

# INFORME DIVULGACIÓ

## IMPLEMENTACIÓ 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



# INFORME DIVULGACIÓN: Implementación de un modelo de abastecimiento de agua regenerada en un área industrial

## IDEAS BÁSICAS

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](#)).

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 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. 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 y económicas. Con el fin de superar las limitaciones económicas y garantizar la viabilidad de los proyectos de reutilización es

necesario dar un valor de mercado al agua regenerada e integrarlo en un sistema de tarifas competitivo.

## RESUMEN EJECUTIVO

### DESARROLLO DE UN MODELO DE TARIFAS PARA AGUA REGENERADA

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

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<sup>3</sup>/día de producción) disminuye a medida que aumenta el tamaño de la instalación.

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. 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

b. 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 1 se muestran el conjunto de costes que engloba.

Figura 1. 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 <sup>3</sup> 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

## 2. Desarrollo de un modelo de tarifas de agua regenerada.

### a) El precio del agua convencional como restricción

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. Siguiendo 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.

Es importante destacar la posibilidad de adaptar la calidad del agua a las exigencias de los procesos industriales, de modo que se pueden ofrecer 2 calidades de agua regenerada. 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.

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 garantizar la sostenibilidad del proyecto, debemos considerar 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). Hay que tener en cuenta que 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).

b) Conglomerados industriales: La distancia como restricción

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 €/m<sup>3</sup>, 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.

## 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 €/m<sup>3</sup> para la industria 1 y 0,98 €/m<sup>3</sup> para la industria 2. Con respecto al sector 2; 0,68 €/m<sup>3</sup> para la industria 3, 0,70 €/m<sup>3</sup> para las industrias 4 y 5, 0,66 €/m<sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> /DIA)	VOLUMEN DE AGUA B2 (M <sup>3</sup> /DIA)	KM DESDE EDAR	COSTE ERA	COSTE TUBERÍAS B1 - B2	COSTE DEPOSITO	OTROS (Equipos)
EDAR1	2	179	146	2,70	82.741 €			
				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 m<sup>3</sup> diarios de agua regenerada de la calidad B1 y 146 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 €/m<sup>3</sup> para el agua de calidad (B1) y 0,073 €/m<sup>3</sup> 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		<b>0,131</b>
Agua de calidad C2	0	0,0731	<b>0,073</b>

En cuanto a los costes de operación y mantenimiento, se estima un total de 0,477 €/m<sup>3</sup> 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	<b>0,477</b>

Los costes totales incluyen la amortización de infraestructuras y los costes de operación y mantenimiento, resultando 0,535 €/m<sup>3</sup> para el agua de calidad (B1) y 0,073 €/m<sup>3</sup> 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	<b>0,535</b>
Agua de calidad B2	0	0,0731	-	<b>0,073</b>

### 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 (€/m<sup>3</sup>) que suele presentarse por bloques. Los resultados son trimestrales.

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

Sector	Empresa	m <sup>3</sup>	Coste agua red (€)
<b>SECTOR 1</b>	Industria 1	27.847,73	30.075,55
	Industria 2	1.460,45	1.577,29
<b>SECTOR 2</b>	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 ser inferior al precio de agua de red (€/m<sup>3</sup>) 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 <sup>3</sup> )	Importe (€) *	Volumen B1	Volumen B2	Tarifa B1 (€/m <sup>3</sup> )	Tarifa B2 (€/m <sup>3</sup> )	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 €/m<sup>3</sup> para la (B1) y 0,11 €/m<sup>3</sup> 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 €/m<sup>3</sup> para la B1 y 0,08 €/m<sup>3</sup> 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 (€/m <sup>3</sup> )	Importe (€) *	Volumen B1	Volumen B2	Tarifa B1 (€/m <sup>3</sup> )	Tarifa B2 (€/m <sup>3</sup> )	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.