de los proyectos de reutilización .....	21
<b>8. Una propuesta de metodología para evaluar la viabilidad de un proyecto de reutilización</b> .....	23
<b>9. Cálculo del beneficio ambiental del proyecto de construcción de una nueva EDAR en l’Horta Sud de Valencia</b> .....	32
9.1. Descripción de la EDAR propuesta y su influencia en la minimización del impacto social y ambiental .....	33
9.2. Resultados del análisis del beneficio ambiental del proyecto de construcción de la nueva EDAR en l’Horta Sud.....	37
<b>REFERENCIAS</b> .....	39

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Curva de costes como función del tamaño de la planta depuradora.....	26
Tabla 2. Curva de costes en función del volumen de agua tratada. ....	27
Tabla 3. Metodologías de valoración de bienes ambientales (preferencias declaradas).....	29
Tabla 4. Identificación y valoración de externalidades. ....	32
Tabla 5. Beneficio ambiental obtenido mediante la metodología de los precios sombra para los contaminantes eliminados por la nueva EDAR propuesta. ....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Motores de implementación y oportunidades de la economía circular. Elaboración propia. ....	4
Figura 2. Ingresos y ahorros que se consiguen con la implementación de la reutilización en las EDARs. Elaboración propia. ....	6
Figura 3. Contextualización del análisis de viabilidad económica de un proyecto de reutilización del agua. Elaboración propia. ....	11
Figura 4. Aspectos para tener a cuenta a la hora de asegurar el éxito de los proyectos de reutilización. Elaboración propia. ....	22
Figura 5. Ubicación de la nueva EDAR propuesta, obtenida del estudio de viabilidad técnico-económica de la remodelación del colector oeste y nueva EDAR de l’Horta Sud, incluyendo la infraestructura de reutilización. ....	35
Figura 6. Diseño de la nueva EDAR propuesta, obtenida del estudio de viabilidad técnico-económica de la remodelación del colector oeste y nueva EDAR de l’Horta Sud, incluyendo la infraestructura de reutilización.....	36
Figura 7. Comportamiento del impacto ambiental considerando el escenario de la no actuación y el escenario donde se implementa el proyecto propuesto. Elaboración propia. ....	39

# 1. Introducción

Resulta conocido que durante las últimas décadas la escasez de un recurso básico como es el agua se está acentuando en muchas áreas territoriales (por ejemplo, en la Comunidad Valenciana), lo que representa graves efectos sobre nuestro medio ambiente y nuestra economía. Además, según las previsiones actuales la demanda mundial de agua excederá los recursos disponibles en un 40 % en 2030. Por ello, aparte de adoptar medidas de eficiencia hídrica, conviene abordar la reutilización de las aguas residuales tratadas como un medio seguro y viable de aumentar el suministro de agua reduciendo la presión sobre unos recursos hídricos ya sobreexplotados.

Se exige reconsiderar nuestro enfoque tradicional sobre el consumo de agua con el fin de adoptar nuevas estrategias que posibiliten que este recurso vital sea reutilizado al máximo. Este cambio de paradigma supone avanzar hacia un enfoque de economía circular en que las aguas residuales ya no son vistas como desechos, sino como un recurso valioso en un contexto de escasez de agua. Una combinación de regulaciones, incentivos y la intervención de todos los actores implicados será clave para transformar los criterios de gestión de los recursos hídricos. La economía circular tiene un gran potencial económico, social y ambiental que permite su implementación en todos los ámbitos actuales, teniendo en cuenta la escasez de recursos, el desarrollo de nuevas tecnologías y la búsqueda de la simbiosis entre los diferentes actores (Figura 1).

A través de la implementación de la economía circular en los diferentes ámbitos, como es el caso de los recursos hídricos, se presentan una serie de oportunidades que no estarían disponibles si este enfoque no fuera implementado. La seguridad en el abastecimiento de los recursos y la revaloración de los residuos de los procesos de producción abren nuevas oportunidades de mercado que robustecen y promueven la implementación de la economía circular en los proyectos que actualmente se están desarrollando, asegurando su sostenibilidad y su viabilidad socioeconómica.

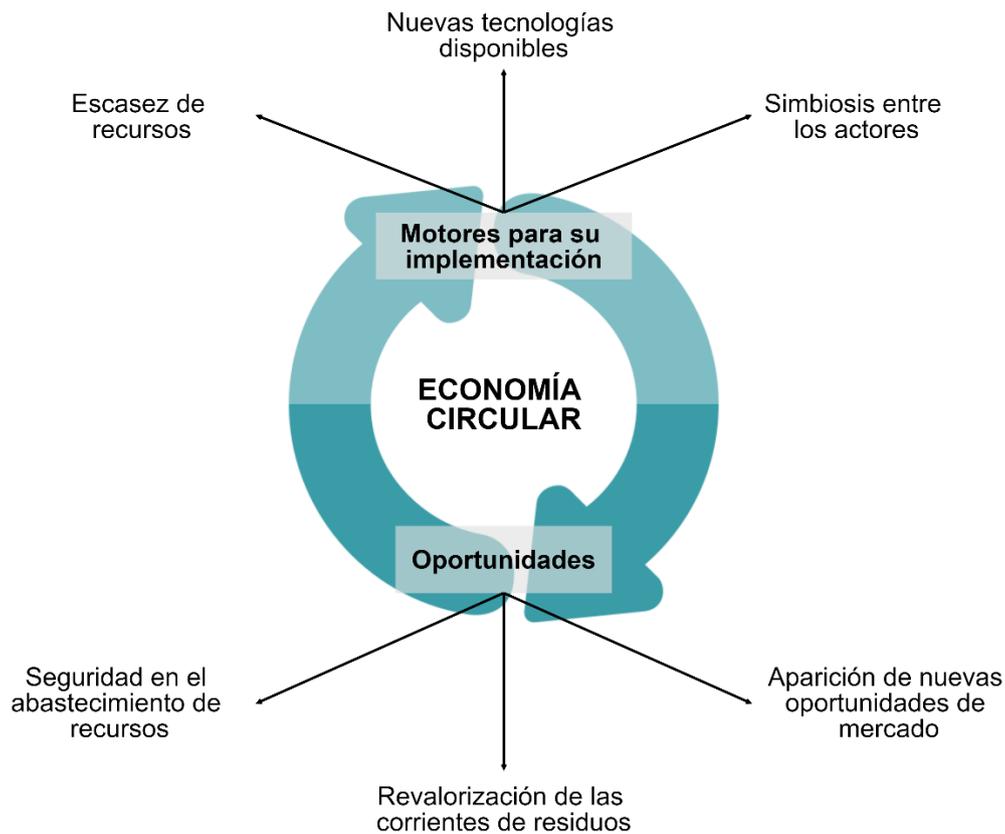


Figura 1. Motores de implementación y oportunidades de la economía circular. Elaboración propia.

A su vez, la reutilización del agua en la agricultura también contribuye al reciclado de nutrientes promoviendo un menor uso de fertilizantes químicos. Estos efectos se muestran especialmente relevantes en el caso de la Comunidad Valenciana. Por todo ello, la promoción del sector de la reutilización de las aguas residuales tratadas debería contar con un especial protagonismo en el marco de la economía circular.

## 2.Importancia de la eficiencia y la viabilidad en los proyectos de reutilización de las aguas residuales

El agua de calidad para satisfacer las necesidades humanas es un recurso cada vez más escaso y su disponibilidad constituye un factor esencial para el desarrollo socioeconómico. Es conocido que, en muchas áreas territoriales, debido a la creciente acumulación de población unida a una pluviometría escasa e

irregularmente distribuida en el tiempo se está produciendo un agotamiento o deterioro difícilmente reversible de los recursos hídricos disponibles. Al mismo tiempo la influencia del cambio climático sobre estos recursos genera una elevada incertidumbre.

Frente a los requerimientos crecientes de la demanda hay que señalar que ciertamente es difícil incrementar la oferta de agua. En primer lugar, nos encontramos con unas limitaciones derivadas de la escasez de precipitaciones y, además, el aumento de la disponibilidad de agua en determinadas zonas supondría la construcción de costosas obras de infraestructura no siempre con el suficiente apoyo social. Otra alternativa sería el uso de los llamados recursos no convencionales como son los derivados de la desalación o regeneración de aguas residuales.

Esta última opción es la que cuenta con la mayor potencialidad a la hora de contribuir a paliar los desequilibrios hídricos en un área geográfica. De hecho, dada la necesidad de aplicar un tratamiento idóneo a las aguas residuales, la propia lógica nos indica que deberíamos utilizar esa agua una vez regenerada. El sector agrícola, como mayor usuario de recursos hídricos, sería además el mayor destinatario para esta fuente de agua tratada. Todo ello sin obviar los posibles usos en el campo ambiental (recuperación de humedales, caudal ecológico, etc.), urbano (baldeo de calles, riego de jardines, etc.) o deportivo (riego de campos de golf).

Además, mediante el uso del agua regenerada para el riego de cultivos podrían ser liberados recursos hídricos convencionales y ser dedicados a usos que requieran una mayor calidad del agua. Sin embargo, es obvio que los agricultores únicamente aceptarán el efluente de las depuradoras en sustitución del agua superficial o subterránea si obtienen ventajas de ello. Es decir, la viabilidad tanto económica como financiera de los proyectos de reutilización de aguas se muestra como un requisito insoslayable para que se pueda llevar a cabo esta transferencia de agua. En este sentido resulta fundamental el papel de las autoridades tanto para demostrar la existencia de ventajas como para apoyar la adopción de este tipo de acuerdos de intercambio entre las comunidades de regantes y las autoridades locales, por ejemplo.

La importancia y potencialidad de la reutilización convierte en prioritaria la buena gestión de las aguas residuales sobre todo en lo que se refiere a la optimización de los procesos de tratamiento, eficiencia energética, minimización de la producción de lodos o, viabilidad económica y ambiental de nuevas tecnologías. En concreto, la obtención de un efluente de calidad bajo criterios de sostenibilidad económica y ambiental supone un importante reto tecnológico que, a su vez, representa una oportunidad para la innovación en el campo del tratamiento de las aguas residuales. Además de su evidente interés para las aplicaciones a escala nacional, es importante destacar el mercado potencial que se está abriendo en otros países, especialmente del ámbito mediterráneo y latinoamericano.

La reutilización es una oportunidad para las EDARs que debe ser tomada en cuenta ya que genera una serie de ingresos y ahorros con un fuerte impacto en la dinámica de su gestión, tal y como se recoge en la Figura 2. Las ventas de la energía, el agua y los subproductos del proceso de depuración tienen un amplio mercado de aplicación donde se cumplen, además los principios del enfoque de la economía circular anteriormente comentado. Al mismo tiempo, esa revaloración de las corrientes y subproductos genera sustanciales ahorros del proceso de depuración que permitirán mejorar su eficiencia y ayudar a la implementación de nuevas tecnologías de tratamiento que mejoren todavía más los procesos de tratamiento del agua residual.

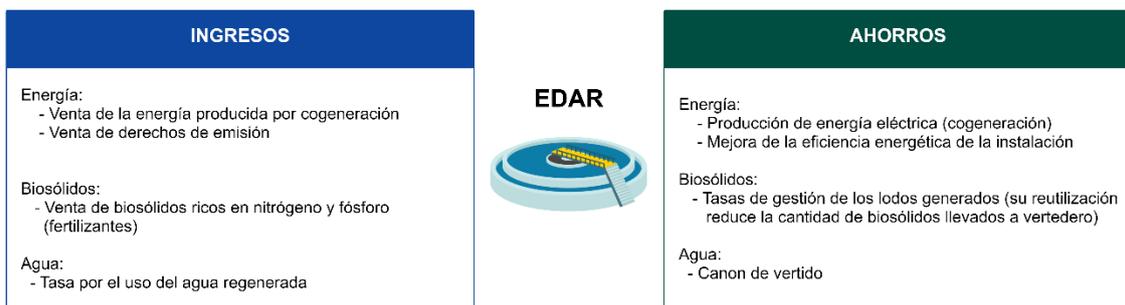


Figura 2. Ingresos y ahorros que se consiguen con la implementación de la reutilización en las EDARs. Elaboración propia.

Por esta razón, se requiere emplear nuevos procesos más eficientes desde el punto de vista energético, que consuman menos aditivos químicos y que hagan un mejor uso de subproductos como el lodo o el biogás. También es preciso desarrollar e

implementar sistemas de tratamiento a pequeña escala que reduzcan el uso tan generalizado de largas conducciones de transporte de aguas residuales. Es importante garantizar la viabilidad económica y ambiental de las plantas de tratamiento actuales ante estos retos que se apuntan.

Por otro lado, aunque son evidentes los beneficios de la reutilización del agua resulta igualmente cierto que las variables económicas, tales como los costes y el precio del agua regenerada van a ser determinantes en su implementación. Una aplicación estricta del principio de recuperación de costes sugiere que el usuario privado debe cubrir el coste total del proyecto de reutilización. Sin embargo, la intervención de la administración pública se podría justificar ya que se generan externalidades positivas que mejoran el bienestar social. De este modo, los gobiernos podrían contribuir a financiar y mantener este tipo de proyectos.

En este sentido, se debería llevar a cabo un análisis en profundidad de los recursos de agua en un área territorial con el fin de establecer un umbral de rentabilidad en términos técnicos y económicos que convierta la reutilización en una opción atractiva frente a otras alternativas. Ello requiere conocer la estructura de costes asociados a cada una de las fuentes de agua teniendo en cuenta el valor de las externalidades y los costes de oportunidad generados.

A la hora de abordar un análisis comparativo de los costes asociados a cada fuente de agua deberían considerarse las siguientes variables: el consumo de energía para el bombeo y distribución de agua, mantenimiento de pozos y tuberías para los recursos convencionales; los gastos de personal, mantenimiento, productos químicos y energía para el agua regenerada. En el caso del tratamiento de las aguas residuales debemos tener en cuenta que la estructura de costes varía dependiendo del tamaño de la planta. La determinación de un umbral de rentabilidad nos daría el tamaño mínimo de una planta que garantizaría el uso competitivo del agua regenerada.

A partir de ahí conviene analizar los mecanismos de fijación de precios con el fin de evaluar las posibilidades reales de la demanda de agua regenerada. Un estudio de la rentabilidad y los posibles incentivos aplicados ayudaría a determinar la verdadera

potencialidad de la reutilización como alternativa a los recursos convencionales. En este contexto, es necesario tener en cuenta que el agua potable se encuentra a menudo subvencionada. De hecho, si el principio de recuperación de costes se aplicara de manera estricta tanto al sector del abastecimiento como a la reutilización y quedara reflejado en su respectivo sistema de tarifas, la competitividad del agua regenerada mejoraría significativamente.

En este sentido, cualquier estrategia de precios debería ser considerada desde una perspectiva de gestión integral de los recursos hídricos. Si las tarifas de agua regenerada deben incrementarse para cumplir con el principio de recuperación de costes, el precio del agua potable debería también ser aumentado para lograr el mismo objetivo y evitar el crecimiento en el consumo total de agua. En este sentido, un mayor coste para el agua potable podría ser un factor determinante en el desarrollo o la ampliación de programas para el uso del agua regenerada.

### **3. Experiencias internacionales**

Desde un punto de vista económico, las experiencias internacionales sobre la reutilización del agua se pueden clasificar en dos grupos: proyectos en los que el agua regenerada es facturable y aquellos en los que no lo es. En el segundo caso se incluyen los proyectos de interés público en los que se utiliza el agua para la recarga de los acuíferos, la restauración de las masas de agua o el riego de jardines públicos.

Por ejemplo, en las cuencas de los ríos mediterráneos se espera que la reutilización del agua contribuya a alcanzar el buen estado ecológico de las masas de agua que exige la Directiva Marco del Agua. Aunque estos proyectos no generan ingresos desde un punto de vista de mercado, crean una serie de importantes externalidades positivas que benefician a toda la sociedad. Por lo tanto, para justificar su viabilidad económica, un análisis Coste-Beneficio debería incluir la cuantificación de los beneficios ambientales y sociales generados.

Por otro lado, los proyectos en los que el agua es facturable se caracterizan por el suministro de agua regenerada para los usuarios privados. Las regulaciones

permiten diferentes usos del agua y definen los niveles de calidad de agua para cada caso. En este contexto, es bien sabido que la inversión y los costes de operación y mantenimiento del proceso de regeneración varían mucho, dependiendo de la calidad requerida para el agua. En la mayoría de estos proyectos, los sistemas de regeneración de agua están diseñados ad hoc, basándose en las necesidades de los usuarios privados. Para recuperar el coste de esta regeneración, la tarifa aplicada debería ser igual o mayor que el coste asociado a dicho proceso.

Sin embargo, los proyectos de reutilización en la práctica casi nunca pagan la recuperación total de los costes para los usuarios del agua, pero en la mayoría de los casos se necesita un cierto grado de subsidio. Italia e Israel son dos ejemplos de esta política. Por un lado, Italia promueve la reutilización del agua a través del Decreto Legislativo 152/2006, que ordena las tarifas de descuento para los usuarios industriales de agua regenerada. En Israel, el Estado paga una fracción no despreciable de los costes totales de los proyectos de reutilización.

Con esta información, se plantea la cuestión de por qué el principio de recuperación de costes no se cumple para la mayoría de los proyectos internacionales de reutilización del agua. En el contexto de la tarificación en regiones con escasez de agua, hay tres principales objetivos deseables: la fijación de precios en función de la demanda de agua, los precios para promover el uso de agua regenerada y aquellos precios que permiten la recuperación de costes. El logro simultáneo de estos tres objetivos es prácticamente imposible.

En los EE. UU., según la *American Water Works Association*, para el 42% de las empresas de servicios públicos es más importante promover el uso del agua regenerada que la recuperación del coste total del proyecto. Además, la voluntad de utilizar el agua regenerada por parte de los agricultores depende de la diferencia de precios entre el agua convencional y la regenerada. Por todo ello, sólo adoptando una perspectiva de gestión integrada de los recursos hídricos se podrán afrontar con garantías los retos derivados del tratamiento y la reutilización del agua.

## **4. Análisis coste-beneficio como herramienta para evaluar la viabilidad económica en proyectos de reutilización**

El proceso de depuración de aguas residuales constituye una obligación legal para los Estados miembro de la Unión Europea en base a la Directiva 91/271/CEE. Sin embargo, ello no significa que a la hora de implementar esta Directiva las Administraciones competentes no deban tener en cuenta criterios de tipo económico. Además, la depuración de aguas residuales constituye una actividad económica en el sentido de que, en numerosas ocasiones, las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) son operadas por empresas privadas. Es por ello por lo que los aspectos económicos asociados a la depuración del agua residual están adquiriendo un interés creciente tanto para las Administraciones implicadas como para las empresas explotadoras de las instalaciones.

El desarrollo de estudios para evaluar la viabilidad económica de los proyectos de reutilización es un pilar fundamental a la hora de asegurar la efectividad, eficiencia y la sostenibilidad económica, social y ambiental de las nuevas acciones que se llevan a cabo dentro del ciclo hidrológico. Es por esta razón que el proceso de análisis ha de ser contextualizado teniendo en cuenta los aspectos esenciales del problema a tratar y los fundamentos de las metodologías que van a ser aplicadas. La Figura 3 muestra esta contextualización para un proyecto de reutilización dentro del marco de la economía circular.

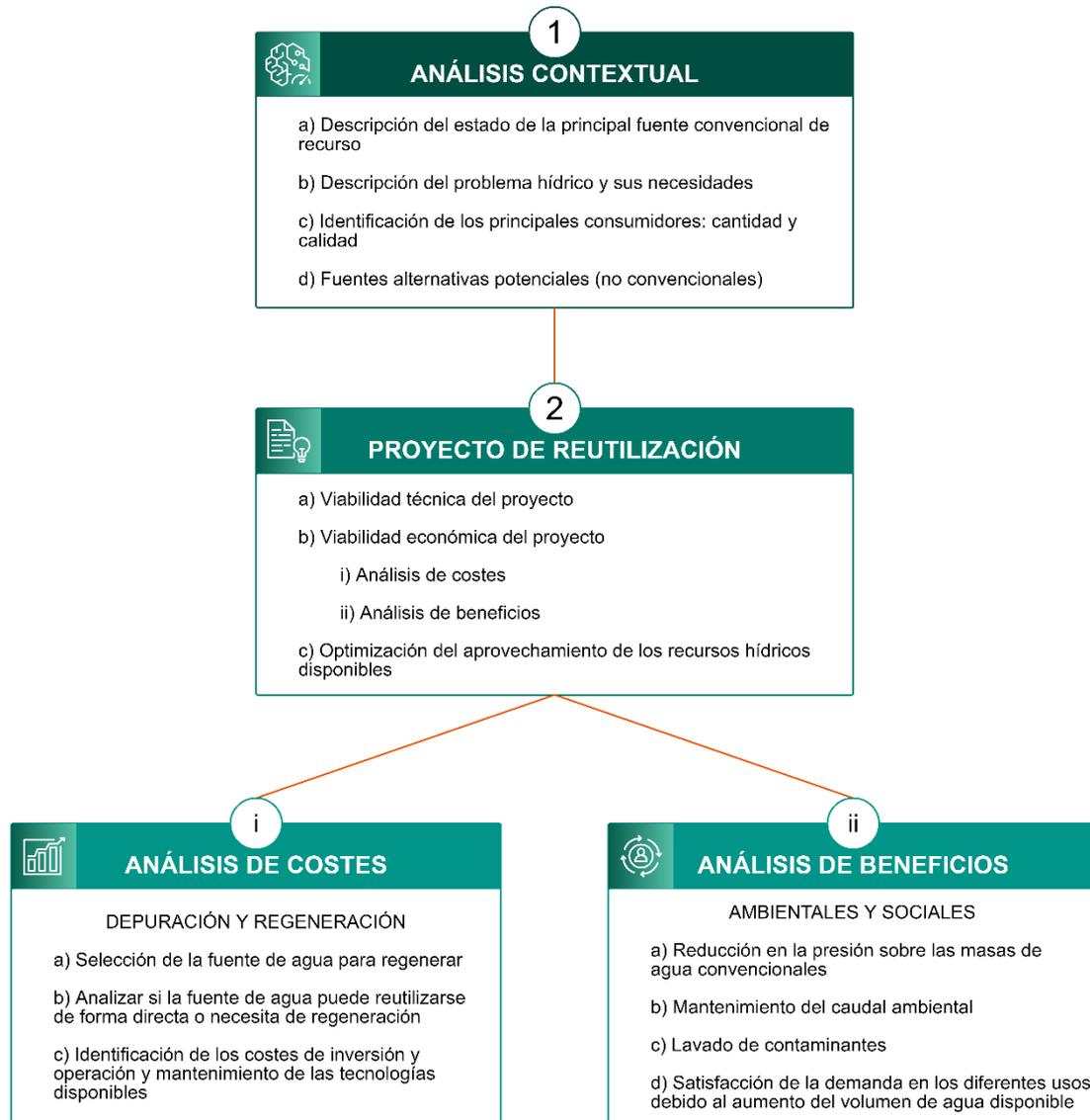


Figura 3. Contextualización del análisis de viabilidad económica de un proyecto de reutilización del agua. Elaboración propia.

En este contexto, el Análisis Coste Beneficio (ACB) constituye una de las herramientas más ampliamente utilizadas para evaluar la viabilidad económica de cualquier proyecto. Esta herramienta garantiza la racionalidad económica de las inversiones al asegurar que los beneficios derivados del proyecto son mayores que los costes incurridos.

Antes de describir de forma detallada el ACB, es necesario diferenciar esta herramienta del denominado análisis financiero. Básicamente, en un análisis financiero se comparan los costes y los ingresos generados durante la vida útil del proyecto, es decir, se comparan los denominados impactos internos o privados. La

diferencia entre los costes y los ingresos totales es el beneficio neto, es decir, el beneficio derivado de implementar un determinado proyecto. El enfoque del ACB es distinto ya que no sólo tiene en cuenta los impactos internos, sino también los denominados impactos externos o externalidades derivadas del proyecto. Por lo tanto, el ACB integra los costes internos, los ingresos internos, las externalidades negativas y las externalidades positivas.

En un proyecto de reutilización, los ingresos internos están representados únicamente por la posible venta del agua regenerada o de otros productos recuperados durante el proceso de depuración. Sin embargo, este tipo de proyectos puede estar justificado por la generación de externalidades positivas como la prevención de la contaminación. Es por ello, que cuando se evalúa la viabilidad económica de los proyectos de depuración de aguas residuales, la herramienta a utilizar es el ACB y no el análisis financiero. De lo contrario, los beneficios ambientales asociados a este tipo de proyectos que no tienen valor de mercado no son considerados en el análisis. El ACB parte siempre de la premisa de que un proyecto únicamente debe realizarse si los beneficios superan a los costes. Por lo tanto, se basa en la comparación del beneficio total con los costes totales de cada propuesta haciendo uso de una metodología analítica común. El beneficio neto o el beneficio total se calcula haciendo uso de la Ec. (1).

$$BN = \sum Bi - \sum Ci \quad (1)$$

donde:

*BN* es el beneficio neto; *Bi* es el valor del beneficio *i*; y *Ci* es el valor del coste *i*.

Para un determinado proyecto, si  $BN > 0$ , entonces el proyecto es económicamente viable, mientras que si  $BN < 0$  el proyecto no es viable en términos económicos. También es posible evaluar la viabilidad económica como la ratio entre los beneficios y los costes del proyecto. Este tipo de ratios pueden utilizarse para ordenar las medidas a implementar teniendo en cuenta que los recursos económicos son limitados, es decir, el ACB constituye una herramienta de soporte a la decisión a la hora de priorizar la implementación de medidas o proyectos de inversión.

Una debilidad del ACB es que la decisión final depende del listado de alternativas propuestas. Es decir, puede haber alternativas con una mejor ratio beneficio-coste pero que quedan fuera del análisis.

En el caso de proyectos de inversión cuya vida útil es más de un año, tanto los costes como los beneficios deben actualizarse al momento inicial. En otras palabras, el beneficio neto debe expresarse en valores actuales. Para ello, es necesario aplicar la correspondiente tasa de descuento de forma que el inversor se vuelve indiferente en relación con el flujo de caja registrado en diferentes años. El beneficio neto actualizado se calcula aplicando la Ec. (2):

$$BNA = \sum_{t=0}^T \frac{BN}{(1+r)^t} \quad (2)$$

donde:

$BNA$  es el beneficio neto actualizado;  $BN$  es el beneficio neto;  $r$  es la tasa de descuento; y  $t$  es la vida útil del proyecto.

El BNA determina la viabilidad económica del proyecto. Al igual que en el BN para proyectos con un año de duración, si el valor del BNA es positivo entonces el proyecto es viable en términos económicos. Si  $BNA < 0$ , el proyecto no es viable desde el punto de vista económico. La mejor opción, es la que presenta un valor mayor de BNA.

#### **4.1. Pasos para desarrollar un análisis coste-beneficio**

Para evaluar la viabilidad económica de un proyecto de inversión a través de un ACB, es necesario seguir una serie de pasos:

1) *Definir el conjunto de alternativas para desarrollar el proyecto.* El ACB se realiza con el objetivo de comparar el BN o BNA de diversas alternativas. En la mayoría de las ocasiones, la alternativa al desarrollo del proyecto es el *statu quo*, es decir, no implementar ninguna alternativa. En nuestro caso, no es necesario realizar este paso ya que la depuración de aguas residuales constituye una obligación legal.

2) *Identificar los costes y los beneficios del proyecto.* Una vez que se han especificado las alternativas del proyecto, el siguiente paso es identificar los beneficios y los costes generados como consecuencia del proyecto.

3) *Cuantificar los costes y los beneficios del proyecto.* Ésta constituye la fase más compleja del ACB. En este sentido, los impactos internos pueden ser cuantificados fácilmente porque tienen valor de mercado. En cambio, los proyectos con externalidades ambientales, como es el caso de la depuración de aguas residuales, presentan mayor complejidad en la cuantificación de estos impactos externos ya que no tienen valor de mercado. Es por ello, que se requieren métodos de valoración económica para estimar el valor económico de estas externalidades ambientales. De esta forma, es posible estandarizar las unidades de medida ya que normalmente los costes están expresados en unidades monetarias mientras que los beneficios están expresados en físicas.

4) *Calcular el beneficio neto actualizado o beneficio total.* Tal y como se muestra en la Ecuación 2, el BNA se define como la diferencia entre los beneficios y los costes, expresados en valores actuales. Un proyecto es económicamente viable si el BNA es positivo. Cuando se evalúa la viabilidad económica de varias alternativas, la mejor opción es la que presenta un mayor BNA.

5) *Realizar un análisis de sensibilidad.* Todos los pasos descritos anteriormente, están sujetos a incertidumbre. En este sentido, existen varias técnicas estadísticas y matemáticas que permiten acotar la incertidumbre en las variables incluidas en el análisis de viabilidad.

6) *Realizar recomendaciones en base a los valores de BNA y el análisis de sensibilidad.* La alternativa que genera el mayor BNA será la seleccionada como más adecuada. Puede suceder que, tras el análisis de incertidumbre, la mejor opción no sea la misma que la que inicialmente se había identificado.

Una vez definidos los aspectos básicos del ACB, se presentan las metodologías utilizadas para calcular tanto los costes como los beneficios derivados del proceso de depuración de aguas residuales.

## **5. Análisis de costes de la depuración de aguas residuales**

La estimación de los costes es un requisito básico para realizar un ACB. En el ámbito específico de la depuración de aguas residuales, nos podemos encontrar con dos situaciones y cada una de ellas requiere una aproximación diferente para estimar sus costes:

- a. Estimación de los costes de instalaciones o procesos que se encuentran actualmente en operación.
- b. Estimación de los costes de nuevas instalaciones o nuevos procesos.

Teniendo en cuenta que la depuración de aguas es una obligación legal, en el caso de las plantas que se encuentran ya en operación, el objetivo del ACB es determinar si la operación de estas instalaciones es económicamente viable. En este caso, los costes de inversión (CI) quedan fuera del contexto analítico. Por el contrario, en el caso de nuevas EDARs o de la implementación de nuevos procesos para mejorar la calidad del efluente más allá de los requisitos legales, los CI no pueden ser obviados.

### **5.1. Coste de EDARs actualmente en operación**

Teóricamente, la cuantificación de los costes de operación y mantenimiento de estas instalaciones es una tarea sencilla ya que estos costes están estrictamente controlados por las empresas explotadoras. Sin embargo, desde el punto de vista práctico, la elevada diversidad de sistemas de gestión de las EDARs, tanto a nivel local como regional, así como la variabilidad de tecnologías, dificultan la obtención de datos reales sobre los costes de operación y mantenimiento (COM) de estas instalaciones.

### **5.2. Coste de nuevas EDARs o procesos: funciones de coste**

En el caso de la implementación de nuevas instalaciones o procesos, el objetivo del ACB es seleccionar la mejor alternativa desde el punto de vista económico. Por lo tanto, no sólo deben considerarse los COM sino también los CI. Los CI son

relativamente sencillos de cuantificar. Sin embargo, la predicción de los COM es mucho más compleja. En este contexto, las funciones de coste se presentan como una herramienta sencilla, pero de gran utilidad ya que permiten relacionar los COM con las variables más representativas del proceso evaluado.

Las funciones de coste se utilizan frecuentemente para predecir costes en ámbitos muy diversos. Sin embargo, en el ámbito de la depuración de aguas residuales, su aplicación ha sido más bien limitada. A pesar de ello, la literatura muestra algunos ejemplos de funciones de coste específicas para el tratamiento y/o reutilización de agua regenerada. La mayoría de estas aplicaciones empíricas utilizan métodos estadísticos que permiten desarrollar una función de coste a partir de datos reales de EDARs. Otra de las ventajas de las funciones de coste es que permiten comparar los procesos de depuración de aguas desde el punto de vista económico, siempre y cuando se desarrollen funciones específicas por tecnologías.

Los pasos para elaborar las funciones de coste a partir de los datos reales de costes son los siguientes:

- i. *Clasificar los datos en función de la tecnología.* En nuestro ámbito de estudio, en primer lugar, debemos diferenciar entre EDARs con tratamiento primario, secundario o terciario. Posteriormente, estableceremos una clasificación más detallada dentro del grupo de plantas con tratamiento secundario (ejemplo, aireación prolongada, biodiscos, filtro percolador, etc.). En relación con las funciones de coste relativas a la gestión de lodos, deberemos diferenciar las distintas opciones de gestión de este residuo (uso agrícola, incineración, vertedero, etc.).
- ii. *Elegir un año de referencia para la valoración económica.* Debido a la dificultad que entraña la obtención de datos reales sobre COM de EDARs, a menudo la información recopilada no pertenece al mismo periodo de tiempo. En este caso, es necesario seleccionar un año de referencia y homogeneizar todos los datos a través de su actualización.
- iii. *Seleccionar las variables a incluir en la función de coste.* Habitualmente se considera que la capacidad de tratamiento de la planta es el factor más

influyente en los COM de las EDARs ya que estas instalaciones presentan significativas economías de escala, siendo necesario definir la variable que expresa la capacidad de la planta (habitantes equivalentes o volumen de agua tratada). Por otra parte, es conocido que los COM de las EDARs no sólo dependen de la capacidad de la instalación, sino que existen otros factores que afectan a los mismos.

- iv. *Elegir una forma funcional para la función de coste.* El desarrollo de la función de coste consiste en establecer una relación entre la variable dependiente  $C$  (coste) y una serie de variables independientes  $X$  (por ejemplo, el volumen de agua tratado o la eficiencia en la eliminación de contaminantes) a través de un análisis de regresión. Para ello, se pueden utilizar varios modelos como, por ejemplo:

$$\begin{array}{ll} C = a + b/X & \text{Inversa} \\ C = a + b \ln X & \text{Logarítmica} \\ C = a X^b & \text{Potencial} \\ C = a + b X + c X^2 & \text{Cuadrática} \end{array}$$

donde:

$a, b$  y  $c$  son los parámetros del modelo a estimar.

En la literatura especializada, encontramos distintas contribuciones. Así, Sipala et al. (2005) desarrollan un modelo lineal Ec. (3).

$$Y = a - bx \quad (3)$$

donde:

$Y$  son los costes de operación en  $\text{£/m}^3$ ;  $x$  es la capacidad de la planta en habitantes equivalentes y;  $a, b$  son parámetros constantes.

Estos autores consideran que el grado de depuración y, por lo tanto, los costes dependen significativamente de las opciones de reutilización del agua, de las regulaciones legales y de los aspectos de tipo sanitario. Por ello,

evalúan los costes de depuración para diversos escenarios que tienen en cuenta las consideraciones citadas previamente.

Tras una revisión bibliográfica, encontramos que la forma funcional que proporciona mejores resultados es la potencial. Este enfoque es utilizado por González-Serrano et al. (2006) para analizar la eficacia y los costes de la reutilización del agua regenerada bajo distintos escenarios en regiones con graves problemas de estrés hídrico. El ajuste propuesto presenta la forma recogida en la Ec. (4).

$$C = -\alpha \ln Q + \beta \quad (4)$$

donde:

$C$  es el coste total de operación y mantenimiento (€/m<sup>3</sup>);  $Q$  es el caudal de agua tratada (m<sup>3</sup>/hora) y;  $\alpha, \beta$  son parámetros constantes.

Un enfoque muy similar fue aplicado por el Ministerio de Medio Ambiente (MARM, 2009) a través de la Guía Técnica de Evaluación de Medidas. En esta guía el Ministerio desarrolla una serie de funciones de costes para predecir los costes del proceso de depuración de aguas residuales en España y poder así realizar parte del análisis económico necesario para la implementación de la Directiva Marco del Agua.

Siguiendo estos trabajos, se propone la formulación de una función de coste, para cada tecnología de tratamiento, de tipo potencial que tenga en consideración no sólo la capacidad de tratamiento de la planta sino otras variables representativas. Así, en términos generales, su formulación se expresa según la Ec. (5).

$$C = A V^b e^{(\sum \alpha_i x_i)} \quad (5)$$

o en términos logarítmicos, según la Ec. (6).

$$\ln C = \ln A + b \ln V + \sum \alpha_i x_i \quad (6)$$

donde:

$A$ ,  $b$  y  $\alpha$  son parámetros;  $C$  es el coste total por año;  $V$  es el volumen de agua tratada anualmente y;  $x_i$  son varias variables representativas del proceso.

En relación con la función de coste relativa a los costes de gestión de los lodos y residuos generados como consecuencia de la depuración, la literatura no ofrece referencias previas. Por ello, tras varias pruebas, se identificó que el tipo de ajuste que proporciona mejores resultados es el lineal (recogido en la Ec. 7).

$$C = a + \sum \alpha_i x_i \quad (7)$$

donde:

$C$  es el coste total por año;  $A$  y  $\alpha$  son parámetros y;  $x_i$  son tipos de residuos.

- v. *Ajustar los datos reales a la forma funcional definida a través de métodos estadísticos.* Se plantea una regresión a través del ajuste de mínimos cuadrados imponiendo la condición adicional de que todos los coeficientes deben ser positivos. Para ello, utilizamos un modelo de optimización no lineal que resolvemos con el software *General Algebraic Modeling System (GAMS)*.

## 6. Beneficios ambientales derivados de la reutilización

La herramienta de ACB consiste, básicamente, en la comparación de los costes y de los beneficios asociados a un determinado proyecto. Sin embargo, el hecho de que este análisis deba incluir tanto los elementos con valor de mercado como los que carecen de él, es el principal obstáculo en su aplicación. Así, es evidente que la

depuración de aguas residuales tiene asociados unos determinados beneficios ambientales que carecen de precio de mercado, pero cuyo valor debe ser incorporado en el ACB.

La teoría económica ha desarrollado diversos métodos encaminados a estimar el valor económico de las externalidades positivas derivadas de los proyectos de inversión, en general y, de los beneficios ambientales, en particular. Los métodos tradicionales (métodos de preferencias declaradas) se basan en el enfoque de la demanda. Sin embargo, existen otras metodologías basadas en el enfoque del coste de la producción que también pueden ser utilizadas para cuantificar en términos monetarios los beneficios ambientales. Este enfoque se basa en la estimación de los precios sombra de los outputs no deseados o contaminantes eliminados como consecuencia del proceso de depuración de las aguas residuales. Así, se obtiene una aproximación al beneficio ambiental derivado de la depuración de aguas residuales.

La viabilidad de la reutilización dependerá de las circunstancias locales, las cuales afectarán el equilibrio entre los costes y los beneficios. Probablemente el principal beneficio en la mayoría de los casos sea el valor del agua dulce que se intercambia por un uso urbano o industrial de mayor valor. Esto podría reducir el coste para las autoridades municipales de buscar sus suministros a través de medios más costosos. Además, la reutilización impide que se viertan aguas residuales sin tratar en los sistemas costeros y de aguas subterráneas, lo cual trae beneficios para el turismo y los ecosistemas.

Dependiendo de la situación local, también podría haber beneficios para los agricultores si logran evitar algunos de los costes de extraer aguas subterráneas, al mismo tiempo que los nutrientes presentes en las aguas residuales podrían permitir un ahorro en fertilizantes. También podría haber beneficios para el medio ambiente local gracias a la reducción de los flujos de aguas residuales sin un adecuado tratamiento.

## **7. Justificación económica y viabilidad financiera de un proyecto de reutilización del agua**

La evaluación económica del proyecto debe realizarse a una escala no estrictamente local, comparando los costes y beneficios económicos del proyecto en un ámbito territorial más amplio. En base a la evidencia observada en nuestros casos de estudio, es poco probable que estos sistemas se justifiquen económicamente considerando solo la agricultura. A pesar de que los agricultores pueden ser beneficiarios netos gracias al uso de aguas residuales tratadas, en comparación con sus fuentes de agua anteriores o alternativas, esto depende mucho de las circunstancias locales y, en todo caso, es posible que sus beneficios netos no compensen los costes totales del sistema. Por otro lado, los beneficios para los usuarios urbanos e industriales podrían ser relativamente considerables y en muchos casos serían la justificación principal del proyecto. El impacto neto del proyecto en el medio ambiente también dependerá del espacio territorial considerado.

Una vez establecida la justificación económica básica del proyecto, el paso siguiente consiste en examinar su viabilidad financiera. La distribución de los costes y beneficios del proyecto entre las distintas partes interesadas es también clave para su factibilidad. Se debe evaluar su efecto en las finanzas de las diversas partes interesadas, es decir, gobierno nacional, autoridades hídricas regionales, agricultores, servicios públicos municipales y otros actores principales. Se debe identificar a los beneficiados y contribuyentes para calcular los incentivos y el tipo de financiación que sería apropiado. Los subsidios, impuestos, cánones, créditos preferenciales, pagos de servicios ambientales y otros instrumentos podrían formar parte de las propuestas financieras.

### **7.1. Factores esenciales para el éxito de los proyectos de reutilización**

De forma paralela a la justificación económica y la viabilidad financiera del proyecto debe ser considerado el impacto social del proyecto propuesto. La forma en la que

se presenta la reutilización a la población y actores implicados supone un pilar fundamental a la hora asegurar el éxito de cualquier proyecto centrado en la mejora de la conservación y gestión de los recursos hídricos. Tal y como se recoge en la Figura 4, existen una serie de aspectos a tener en cuenta para asegurar el éxito de los proyectos de reutilización, los cuales se centran en demostrar su eficacia y su eficiencia, así como en presentar el proyecto de una forma atractiva y adaptada al ámbito en el cual se va a desarrollar.

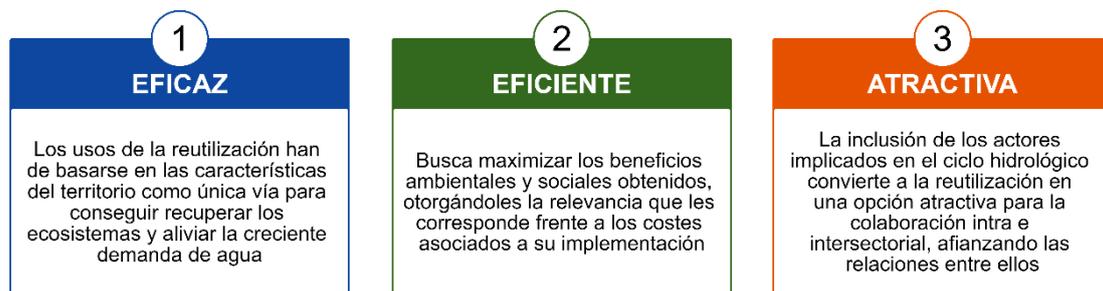


Figura 4. Aspectos para tener a cuenta a la hora de asegurar el éxito de los proyectos de reutilización. Elaboración propia.

A pesar de que el esquema analítico del ACB puede incorporar los intereses de las autoridades locales y agricultores, existe también una tercera parte importante en juego: el medio ambiente. Un desafío para los analistas en esta área consiste en reflejar las necesidades ambientales, valorando sus activos y servicios y asegurando su sostenibilidad.

La mayoría de los estudios de caso ponen énfasis en los beneficios percibidos por los agricultores gracias a los nutrientes del efluente, a la no extracción de aguas subterráneas o a una mayor garantía de suministro en comparación con otras fuentes de agua, en particular en climas áridos y semiáridos. Si bien los ahorros por la no extracción de aguas subterráneas son muy evidentes, los beneficios asociados a los nutrientes dependen de la evidencia empírica disponible (“con y sin proyecto”). El valor del agua regenerada también necesita demostrarse de manera convincente, por ejemplo, a través de un estudio más detallado de la respuesta de los agricultores cuando el suministro de agua es errático o escaso.

Desde el punto de vista de la demanda de agua a nivel urbano, los estudios de caso reflejan una visión generalizada de que las tarifas del suministro de agua son

demasiado reducidas y existe una subestimación importante de los beneficios de los proyectos de reutilización, así como de los costes evitados al satisfacer la demanda existente de una manera diferente.

De ahí que se requiere destacar que la regeneración y reutilización de aguas tratadas supone un elemento clave en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) ya que permite alcanzar objetivos diferentes, pero totalmente interrelacionados. Esta nueva percepción contribuirá a transformar el actual modelo de carácter lineal hacia un nuevo modelo basado en la economía circular como garantía de la sostenibilidad económica, social y ambiental.

## **8. Una propuesta de metodología para evaluar la viabilidad de un proyecto de reutilización**

El agua regenerada puede ser utilizada en un gran número de actividades como el riego agrícola y de jardines, la recarga de acuíferos, procesos industriales, etc. Los requerimientos de calidad para esta agua estarán en función de su uso final y de su potencial exposición a las personas. Un problema asociado a los proyectos de reutilización del agua regenerada es la planificación insuficiente lo que suele provocar que su precio real sea mucho más alto que el estimado durante la etapa de diseño. Así mismo, una vez que el sistema de tratamiento y reutilización ha sido construido y está en funcionamiento debe realizarse un control continuo de la calidad del agua en función de los parámetros fijados por la legislación para cada uso.

La cuantificación de los costes y los ingresos potenciales de un proyecto nos permitirá valorar adecuadamente su viabilidad. Además, hay que tener en cuenta que estos costes e ingresos van a variar a lo largo de la vida útil de las inversiones realizadas. En esta metodología se entiende ingreso como cualquier ganancia en bienestar y coste como cualquier pérdida en bienestar o utilidad.

Se asume que el objetivo principal de todo proyecto de reutilización es maximizar los beneficios totales, lo que en términos económicos es la diferencia entre los ingresos y los costes. El resultado mostrará si el proyecto es viable o no. A la hora de calcular los beneficios totales, cabe incluir básicamente tanto el beneficio interno como el externo. Otra forma de expresar la función a maximizar sería según la Ec. (8).

$$\text{Max } B_T = B_I + B_E \quad (8)$$

donde

$B_T$  = Beneficio Total (ingresos totales – costes totales)

$B_I$  = Beneficio Interno (ingresos internos – costes internos)

$B_E$  = Beneficio Externo (externalidades positivas - externalidades negativas)

#### *Beneficio Interno:*

Se deduce de la diferencia entre los ingresos internos y los costes internos. Los primeros se calculan multiplicando el precio de venta del agua regenerada por el volumen obtenido. Los costes internos se componen de la suma de los costes de inversión (infraestructuras físicas), los costes de explotación (trabajo, energía, productos químicos y material fungible), los costes financieros y los impuestos.

La estimación de costes para un proyecto de reutilización de agua debe incluir proyecciones de los costes de capital, los costes anuales de explotación y mantenimiento y los costes del ciclo de vida. Estos últimos permiten la comparación de la viabilidad económica de varios proyectos alternativos a lo largo de un periodo específico de tiempo. Se puede aproximar el coste global de un proyecto teniendo en cuenta el coste de construcción, equipamiento y explotación, así como los costes de mantenimiento.

Se estima que la preparación del terreno y los costes de electricidad representan el 10% y el 15% de los costes totales, respectivamente. Los costes anuales de explotación y mantenimiento incluyen costes de personal (según tamaño y

complejidad de las instalaciones), consumo de energía y productos químicos y costes de mantenimiento, que se consideran parte de los costes de equipamiento. A modo de ejemplo, el mantenimiento de las tuberías y los depósitos se estima en un 2% de los costes de capital. Es importante destacar que los costes de mantenimiento suponen la mayor parte de los costes de las plantas pequeñas, como ejemplo de deseconomías de escala.

Los costes de explotación y mantenimiento de este tipo de instalaciones son una combinación de costes fijos y variables y están relacionados con el tamaño del sistema. Los costes fijos se subdividen en costes de explotación y mantenimiento del sistema de distribución, incluyendo conducciones y sistemas de almacenamiento elevado o subterráneo. Los costes de administración son comunes a los dos componentes. Por su parte, los costes variables se limitan generalmente a los costes del tratamiento químico y el bombeo. Mientras que los costes de capital son bastante fáciles de calcular, la estimación de los costes de explotación y mantenimiento es más complicada para cualquier sistema, debido principalmente a la variabilidad en la vida de los componentes. Los principales puntos a tener en cuenta cuando se analizan los costes de explotación son los siguientes:

- **Personal.** Las necesidades de personal dependen del diseño de la planta, la complejidad del tratamiento o el nivel de automatización. Los costes de personal asociados al tamaño de cada planta se calculan en base a las horas de trabajo necesarias suponiendo un coste laboral de referencia. Se observa una reducción de costes por Habitante Equivalente (H.E.) cuando se aumenta el tamaño de la planta.
- **Energía.** Normalmente representa la parte más importante de los costes de explotación. Varía mucho según la tipología de la planta depuradora, sobre todo con respecto al tratamiento de lodos.
- **Eliminación de lodos.** Está relacionado con el volumen de lodos generados y con los costes de transporte y eliminación. El coste unitario promedio de transporte y eliminación se establece por kg de materia seca.

- **Mantenimiento.** Estos costes se expresan como un porcentaje de la inversión inicial. De hecho, se contempla el 0,5% de la inversión inicial para el mantenimiento de obras públicas, mientras que se asume un 3% para mantenimiento del equipamiento electromecánico. También se estima necesaria la sustitución del 80% del equipamiento cada 10 años.

En la literatura, se puede encontrar información valiosa sobre el coste de las distintas partidas (energía, personal...), sistemas (tuberías, depósitos...), tipos de proceso o tamaños de plantas. Como ejemplo, en la Tabla 1 se muestran las curvas estimadas de coste para diferentes alternativas de tratamiento.

Tabla 1. Curva de costes como función del tamaño de la planta depuradora.

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO	$X < 30.000$ H.E.	$X \geq 30.000$ H.E.
Tratamiento primario	$Y = 0,317 - 9 \times 10^{-6} \times X$	$Y = 0,132 - 5 \times 10^{-7} \times X$
Tratamiento secundario	$Y = 0,474 - 7 \times 10^{-6} \times X$	$Y = 0,309 - 4 \times 10^{-7} \times X$
Filtración	$Y = 0,507 - 7 \times 10^{-6} \times X$	$Y = 0,342 - 4 \times 10^{-7} \times X$
Nitrificación/desnitrificación + filtración	$Y = 0,559 - 8 \times 10^{-6} \times X$	$Y = 0,369 - 5 \times 10^{-7} \times X$
Nitrif./Desnitr. + Eliminación de P + filtración	$Y = 0,6208 - 8 \times 10^{-6} \times X$	$Y = 0,393 - 5 \times 10^{-7} \times X$
Coagulación-floculación	$Y = 0,939 - 2 \times 10^{-5} \times X$	$Y = 0,471 - 5 \times 10^{-7} \times X$
Adsorción en carbón	$Y = 1,132 - 1 \times 10^{-5} \times X$	$Y = 0,730 - 5 \times 10^{-7} \times X$
Ósmosis inversa	$Y = 1,503 - 2 \times 10^{-5} \times X$	$Y = 0,907 - 5 \times 10^{-7} \times X$

La Y indica el coste unitario en €/m<sup>3</sup>; X representa el número de Habitantes Equivalentes (H.E.)

Sobre la base de los distintos modelos de estimación curvilínea existentes en la literatura se deduce que la función que presenta un mejor ajuste es la *potencial*. La curva de costes resultante tiene la forma recogida en la Ec. (9)

$$C = \alpha V^\beta \quad (9)$$

donde, C es Coste (€/m<sup>3</sup>); V es el Volumen de agua tratada (m<sup>3</sup>/año), mientras que  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros. Un ejemplo de la curva de costes en función del volumen de agua tratada aparece en la Tabla 2.

Tabla 2. Curva de costes en función del volumen de agua tratada.

$C$ (€/m <sup>3</sup> )	$V$ (m <sup>3</sup> /año)	$\alpha$	$\beta$
Coste Total		1,2548	-0,8997
Coste Energía		0,1397	-1,1828
Coste Personal		0,7647	-0,8215
Coste Mantenimiento	Volumen Tratado	0,1395	-0,9126
Costes Gestión Residuos		0,0197	-1,3311
Costes Varios		0,4248	-0,6574

Dada la falta de un mercado de agua regenerada, es difícil obtener un precio para este producto. Para resolver este problema, se asume que el coste por metro cúbico debe ser igual al precio mínimo de venta. De esta forma, se garantiza que los costes internos quedarán cubiertos. Se emplean los criterios de Valor Actual Neto (VAN) para obtener este precio. El precio mínimo de venta es aquel que hace el VAN igual a cero. Una vez establecido el objetivo de calidad del agua regenerada, el siguiente paso es encontrar la tecnología adecuada para lograrlo. Cuando existen varias alternativas, se elegirá aquella que ofrezca un coste por metro cúbico más bajo. La Ec. (10) muestra los pasos a seguir.

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^n \frac{BN_n}{(1+i)^n} \quad (10)$$

$$BN_n = (VAAR \times PMVAR) - (CI_n + CEM_n + T_n + CF_n)$$

donde:

$VAN$  = Valor Actual Neto;  $I_0$  = Inversión Inicial;  $BN$  = Beneficio Neto;  $i$  = Tasa de Descuento;  $n$  = Año;  $CI$  = Coste de Inversión;  $CEM$  = Costes de Explotación y Mantenimiento;  $T$  = Impuestos;  $CF$  = Costes Financieros;  $VAAR$  = Volumen Anual de Agua Regenerada y  $PMVAR$  = Precio Mínimo de Venta del Agua Regenerada.

Mediante esta metodología obtenemos el coste por metro cúbico, pero no es suficiente para determinar la viabilidad de un proyecto. Para esto, se debe calcular el Beneficio Total (BT) según la ecuación anterior. Por lo tanto, el beneficio interno viene dado por la Ec (11).

$$B_I = [(VAAR_n \times PVAR_n) - (CI_n + CEM_n + T_n + CF_n)] \quad (11)$$

Donde:

$PVAR$  = Precio de Venta del Agua Regenerada.

*Beneficio externo:*

Se refiere a cualquier consecuencia (positiva o negativa, intencionada o aleatoria) que se puede calcular y que deriva del proyecto. Mientras algunos impactos se pueden traducir en unidades monetarias, los factores biofísicos y sociales exigen la definición de unidades de medida. Para homogenizar los resultados, se propone una referencia anual. Para aquellos impactos externos para los que no existe ningún mercado concreto se utilizan métodos de valoración económica basados en escenarios o patrones hipotéticos observados en mercados relacionados.

En todos los proyectos es necesario calcular, además del beneficio, el valor de las externalidades positivas y negativas que se derivan del proyecto de tratamiento y reutilización del agua. De este modo, el beneficio externo vendría dado por la Ec. (12).

$$B_E = \sum_{n=0}^n (EP_n - EN_n) \quad (12)$$

Donde:

$BE$  = Beneficio Externo

$EP$  = Externalidades Positivas

$EN$  = Externalidades Negativas

Si bien existe numerosa información sobre la evaluación económica de proyectos que contempla el beneficio interno, la inclusión del cálculo de externalidades no es habitual, por lo que a continuación se ofrece una descripción de los diferentes aspectos a considerar como externalidades, así como los métodos de cálculo aconsejados en un proyecto de reutilización de agua.

A lo largo de la literatura se han desarrollado diversos métodos encaminados a estimar el valor económico de las externalidades positivas derivadas de los proyectos de inversión, en general y, de los beneficios ambientales, en particular. Los métodos tradicionales se basan en el enfoque de la demanda mientras que existen otras metodologías basadas en el enfoque del coste de la producción que también pueden ser utilizadas para cuantificar en términos monetarios los beneficios ambientales. Este enfoque se basa en la estimación de los precios sombra de los outputs no deseados o contaminantes eliminados como consecuencia del proceso de depuración de las aguas residuales. Así, se obtiene una aproximación al beneficio ambiental derivado de la depuración de aguas residuales. Los principales métodos basados en las preferencias declaradas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Metodologías de valoración de bienes ambientales (preferencias declaradas).

MÉTODOS DE VALORACIÓN INDIRECTA	MÉTODOS DE VALORACIÓN DIRECTA
Precios hedónicos (PH)	
Coste de Viaje (CV)	Valoración contingente (VC)
Coste de Reposición (CR)	

Los *Métodos de valoración indirecta*, son aquellos basados en la existencia de una relación de complementariedad entre los bienes ambientales y otros bienes privados con mercado y, por lo tanto, el valor de dichos bienes ambientales se puede inferir de forma indirecta. Son métodos con un campo de aplicación más limitado que los métodos directos, ya que es necesaria la existencia de una relación de complementariedad entre el bien ambiental y el bien privado con mercado. Además, sólo permite estimar valores de uso y no de existencia y opción.

*Precios hedónicos:*

Dado que muchos bienes son multiatributo, el precio de estos es un reflejo directo de las características que componen el bien. Aplicando este método se intenta descubrir todos los atributos que explican su precio, y averiguar la importancia cuantitativa de cada uno de ellos. Se utiliza, por ejemplo, en la valoración de viviendas, ya que no sólo se están comprando una serie de metros cuadrados de una determinada calidad, sino que también se está escogiendo un entorno.

### *Coste del viaje:*

Es un método de valoración indirecta utilizado para valorar espacios naturales con función recreativa. Aunque, en general, no se paga una entrada para acceder a un espacio natural determinado, ello no implica que el disfrute de sus servicios sea gratuito, la persona incurre en unos costes de desplazamiento, de viaje, que es precisamente lo que se valora. Cada visita lleva consigo una transacción implícita en la que se intercambia el coste de acceso a dicho lugar por los servicios recreativos que ofrece al visitante. Así, distintos individuos incurren en diferentes costes de viaje, siendo la respuesta de éstos (mayor o menor número de visitas) a estas variaciones de precios implícitos la base para poder estimar el valor de uso recreativo del parque.

### *Coste de reposición:*

Es un método que consiste en preguntar a los afectados cuanto le ha costado reponer el nivel original del medio ambiente, ante un deterioro que disminuye la calidad de éste. La ventaja de este método es que es muy fácil obtener la información y ésta es fiable porque se trata de bienes con mercado, son transacciones reales y no hipotéticas. Su inconveniente es que la valoración suele ser incompleta porque en la mayoría de los casos se está subestimando el verdadero valor.

Los *Métodos de valoración directa* se aplican cuando no existe relación de complementariedad entre los bienes ambientales y los bienes normales con mercado. Este caso se presenta, entre otros, cuando el recurso ambiental tiene un valor de no uso. Por lo tanto, la valoración directa, se puede aplicar en los mismos casos que la valoración indirecta, pero la ventaja es que permite descubrir valores de no uso.

### *Valoración contingente:*

Este método trata de simular un mercado mediante una encuesta a los consumidores potenciales. Se les pregunta por la máxima cantidad de dinero que estarían dispuestos a pagar (DAP) por el bien si tuvieran que comprarlo, como hacen

con el resto de los bienes. De ahí se deduce el valor que para el consumidor medio tiene el bien en cuestión. Este método puede aplicarse para valorar bienes como:

- Servicios recreativos de espacios naturales (valor de uso)
- Valores de existencia de espacios naturales y especies animales y vegetales.
- Valores de uso de parques urbanos.
- Valores de existencia de paisajes urbanos y rurales.
- Valores de existencia de bienes culturales.
- Otros bienes ambientales y públicos, como ruido, contaminación, etc...

Tiene la ventaja de que es el único método capaz de estimar valores de no uso (opción y existencia), permite obtener el excedente neto del consumidor y además es un método flexible para valorar todo tipo de situaciones y bienes públicos. En la Tabla 4 se muestra un ejemplo de las posibles externalidades que se deberían tener en cuenta en un proyecto de reutilización de agua, así como los métodos más apropiados para su valoración económica.

Es importante recordar que, en este tipo de análisis, aunque es importante contar con una metodología adecuada también lo es la cantidad y calidad de los datos utilizados. La combinación de ambos elementos es lo que otorgará validez al estudio de viabilidad.

Como parte final de la metodología será necesario evaluar la viabilidad del proyecto ante posibles cambios en una serie de variables significativas. Se trata de valorar hasta qué punto el resultado obtenido en la evaluación de un proyecto se muestra sensible ante la variación de algunos parámetros utilizados en el análisis. Por ejemplo, se podrían plantear cambios en las condiciones de financiación, los costes de la energía o el propio precio del agua regenerada. Una vez analizadas las variaciones que experimenta el Beneficio Total en cada uno de los escenarios propuestos se podrá valorar la robustez o verdadera viabilidad del proyecto estudiado.

Tabla 4. Identificación y valoración de externalidades.

GRUPOS	EXTERNALIDADES		
	IDENTIFICACIÓN	UNIDAD	MÉTODO VALORACIÓN
Infraestructuras hídricas	Evita la construcción de instalaciones para captar y almacenar agua dulce	Euros	PM
	Evita los costes de purificación del agua	Euros	PM
	Evita la construcción de tuberías y costes de distribución del agua	Euros	PM
Reutilización de Contaminantes	Reutilización de nitrógeno en agricultura	Kg de N	PM
	Reutilización de fósforo en agricultura	Kg de P	PM
	Reutilización de lodos en agricultura y jardinería	Kg	PM
	Reutilización de la energía térmica	Vatios	PM
Usos del Recurso	Aumenta la cantidad de agua disponible	m <sup>3</sup>	PM
	Garantiza el suministro en tiempos de escasez	% Confianza	PM - VC
	Se obtiene una calidad de agua adaptada a usos diferentes	Kg de residuo	PM - VC
Salud Pública	Riesgos biológicos relacionados con la reutilización de aguas residuales	Personas expuestas	PM -VC
	Riesgos químicos relacionados con la reutilización de aguas residuales		PM -VC
Medio ambiente	Aumento del nivel de los ríos	m <sup>3</sup>	VC - CV
	Evita la sobreexplotación de recursos hídricos	Nivel del acuífero (m)	CR
	Evita la contaminación del agua	Kg de residuos eliminados	PM-VC-CV
	Permite la recuperación de humedales y el hábitat fluvial	Usuarios	VC - CV
	Aumento de la contaminación debido al olor y el ruido	Personas expuestas	VC-PH-CR
	Reducción en el valor de los terrenos cercanos	Euros	PM
Educación	Aumenta la sensibilidad social de una nueva cultura de agua	Número de personas	VC

PM: Precio de Mercado; VC: Valoración Contingente; CV: Coste de Viaje; PH: Precios Hedónicos; CR: Coste de Restauración.

## 9.Cálculo del beneficio ambiental del proyecto de construcción de una nueva EDAR en l'Horta Sud de Valencia

La importancia ecológica de La Albufera viene regulada por el Decreto 89/1986 de 8 de julio donde es declarada como Parque Natural tanto el lago como su entorno húmedo, y el cordón litoral adyacente (Dehesa del Saler). El Decreto 71/1993, de 31 de mayo, amplía el régimen jurídico, el cual comprende parte de los términos municipales de Valencia, Alfafar, Sedaví, Catarroja, Massanassa, Albal, Beniparrell,

Silla, Sollana, Sueca, Cullera, Albalat de la Ribera y Algemesí. Desde el año 1990, el Parque Natural de La Albufera se encuentra incluido en la lista de humedales Ramsar por su importancia internacional para las aves, y desde el año 1991 está incluido en Áreas ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves). Además, también figura en la propuesta valenciana de Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), y se encuentra incluido en el Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad Valenciana, donde se destaca que tanto los valores ecológicos como los recursos económicos y culturales que aporta están clasificados en la máxima categoría.

La cercanía del Parque Natural de la Albufera a la ciudad de Valencia y su área metropolitana supone un reto en la gestión de las aguas residuales y las aguas procedentes de los eventos pluviales. La Albufera es considerada como una zona sensible a la contaminación con una importancia ecosistémica significativa (ya que es la base de un ecosistema muy rico, actuando además como zona de paso para diversas especies de aves migratorias) y, además, con una importancia socioeconómica también significativa (fruto de su uso como zona de cultivo de arroz). Esta conjunción de factores dificulta la gestión de las aguas residuales debido, principalmente, a la red de acequias existentes, los vertidos incontrolados, la cercanía a las zonas urbanas y los eventos pluviométricos extremos que desbordan la red de acequias y colectores pluviales.

### **9.1. Descripción de la EDAR propuesta y su influencia en la minimización del impacto social y ambiental**

La gestión hídrica en el entorno de La Albufera es compleja debido a la interconexión existente entre las variables ecológicas y las variables humanas, lo cual es responsable de la llegada de contaminantes al lago. Al mismo tiempo, la degradación del lago provocada por dichos contaminantes tiene efectos negativos para el aprovechamiento de los recursos que brinda el ecosistema. Esta situación genera un bucle en el que todos los actores salen perjudicados y se perpetúa el impacto ambiental y social en La Albufera y en los municipios circundantes.

Los caudales punta fruto de los episodios de lluvias intensas, la necesidad de un redimensionamiento del sistema de recolección del agua residual y la interconexión de la red de acequias de la zona genera picos de contaminación en La Albufera.

Concretamente los colectores no son capaces de canalizar toda el agua que llega produciéndose alivios a la red de acequias que finalmente llegan al lago. Por otro lado, la red de acequias está conectada en algunos puntos con la red de saneamiento y en algunas ocasiones estas infraestructuras hidráulicas hacen la función doble de acequias y sistema de saneamiento. Este hecho produce que se desaproveche agua limpia de riego al mezclarse con el agua de la red de saneamiento.

La remodelación del sistema de saneamiento propuesta es crucial para asegurar la protección de La Albufera y la reducción del impacto ambiental al cual está sometida. El flujo de las aguas pluviales y residuales a través de la red de infraestructuras (colector y acequias) ha de monitorizarse y tratarse debidamente a través de la nueva EDAR propuesta para asegurar la reducción de la carga contaminante. Cabe destacar la importancia de este hecho porque la red de acequias es una fuente subsidiaria de agua para La Albufera, aportando los retornos de riego y los caudales excedentes de aguas pluviales y residuales, situación que reitera la pérdida de calidad del Parque Natural.

Este mal funcionamiento de la red de saneamiento ha provocado que La Albufera sea un lago eutrofizado cuya calidad está lejos del buen estado ecológico. Esta situación ha provocado la desaparición de especies de fauna propias del lago, así como la alteración de los ciclos migratorios de las aves. Esta situación no solo es importante desde el punto de vista ambiental, sino que posee una fuerte relevancia social debido al protagonismo que La Albufera tiene en la economía de los municipios circundantes, ya sea por el turismo como por el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos que el lago brinda (agricultura y pesca).

Teniendo en cuenta la problemática anteriormente descrita, es necesario el rediseño del sistema de saneamiento actual acometiendo las actuaciones necesarias para la conservación de La Albufera y la correcta depuración de las aguas residuales generadas. Concretamente se plantea la construcción de un sistema de saneamiento que duplica la capacidad del actual y la construcción de una nueva EDAR con instalaciones destinadas a la reutilización agrícola y ambiental del agua regenerada. Esta propuesta tiene un marcado carácter ambiental y social ligado a la mejora en la

gestión hídrica de las aguas residuales y pluviales, así como a la mejora en la calidad ecológica del lago, generando unos beneficios ambientales y sociales evidentes.

La nueva EDAR propuesta, ubicada en el Polígono Industrial del Pla en Alcàsser, tiene como finalidad recoger las aguas residuales generadas en la zona de l'Horta Sud como forma de aliviar la presión hídrica a la que están sometidos el Colector Oeste y la red de acequias (Figura 5). Esta ubicación se ha seleccionado por su lejanía a núcleos urbanos y por la facilidad de integrar paisajísticamente la EDAR en el entorno, teniendo en cuenta la tipología edificatoria del polígono industrial. Al mismo tiempo existe facilidad del acceso a las instalaciones (red viaria ya edificada) y permite una conexión fácil para las futuras infraestructuras de reutilización que se asociarán a la nueva EDAR.

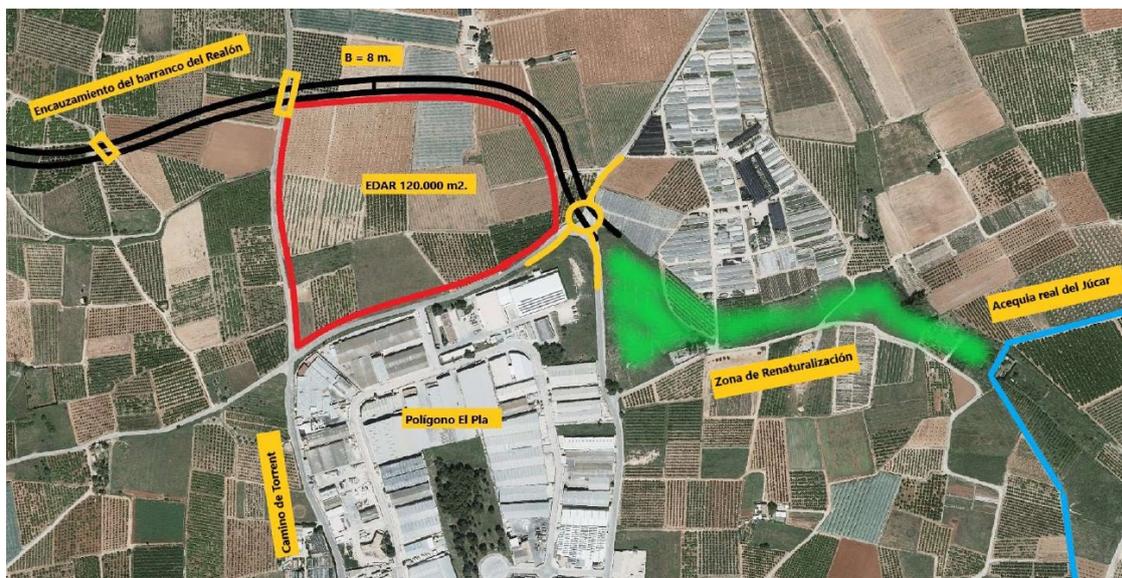


Figura 5. Ubicación de la nueva EDAR propuesta, obtenida del estudio de viabilidad técnico-económica de la remodelación del colector oeste y nueva EDAR de l'Horta Sud, incluyendo la infraestructura de reutilización.

Este hecho es muy relevante desde el punto de vista ambiental ya que permitirá implementar los usos ambientales y agrícolas de la reutilización. Concretamente, la ubicación seleccionada permite alimentar las balsas de riego de la margen derecha de los sectores XI y XII del Canal Xúquer-Túria, así como las nuevas balsas de Perenchiza y Ortodisa situadas en la margen izquierda del Canal. Por lo que respecta al uso ambiental del agua reutilizada, la EDAR estará situada cerca del Barranco de Beniparrell (también llamado Barranco del Realón) permitiendo aportar un caudal

ambiental al ecosistema, al mismo tiempo que facilita la renaturalización del caudal de agua antes de su llegada a La Albufera.

Los municipios servidos por la nueva EDAR serán Catarroja, Albal, Beniparrell, Silla, Alcàsser y Picassent, donde el volumen de agua residual diario estimado será de 25.962 m<sup>3</sup>/d. El tratamiento del agua residual se llevará a cabo a través de un tratamiento biológico con eliminación de nutrientes y un terciario con desinfección (Figura 6). Esta tecnología pretende dar respuesta a las necesidades de calidad del agua requeridas por La Albufera y su entorno, consiguiendo una reducción significativa en el aporte de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y de sólidos en suspensión que llegan al lago.

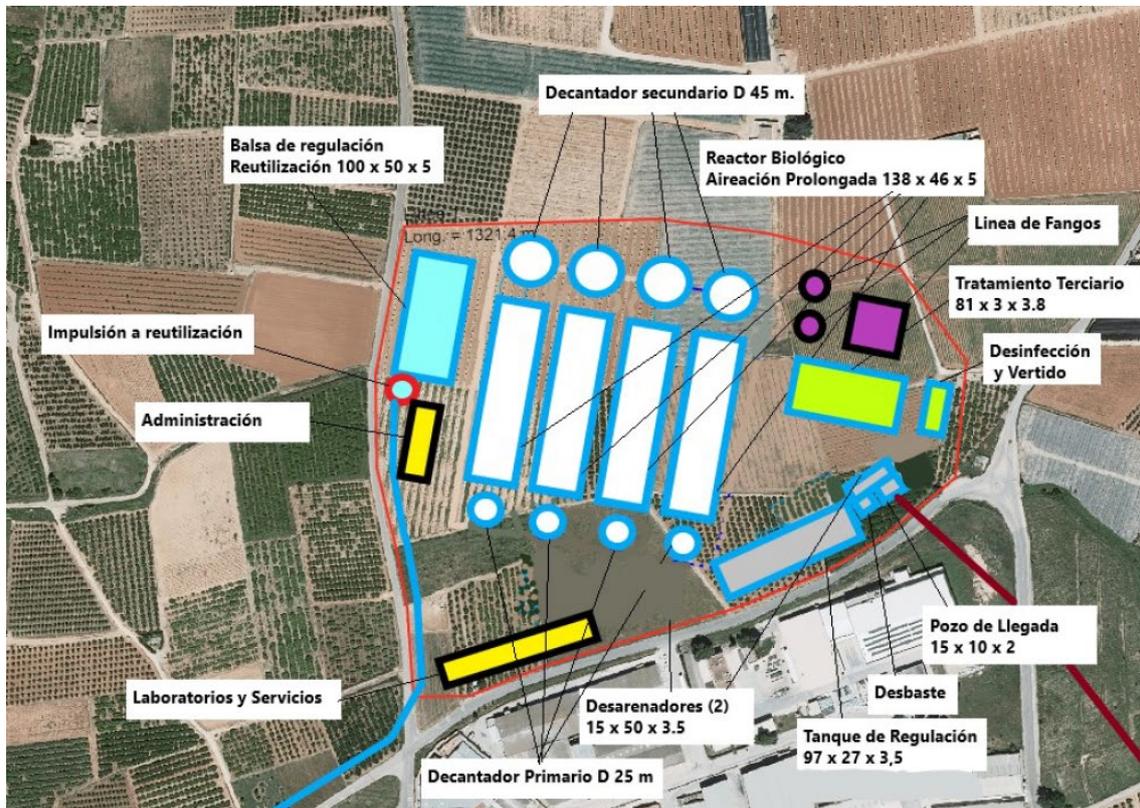


Figura 6. Diseño de la nueva EDAR propuesta, obtenida del estudio de viabilidad técnico-económica de la remodelación del colector oeste y nueva EDAR de l'Horta Sud, incluyendo la infraestructura de reutilización.

La ejecución de este proyecto generará notables beneficios sociales y ambientales derivados de la puesta en funcionamiento de las infraestructuras propuestas, las cuales permitirán canalizar y depurar tanto el volumen de aguas residuales que llegan a l'Albufera y como el volumen de agua extra generado en los episodios de

lluvia. La construcción de la nueva EDAR supondrá una mejora de la eficiencia de la red de saneamiento, así como una nueva fuente de agua para reutilización, cumpliendo con los criterios legislativos actuales y con los principios de la economía circular.

## 9.2. Resultados del análisis del beneficio ambiental del proyecto de construcción de la nueva EDAR en l'Horta Sud

El proyecto de mejora de los sistemas de saneamiento ubicados en el ámbito del colector oeste pretende aliviar la carga contaminante arrastrada por la escorrentía pluvial de las acequias de la zona de la Albufera, así como aprovechar el efluente de la nueva EDAR propuesta para su reutilización, reduciendo la presión sobre el volumen de agua disponible y ayudando a la renaturalización de áreas naturales circundantes degradadas. Centrando la atención en los beneficios que tendrá el proyecto de mejora de la red de saneamiento propuesto, en la Tabla 5 se presentan los resultados relativos al beneficio ambiental que dicha mejora traerá consigo.

La reducción en el vertido de contaminantes en forma de sólidos en suspensión, nitrógeno y fósforo supone un beneficio ambiental, como mínimo de 6 millones de euros, evidenciando tanto la idoneidad de la nueva EDAR propuesta, como la adecuación ambiental de la propuesta presentada. La mejora en la gestión de las aguas residuales y pluviales, así como la reutilización, poseen un beneficio ambiental evidente en el ámbito del colector oeste y la Albufera, justificando la inversión en infraestructura y los esfuerzos administrativos necesarios para rediseñar y mejorar el esquema de gestión hídrica actual.

Tabla 5. Beneficio ambiental obtenido mediante la metodología de los precios sombra para los contaminantes eliminados por la nueva EDAR propuesta.

	Vertidos evitados (Tn)	Beneficio ambiental (€)
Sólidos en suspensión	191	1.910
Nitrógeno	58	3.828.000
Fósforo	8	2.112.000
<b>Total</b>		<b>5.941.910</b>

El cálculo del beneficio ambiental a través de la metodología de los precios sombra permite no solo obtener el valor monetario de la mejora en las condiciones

ambientales fruto de la implementación de una medida concreta de actuación, sino que, además, es una herramienta capaz de identificar la relevancia de cada contaminante y reflejarlo en el resultado obtenido. Es por esta razón que contaminantes como el nitrógeno y el fósforo, cuya peligrosidad es mayor, tienen valores de beneficio ambiental más altos, es decir, la mejora ambiental que se producirá en la Albufera y su entorno fruto de su eliminación de las aguas residuales es mayor.

Al mismo tiempo, los resultados obtenidos son de vital importancia ya que son susceptibles de ser incluidos en los procesos de toma de decisión (como es el caso del ACB anteriormente comentado) y en la justificación de los proyectos con marcado carácter ambiental, los cuales son necesarios para asegurar la viabilidad y la sostenibilidad de los ecosistemas y la sociedad.

El beneficio ambiental obtenido refleja la importancia que tiene el proyecto de mejora de los sistemas de saneamiento ubicados en el ámbito del colector oeste desde un punto de vista ambiental y social a corto y largo plazo. Con respecto al impacto ambiental se consigue evitar la llegada de las aguas contaminadas y las aguas de escorrentía pluvial procedentes de los sistemas de alcantarillado municipales hacia la Albufera, mientras que, desde el punto de vista social se consigue una ventaja doble.

Por un lado, se mejoran las condiciones del ecosistema que repercuten de forma directa en el bienestar y en la salud de la población de las áreas circundantes, así como en su economía y, al mismo tiempo, la reutilización del efluente de la nueva EDAR propuesta aumenta el volumen de agua disponible para uso urbano y/o agrícola, aliviando la presión sobre los recursos de agua convencionales (Figura 7).

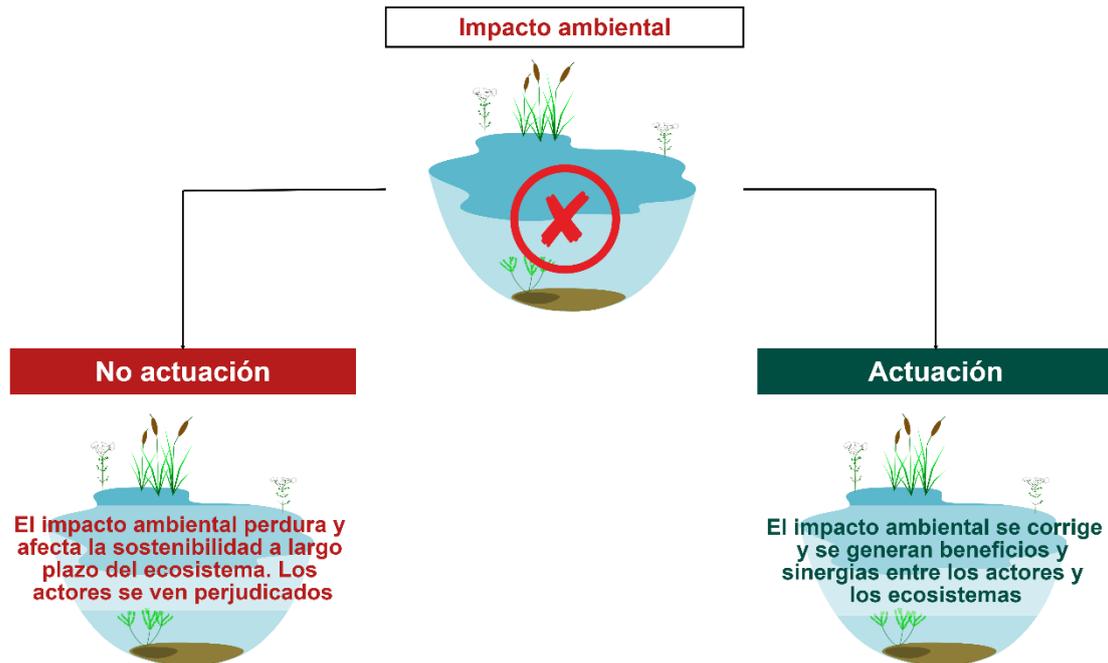


Figura 7. Comportamiento del impacto ambiental considerando el escenario de la no actuación y el escenario donde se implementa el proyecto propuesto. Elaboración propia.

Este proyecto tiene un marcado impacto sobre el ciclo hidrológico, la gestión integral de los recursos hídricos y la economía circular, ya que permite hacer frente a la contaminación, así como asegurar el volumen de agua disponible dentro del actual marco climático cambiante. El beneficio ambiental obtenido, cuantificado como mínimo en 6 millones de euros, demuestra la clara implicación ambiental del proyecto, promoviendo la sostenibilidad, minimizando los costes de explotación del sistema (energía) y permitiendo liberar recursos del Canal Xúquer-Túria para atender otros usos.

## REFERENCIAS

Angelakis, A. N., B. Durham. 2008. Water recycling and reuse in EUREAU countries: Trends and challenges. *Desalination*, 218 (2008): 3-8.

AQUAREC. Salgot, M; Huertas, E. (eds). 2006. Integrated concepts for reuse of upgraded wastewater. EVK1-CT-2002-00130 EU funded project. Work Package 2: Guideline for quality standards for water reuse in Europe. University of Barcelona.

- Asano, T. 1998. Wastewater Reclamation and Reuse, Water Quality Management Library 10, CRC Press, Boca Raton, Florida (publicado originalmente por Technomic Publishing, Lancaster, Pennsylvania), USA.
- Asano, T.; Burton, F.L.; Leverenz, H.L.; Tsuchihashi, R.; Tchobanoglous, G. 2007. Water reuse. Issues, technologies, and applications. Metcalf & Eddy / AECOM. McGraw-Hill, New York.
- Bahri, A. 2009. Managing the other side of the water cycle: making wastewater an asset. TEC Background Paper N° 13. Global Water Partnership, Stockholm.
- California State Water Resources Control Board. 1990. California Municipal Wastewater Reclamation in 1987. Sacramento, California.
- Dublin Statement. 1992. Dublin Statement on Water and Sustainable Development. International Conference on Water and the Environment, Dublin.
- Falkenmark, M., C. Widstrand. 1992. Population and water resources: A delicate balance. *Population Bulletin, Population Reference Bureau*, 47(3), 1-36.
- FAO. 1985. Water quality for agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rome.
- FAO. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 47, Rome.
- FAO. 2002. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 47, FAO, Rome
- FAO. 2004. Economic valuation of water resources in agriculture: From the sectoral to a functional perspective of natural resource management. FAO Water Reports 27. FAO, Rome.
- FAO. 2006. Stakeholder-oriented valuation to support water resources management processes. FAO Water Reports 30. FAO, Rome.

- FAO. 2007. The state of food and agriculture 2007: Paying farmers for environmental services. FAO, Rome.
- FAO. 2008. AQUASTAT, FAO's Information System on Water and Agriculture. (Disponible en <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/globalmaps/index.stm>).
- FAO. 2008. Water at a Glance: The relationship between water, agriculture, food security and poverty. Rome, FAO. (Disponible en <http://www.fao.org/nr/water/docs/waterataglance.pdf>).
- FAO. 2009. Water resource allocation strategies: opportunities for wastewater reuse in agriculture. Conference paper for Malta Water Resources Authority. FAO, Rome.
- Gittinger, J. P. 1982. Economic Analysis of Agricultural Projects, Second Edition. *The Johns Hopkins University Press*, Baltimore, Maryland. Published for the Economic Development Institute of the World Bank. Also published in Indonesia under the title *Analisa Ekonomi Proyek-Proyek Pertanian*, in France as *Analyse économique des projets agricoles*, and in Spain as *Análisis económico de proyectos agrícolas*.
- Gittinger, J. P. 1982. Economic Analysis of Agricultural Projects, Second Edition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland. Publicado por el Economic Development Institute of the World Bank. Publicado en España como Análisis económico de proyectos agrícolas.
- Global Water Partnership. 2009. *Managing the other side of the water cycle: making wastewater an asset*. TEC Background Paper N° 13, Stockholm.
- Hamdy, A. 2004. Non-conventional water resources: salinity and saline irrigation practices and management. WASAMED meeting, Cairo.
- Hussain, I, L.Raschid, M.A. Hanjra, F. Marikar, and W. van der Hoek. 2001. A framework for analysing socioeconomic, health and environmental impacts of wastewater use in agriculture in developing countries. Working paper 26. IWMI, Colombo.

- Hussain, I., L. Raschid, M.A. Hanjra, F. Marikar and W.van der Hoek. 2002. Wastewater use in agriculture. Review of impacts and methodological issues in valuing impacts. Working Paper 37. IWMI, Colombo.
- Jiménez Cisneros, B., M. Mazari, R. Domínguez and E. Cifuentes. 2004a. Water in the Valley of Mexico. The Water in Mexico as Seen by the Academy, Mexican Academy of Sciences, Mexico City, Mexico, pp. 15-32.
- Jiménez, B., T. Asano (eds.) 2008a. Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs. *IWA Publishing*, London.
- Jiménez, B., T. Asano. 2008b. Water reclamation and reuse around the world, Capítulo 1, in B. Jiménez and T. Asano (eds.), *Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs. IWA Publishing*, London.
- Kumar, M.D.; Singh, O.P. 2005. Virtual water in global food and water policy making: is there a need for rethinking. *Water Resources Management*, 19: 759-789.
- Lahnsteiner, J.; Lempert, G. 2007. Water management in Windhoek, Namibia. *Water Science & Technology*. 55 (1-2): 441-448.
- Lazarova, V., and A. Bahri (eds.) 2005. Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass. *CRC Press*, Boca Raton, Florida, USA.
- Lazarova, V., and A. Bahri. 2005a. Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass, *CRC Press*, Boca Raton, Florida, USA.
- Lazarova, V., and A. Bahri. 2005b. Code of Practices for Health Protection. Capítulo 4. in *Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass*, *CRC Press*, Boca Raton, Florida, USA.
- Lazarova, V., and A. Bahri. 2008. "Water reuse practices for agriculture", Capítulo 10, in B. Jiménez and T. Asano (eds.), *Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs. IWA Publishing*, London.

- Mara, D.D.; Sleigh, P.A.; Blumenthal, U.J.; Carr, R.M. 2007. Health risks in wastewater irrigation: Comparing estimates from quantitative microbial risk analysis and epidemiological studies. *Journal of Water and Health* 5 (2): III-IV.
- McCann, B. 2005. Shared resources in the Middle East. *Water* 21, August 2005: 16-19.
- Mexico, Poder Ejecutivo Federal 2004b. National Water Commission, *Water Statistics in Mexico, 2004* Edition, Mexico City, Mexico, 141 pp.
- Mills, R. A., and T. Asano. 1998. Planning and Analysis of Water Reuse Projects, Capítulo 2, in T. Asano, *Wastewater Reclamation and Reuse*, Water Quality Management Library 10, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Molden, D. 2007. Water for food, water for life: a Comprehensive Assessment of water management in agriculture. International Water Management Institute and Earthscan, London.
- Molle, F & J.Berkoff. 2007. Irrigation water pricing: the gap between theory and practice. Published under the auspices of the International Water Management Institute. CABI, UK.
- Mujeriego, R. (ed.) 1990. Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada, Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona (Traducción al español por Pettygrove and Asano, 1985).
- OECD. 1995. The economic appraisal of environmental projects and policies: a practical guide. OECD, Paris.
- OECD. 2009. Managing water for all: An OECD perspective on pricing and financing. pp 138-139. OECD, Paris.
- Okun, D.A. 2002. Water reuse introduces the need to integrate both water supply and wastewater management at local and regulatory level. *Water Science & Technology*. 46 (6-7): 273-280.
- Oron, G. 1987. Marginal water application in arid zones. *GeoJournal* 15 (3): 259-266

- Orr, S, A. Cartwright, D. Tickner. 2009. Understanding water risks. A primer on the consequences of water scarcity for government and business. WorldWide Fund for Nature, Godalming, UK.
- Peasey, A., U. Blumenthal, D. Mara, G. Ruiz-Palacios. 2000. A review of policy and standards for wastewater reuse in agriculture: a Latin American perspective. WELL Study, WEDC, University of Loughborough, UK (Disponible en [http://www.lboro.ac.uk/well/.](http://www.lboro.ac.uk/well/))
- Pettygrove, G. S., and T. Asano. 1985. *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater: A Guidance Manual*, Lewis Publishers, Chelsea, Michigan (originalmente publicado bajo el mismo título en Report N° 84-1 wr by California State Water Resources Control Board, Sacramento, California, 1984).
- Salgot, M.; Angelakis, A.N. 2001. Guidelines and regulations on wastewater reuse. Chapter 23 in *Decentralised Sanitation and Reuse. Concepts, systems and Implementation*. IWA Publishing.
- Salgot, M.; Huertas, E.; Weber, S.; Dott, W.; Hollender, J. 2006. Wastewater reuse and risk: definition of key objectives. *Desalination* 187: 29-40.
- Smakhtin, V.; Revenga, C.; Döll, P. 2004. A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity. *Water Environment & Technology* 29 (3): 307-317.
- Sorgini, L. 2007. Water reuse. An evaluation of the technologies and their benefits. *Water Environment & Technology*, 19 (8): 54-59.
- State of California. 2001. California Health Laws Related to Recycled Water, "The Purple Book": Excerpts from the Health and Safety Code, Water Code, and Titles 22 and 17 of the California Code of Regulations, California Department of Public Health, descargado on-line: <http://www.cdph.ca.gov/certlic/drinkingwater/Documents/Recharge/Purplebookupdate6-01.PDF>

- Tamas, P. 2003. *Water resources scarcity and conflict: Review of applicable indicators and systems of reference*. IHP-VI/Technical Documents in Hydrology/PC-CP Series/No. 21, UNESCO / IHP / WWAP, Paris.
- Trondalen, J.M. 2004. Growing controversy over “wise international water governance”. *Water Science & Technology*. 49 (7): 61-66.
- U.S.EPA and U.S.AID 2004. *Guidelines for water reuse*. Report N° EPA/625/R-04/108. U.S. Environmental Protection Agency and U.S. Agency for International Development, Washington, D.C.
- UK Treasury. 2004. *The Green Book: Appraisal and evaluation in Central Government*. London.
- Van Beukering, P., M. van Drunen, K. Dorland, H. Jansen, E. Ozdemiroglu and D. Pearce. 1998. *External economic benefits and costs in water and solid waste investments. Methodology, Guidelines and Case Studies*. IVM Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- WASAMED meeting. 2004. *Non-conventional water resources: salinity and saline irrigation practices and management*. Cairo.
- Wegner-Gwidt, J. 1998. *Public support and education for water reuse*, Capítulo 31, en T. Asano (ed.), *Wastewater Reclamation and Reuse*, Water Quality Management Library 10, CRC Press, Boca Raton, Florida (publicado originalmente por Technomic Publishing, Lancaster, Pennsylvania), USA.
- WELL (undated). *Wastewater treatment options*. Informe Técnico No 64 produced by Water and Environmental Health at London and Loughborough (WELL).
- Westrell, T.; C. Schönning; T. A. Stenström; and N. J. Ashbolt. 2003. *QMRA and HACCP for management of pathogens in wastewater and sewage sludge treatment and reuse*. Proceedings of the 4th international symposium on wastewater reclamation and reuse. Mexico City.

WHO 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Informe tecnico serie N° 778. World Health Organization, Geneva.

WHO 1993, Codex Alimentarius - Guidelines for the application of the Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System. Alinorm 93/13A. Appendix II. WHO, Geneva.

WHO 2006. WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. 3rd ed. Vol. 2: Wastewater use in agriculture. World Health Organization, Geneva.

Winpenny, J. 1997. Sustainable management of water resources: an economic view. Capítulo de Auty R.M and K. Brown (eds.) Approaches to sustainable development. Pinter, London & Washington.

World Bank. 2004. Towards a water-secure Kenya. Water Resources Sector memorandum, Report 28398-KE. World Bank, Washington DC.

World Bank. 2009. Development and climate change. Advance Overview of the 2010 World Development Report. World Bank, Washington, DC.

World Economic Forum 2009. The bubble is close to bursting: a forecast of the main economic and geopolitical water issues likely to arise in the world during the next two decades. World Economic Forum, Geneva.

World Health Organization. 1993. Codex Alimentarius - Guidelines for the application of the Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System. Alinorm 93/13A. Appendix II. World Health Organization, Geneva.

World Health Organization. 2006. WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume II: Wastewater use in agriculture, World Health Organization, Geneva.