

Reutilización de aguas regeneradas: aproximación a los costes de producción y valoración de su uso

Reuse of Reclaimed Water: Estimating the Costs of Production and Utilization

Alberto del Villar-García

Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, Madrid, España. alberto.delvillar@uah.es

Resumen — El presente trabajo tiene dos objetivos principales. Por una parte, analizar los costes de producción del agua regenerada y los servicios asociados para su reutilización en la producción de bienes y servicios. Y, por otro lado, determinar el valor económico de las actividades productivas sustentadas con estos recursos no naturales. Se ha podido analizar actuaciones y proyectos que representan más del veinte por ciento del volumen total de agua reutilizada en España, obteniendo una estimación de indicadores de costes de inversión y de explotación, junto a un indicador de coste medio de producción y distribución de 1,10 €/m³. A partir de indicadores de productividad se estima que el valor económico de los bienes y servicios producidos por la reutilización es de unos 2.165 millones de euros anuales.

Abstract — *This paper has two main objectives. On the one hand, it analyses the costs of available reclaimed water and the associated production of goods and services. On the other hand, it seeks to determine the economic value of the activities sustained with these resources. It has been possible to analyze water treatment projects and related initiatives representing more than 20% of the total reused water in Spain, which has yielded estimates of the indicators of investment and operating costs, as well as an average production cost of about 1.10 €/m³. Indicators of productivity have estimated that the economic value of goods and services produced by reused waste water is about 2,165 million €/yr.*

Palabras clave: reutilización, coste del agua, precios del agua, productividad del agua y valor económico del agua

Keywords: Reused water, water cost, water prices, water productivity and economic value of water

Información Artículo: Recibido: 15 marzo 2016

Revisado: 21 septiembre 2016

Aceptado: 30 octubre 2016

Nothing is more useful than water; but it will purchase scarce anything; scarce anything can be had in exchange for it. A diamond, on the contrary, has scarce any value in use; but a very great quantity of other goods may frequently be had in exchange for it¹.

INTRODUCCIÓN

Hace más de dos siglos que Adam Smith formuló la llamada "Paradoja del Valor", poniendo como ejemplo el nulo valor económico del agua (a pesar de ser el principal soporte vital) frente a los diamantes. El factor diferencial que motiva esta valoración es la escasez, medida en términos de oferta-demanda. En la actualidad, la afirmación de Adam Smith sobre el agua no puede ser asumida como totalmente cierta, al menos en lo que se refiere a una buena parte de España. La oferta de recursos hídricos es insuficiente para cubrir la demanda de los mismos, por lo que podemos deducir que el agua sí tiene un valor económico.

El agua tiene un marcado carácter económico como "activo productivo", tanto en la función de producción de las actividades económicas como de elemento integrado de un ecosistema que produce bienes ambientales. Su uso es competitivo y finito, es decir, la apropiación de este elemento para una actividad concreta incapacita su uso en otra actividad. Este carácter es lo que ha motivado la constante búsqueda de agua y la regulación hasta el límite de las fuentes naturales en determinadas regiones. Alcanzado este límite, no ha quedado más remedio que recurrir a dos soluciones: incrementar la eficiencia en su uso y aumentar la oferta de agua con recursos de otras procedencias (desalación o reutilización) o regiones (trasvases).

Obviando la problemática de los trasvases de agua, la regeneración de aguas residuales presenta una ventaja adicional sobre la desalación al reducir el impacto que generan los vertidos de las aguas residuales (aun con cierto tratamiento, ya que no elimina totalmente la carga contaminante) sobre las masas de agua. Presentando esta última, por tanto, un doble valor como solución a los problemas generados en el medio ambiente derivados de la escasez y la contaminación.

Con esta perspectiva, en los últimos años se ha incrementado la capacidad de regeneración de aguas residuales urbanas para su reutilización en determinadas actividades, tanto productivas como ambientales. De acuerdo a las cifras recogidas en las estadísticas oficiales del INE², a nivel nacional se reutiliza de media alrededor del 12% de las aguas residuales generadas, con diferencias considerables entre regiones.

El proceso de toma de decisiones respecto a la planificación y gestión de los recursos hídricos requiere de una alimen-

tación constante de información que implemente cotas elevadas de eficiencia. Es vital conocer las magnitudes económicas que plantean la producción y el uso de aguas regeneradas en las actividades económicas y la corrección de externalidades. Mediante la valoración financiera conocemos los flujos de costes e ingresos (precios) que se generan en el proceso de producción y distribución a los usuarios de este tipo de recursos. No obstante, la mera aproximación contable a estos flujos financieros no nos permite conocer el alcance económico completo del uso de este recurso. Precisamos, para completar el análisis, una valoración económica basada en los impactos positivos de la utilización de tales recursos. Incluyendo una cuantificación de las actividades económicas que son sostenidas con aguas regeneradas.

Nuestro propósito es realizar una aproximación al "valor" de este recurso desde cuatro "perspectivas". Proceso en el que determinaremos cuáles son los costes de los servicios de producción y distribución del agua regenerada, cuáles son los precios y el flujo de ingresos financieros estimados por su distribución y comercialización, cuáles son y cómo podemos cuantificar las externalidades corregidas con este tipo de recursos, y cuál es el valor de las actividades que son sustentadas con esta tipología de recursos.

LA IMPORTANCIA DE LA REUTILIZACIÓN EN ESPAÑA

De acuerdo a la información estadística recogida en el Instituto Nacional de Estadística, en 2013 (último año disponible) se reutilizaron en el conjunto de España unos 544,7 hectómetros cúbicos de agua. Esta cifra es un 12% inferior al volumen reutilizado en 2011, ejercicio en el que se reutilizó el mayor volumen de agua de la última década, y similar al volumen de agua reutilizada en el año 2012. La Comunidad Valenciana constituye por sí sola el 46% del total nacional, junto con Andalucía y la Región de Murcia engloban casi las tres cuartas partes del volumen de aguas reutilizadas.

Si consideramos que técnicamente solo es viable poder reutilizar como máximo un rango comprendido entre 50-60% de las aguas residuales procesadas por los sistemas de depuración, en algunas regiones (Comunidad Valenciana y Región de Murcia) este nivel ya ha sido alcanzado en 2012, no existiendo volúmenes importantes de recursos de esta procedencia a los que poder recurrir en el futuro. No obstante, en otras regiones con limitaciones en sus recursos hídricos, caso de las regiones mediterráneas no señaladas anteriormente (Andalucía y Cataluña) y los dos archipiélagos (Baleares y Canarias), todavía queda recorrido en el recurso a este tipo de aguas.

La reutilización está llamada a convertirse, junto a la desalinización, en la única fuente de incremento de nuevos recursos en los próximos años. Agotada la vía de regulación de recursos superficiales, sobreexplotadas las aguas subterráneas, solo queda la alternativa de ahorrar/mejorar la eficiencia y los recursos no convencionales. Es tan significativa la nueva aportación de este recurso, que el Plan Nacional de Calidad de las Aguas (2007-2015) fijaba un objetivo de volumen reutilizado de 1.200-1.300 hm³/

1 "Nada es más útil que el agua; pero esta no comprará nada; nada de valor puede ser intercambiado por ella. Un diamante, por el contrario, tiene escaso valor de uso; pero una gran cantidad de otros bienes pueden ser frecuentemente intercambiados por este" (Adam Smith: *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, 1776).

2 <http://www.ine.es/jaxi/tabla.do?path=/t26/p067/p01/serie/10/&file=01005.px&type=pcaxis&L=0>.

Tabla 1. Volumen de agua reutilizada en España (2009-2014)

Volumen de agua reutilizada	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Andalucía	120.369.806	124.253.159	115.852.664	88.735.488	64.694.900	57.335.295
Aragón	1.472.208	1.961.999	1.472.190	1.468.099	1.475.129	1.528.985
Asturias, Principado de	0	1.964.001	2.746.916	0	0	13.938.255
Balears, Illes	46.431.749	34.934.997	40.383.986	43.532.381	69.790.894	55.651.915
Canarias	34.153.631	31.474.273	31.037.181	30.555.266	25.519.489	27.728.320
Cantabria	0	0	0	3.883.412	2.160.391	1.948.005
Castilla y León	3.719.451	3.716.265	927.598	2.767.036	5.518.526	3.926.670
Castilla-La Mancha	7.576.865	5.341.396	1.535.421	1.532.566	8.435.507	5.583.405
Cataluña	43.492.067	35.479.584	30.128.657	30.097.920	30.327.905	25.299.975
Comunitat Valenciana	172.834.013	156.602.263	304.904.325	270.064.277	250.116.692	248.946.060
Extremadura	0	0	805.565	0	0	55.115
Galicia	1.010.737	1.011.689	1.011.653	1.009.498	1.009.568	457.710
Madrid, Comunidad de	6.957.729	6.990.872	9.357.276	11.727.867	11.854.381	14.550.725
Murcia, Región de	94.107.669	85.592.441	65.596.402	61.869.573	68.774.129	66.877.855
Navarra, Comunidad Foral de	0	0	0	0	0	0
País Vasco	4.767.659	6.368.773	5.580.160	3.182.777	4.799.784	6.707.970
Rioja, La	0	0	0	0	0	0
Ceuta y Melilla	55.588	173.060	119.049	121.798	183.806	171.915
España (Total)	536.949.172	495.864.772	611.459.045	550.547.960	544.661.099	530.708.175

Fuente: Elaboración propia a partir de INE, 2015. Cifras en metros cúbicos.

año, cifra aún lejos de alcanzarse. Dicho volumen vendría a representar el 25% de las aguas residuales depuradas en el conjunto de España, y hasta el 45% de las aguas residuales del conjunto de las regiones mediterráneas y de los dos archipiélagos. Este dato permite valorar lo ambicioso del objetivo del PNCA (2007-2015) y la razón por la que no se ha conseguido alcanzar más del 50% de los volúmenes previstos.

APROXIMACIÓN A LOS COSTES DE PRODUCCIÓN

En nuestro intento de aproximación al valor de la reutilización en España comenzaremos abordando los costes de producción de los servicios para la aplicación de este tipo de recursos. En esta búsqueda, señalaremos los diferentes factores (4) que inciden en la producción de estos servicios y analizaremos algunos casos específicos representativos.

Para la aplicación de aguas reutilizadas se requiere de servicios de producción, transporte y distribución. Estos servicios no son homogéneos en el territorio ni para toda materia prima (aguas depuradas tratadas), por lo que hay que tener en cuenta ciertos factores que inducirán a un mayor o menor coste de los servicios dependiendo de los proyectos y el uso al que estén destinadas las aguas tratadas.

Siguiendo la secuenciación de los servicios, el principal elemento determinante del coste de producción es el destino final de este recurso. De acuerdo a la normativa vigente (real decreto 1620/2007) según el uso final de este recurso es necesario cumplir con ciertos parámetros de calidad del agua, estando prohibi-

da la utilización de aguas reutilizadas para algunos usos como el consumo humano³.

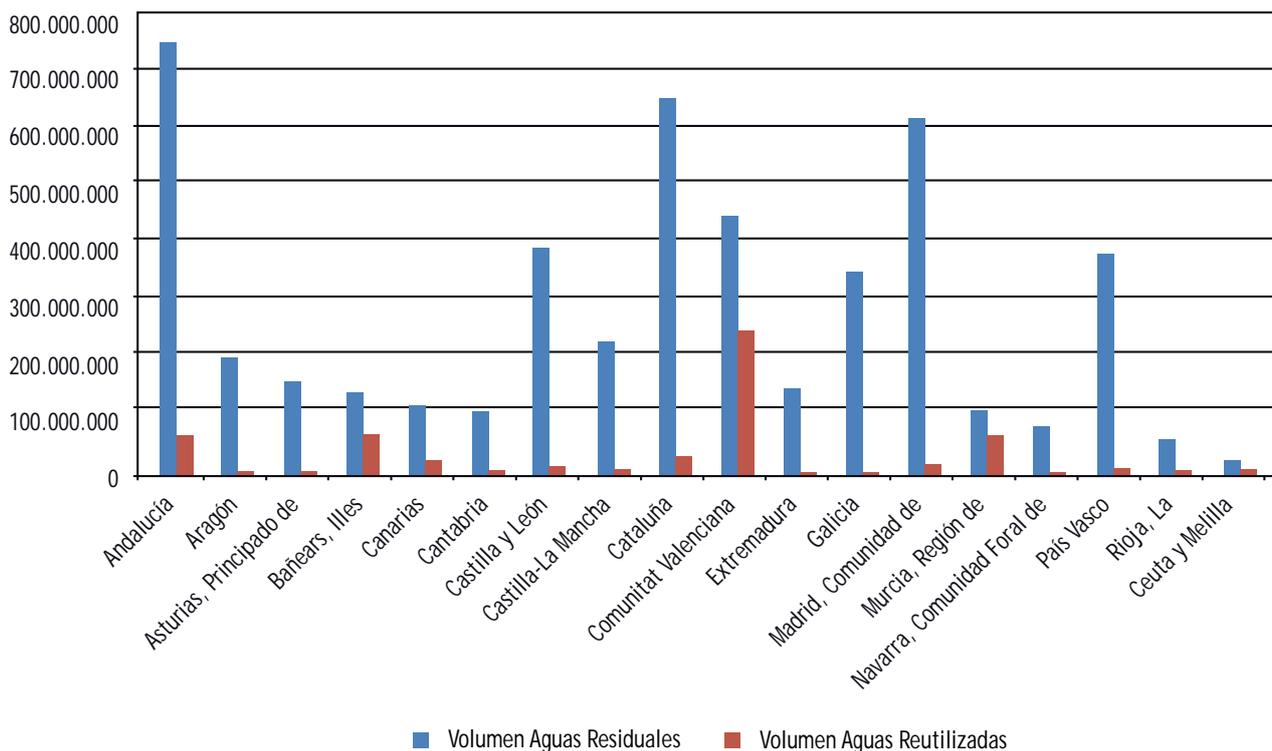
Los mayores requisitos de calidad se encuentran en los usos urbanos (riego de jardines privados o descarga de aparatos sanitarios) frente a los usos de ocio (riegos de campos de golf) y ambientales (mantenimiento de humedales) en los que hay menores valores de cumplimiento de los criterios de calidad de las aguas a reutilizar.

El segundo elemento que influye en el coste de producción de este recurso es el nivel de calidad de las aguas depuradas con tratamiento de acuerdo a la normativa y cumpliendo los requisitos de la Directiva 91/271 (Tratamiento secundario). Perogrullo: a menor nivel de carga contaminante, menores costes adicionales de tratamiento para su reutilización. Es obvio que aguas que solo requieren de una filtración adicional y desinfección tendrán un menor coste que aquellas que requieren procesos más complejos (ultrafiltración, ósmosis, electrodiálisis, etc.) derivados de su carga contaminante o calidad del efluente.

El tercer elemento que conjuga en los costes de producción es la dimensión del proyecto. Por la aplicación de economías de escala aquellos proyectos de mayor volumen de aguas tratadas presentarán menores costes unitarios que otros similares de menor tamaño. Es obvio que la consecuencia de este principio conlleva que los proyectos prioritarios tienen que establecerse en aquellos lugares donde exista cantidad suficiente de recursos

³ Salvo situaciones de declaración de catástrofe en las que la autoridad sanitaria especificará los niveles de calidad exigidos a dichas aguas y los usos (artículo 4 del real decreto 1620/2007).

Gráfico 1. Volumen de agua depurada y reutilizada (Año 2012)



Fuente: Elaboración propia a partir de INE, 2015. Cifras en metros cúbicos.

potenciales de esta naturaleza y demanda de los mismos que den lugar a una dimensión óptima en el diseño de los sistemas de producción.

Por último, siendo un elemento novedoso en los requisitos del real decreto 1620/2007, los costes de análisis y requisitos formales de carácter administrativo suponen una partida nada desdeñable en ciertos sistemas de producción y distribución de aguas reutilizadas⁴. La normativa impone el control, y la responsabilidad del titular de la concesión o autorización, de la calidad del agua regenerada “hasta el punto de entrega” (artículo 5.4 del real decreto 1620/2007). Este factor encarece esta rúbrica del coste de distribución del agua regenerada por el imperativo de controlar (analíticas) todos los puntos de distribución. En los casos de un solo punto de entrega, este coste sería indiferente, pero en sistemas con múltiples usuarios enganchados en una red de distribución esta partida no es baladí.

Los demás elementos que configuran los costes del sistema son propios y de idéntica naturaleza a cualquier proceso de producción, que requiere de una inversión inicial y de mantenimiento de las instalaciones, junto con una serie de costes operativos y de explotación en la producción. Las economías de escala son aplicables (y deseables) a estos procesos productivos.

Teniendo presente lo anterior, cifrar de forma global los costes de producción de los servicios del agua materializados con

4 En el caso de algunos sistemas integrados con cierta experiencia, el coste de control analítico apenas representaba un 1%-2% de los costes de explotación antes del real decreto 1620/2007; mientras que a partir de la aplicación de este requisito esta partida ha dado un salto hasta el 6%-10% de estos costes.

aguas regeneradas presenta algunas dificultades. Existen estudios por parte de algunos autores y organismos que tratan de simplificar estas cifras en términos de “costes medios”. El problema de suministrar este tipo de información es la amplitud de casos y circunstancias donde los niveles indicados no son siquiera representativos. De hecho, en los cálculos del Plan Nacional de Reutilización de Aguas de finales del 2010 se proporciona una estimación de costes unitarios según el tratamiento necesario, dando lugar hasta seis alternativas posibles.

Según lo recogido en este documento, el coste total unitario estaría comprendido entre 0,0624 €-0,5515 € por cada metro cúbico regenerado, a los que habría que incluir el coste de transporte y distribución. Otros autores⁵ han estimado junto a los costes de producción el alcance que tienen los costes de distribución para grandes sistemas (más de cinco hm³/año), determinando costes medios de producción de 0,062 €/m³ (al que habría que añadir el coste de distribución) estimando un coste de inversión para la implantación de 4,5 €/m³; y 0,1897 €/m³ (con el coste de distribución ya agregado) con 7,5 €/m³ de coste de implantación.

En otros casos, los costes de producción de estos servicios en entornos muy desfavorables (con necesidad de tratamientos más sofisticados) pueden superar este rango de valores. En el caso de Gran Canaria, en un sistema que distribuye alrededor de 5 hm³/año⁶, es necesario recurrir a procesos de membranas y de ósmosis inversa en pequeñas unidades de producción (en un total de

5 Mujeriego, 2005. Bravo Guajardo, 2012.

6 Dato medio correspondiente al periodo 2009-2013.

Tabla 2. Costes unitarios del agua en función del tratamiento de regeneración

Tratamiento de regeneración	Costes	
	Implantación €/m ³	Explotación €/m ³
Físico-Químico + Filtración + Filtración de Membranas + Cloro residual	0,82	0,20
Físico-Químico + Filtración + Ultravioleta + Cloro residual	0,12	0,09
Filtración + Ultravioleta + Cloro residual	0,05	0,06
Filtración	0,03	0,06
Físico-Químico + Filtración + Filtración de Membranas + Ósmosis Inversa + Cloro residual	1,14	1,09
Físico-Químico + Filtración + Electrodiálisis Reversible + Ultravioleta + Cloro Residual	1,04	

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010, 58.

14 instalaciones que, salvo en tres casos, no llegan a superar un volumen de tratamiento de 500.000 m³/año para adecuar la calidad del agua regenerada, destinada en su mayor parte para uso en procesos agrarios. Este particular, unido a una orografía muy desfavorable para el suministro y a un complejo sistema de distribución y bombeos, hacen alcanzar costes medios cercanos a 1,40 €/m³ (con un nivel de 0,48 €/m³ para los costes de explotación del tratamiento terciario sin considerar los costes de inversión). Los costes de implantación (inversión) de los tratamientos superan los 4 €/m³ debido a las dificultades señaladas y el reducido tamaño de las plantas de tratamiento, representando hasta casi 4 veces las cifras previstas en el PNRA (tabla 2), mientras que la inversión en implantación de los sistemas de distribución llega a alcanzar los 9,35 €/m³. En estas circunstancias, los costes energéticos representan casi el 30% de los costes de explotación debido a los fuertes desniveles que se tienen que superar en virtud de la accidentada orografía del terreno y la extensión de la red de distribución.

Junto al caso anterior, el Programa de Reutilización de Agua de la Comunidad de Madrid (Madrid Dpura, 2005-2010) ha supuesto una inversión final de 600 millones de euros (incluyendo las redes de transporte y distribución, con más de mil doscientos kilómetros de longitud) para una capacidad de reutilización de unos 70-80 hm³/año en riego de zonas verdes públicas, usos industriales, de recreo y baldeo de calles. Estas cifras ponen de manifiesto un indicador de unos ocho €/m³ como coste de implantación (inversión) de la regeneración y distribución.

Los costes de explotación del programa Madrid Dpura no se han difundido ni son de acceso público. Pero dado que la tarifa variable aplicada por el Canal de Isabel II para este recurso se sitúa (2015) en un intervalo entre 0,16-0,35 €/m³, puede darnos una idea aproximada de los costes de explotación de unos 15-20 millones de euros anuales, sin incluir el capítulo de inversiones y su correspondiente amortización.

Tenemos otros dos casos de grandes proyectos, para uso industrial del agua regenerada, cuyo coste de inversión y explotación ha corrido a cargo de los usuarios. Son el caso de la papelera Holmen Paper en la Comunidad de Madrid y el Camp de Tarragona en Cataluña.

En el caso de la papelera Holmen, cuyo proyecto en 2010 se concibió para sustituir caudales de agua potable por agua regenerada, el sistema está diseñado con una capacidad de hasta 4,5 hm³/año (12.400 m³/día, aunque actualmente la papelera utiliza

unos 7.800 m³/día) y para un período de explotación, en principio, no más allá del 2030. La inversión en el sistema (con una conducción de unos 4.150 metros hasta la fábrica) es de unos 12,7 millones de euros, lo que nos proporciona un indicador de implantación de unos 2,82 €/m³. Dados los elevados requisitos de calidad del agua (superiores en algunos aspectos a los fijados en el real decreto 1620/2007) los costes son elevados, pero asumibles por la empresa ya que ahorra la tarifa del agua potable. El CAE⁷ de la inversión alcanza los 0,23 €/m³, mientras que los costes anuales de explotación se sitúan alrededor de los 0,50-0,60 €/m³, suponiendo un coste unitario total de unos 0,73-0,83 €/m³. Magnitud competitiva respecto al precio del recurso al que ha sustituido, que no es otro que el de las redes generales de distribución del Canal de Isabel II.

En el caso del proyecto del Camp de Tarragona, las cifras son diferentes debido a la amplia red de transporte y distribución asociada al proyecto (unos 18.000 metros). La producción de agua regenerada exige una inversión de unos 34 millones de euros (poco más de dos €/m³ de coste de implantación para el diseño de 45.000 m³/día), junto con unos 17,75 millones de € para la red de transporte y distribución (un total de casi cincuenta y dos millones de euros). En una primera fase, el volumen anual de agua suministrada será de unos 6,8 hm³ (19.000 m³/día), y el coste de explotación se ha calculado en unos 0,434 €/m³ (sin incluir analíticas) al que habría que añadir los costes de transporte y distribución en 0,117 €/m³. Todo ello nos lleva a considerar un coste total medio de 1,16 €/m³ para el agua reutilizada.

Los anteriores proyectos se referían a recursos de muy alta calidad que son empleados en procesos industriales o en gran escala. No obstante, esta no es la tónica general de la reutilización. La mayor parte de los proyectos tienen como destino el uso agrario o recreativo (riego de campos de golf), con menores requisitos de calidad del recurso que permiten el uso de técnicas menos costosas, y en ámbitos y dimensiones a nivel local.

Encontramos numerosas actuaciones cuyos efluentes tienen como destino el uso agrario sustituyendo o complementando otros recursos, sobre todo en el arco mediterráneo de la península. A modo de ejemplo, podemos citar el caso de la EDAR de

⁷ El Coste Anual Equivalente (CAE) es utilizado como medida comparativa entre distintos sistemas y tratamientos dado que homogeniza los costes de inversión y los costes anuales de explotación, facilitando el análisis de las actuaciones y obviando la comparación entre la mayor o menor necesidad de inversión o los mayores o menores costes de explotación.

Tabla 3. Rango de costes unitarios de producción y distribución del agua regenerada en España

	Implantación €/m ³	Explotación €/m ³	CAE €/m ³
Producción agua regenerada	0,20-4,50	0,06-0,48	0,08-0,84
Distribución agua regenerada	4,00-8,00	0,15-0,40	0,47-1,04
			0,55-1,88

Fuente: Elaboración propia.

Jumilla⁸ (Murcia). Puesta en marcha en 2014 con una vigencia de 25 años, que ha supuesto una inversión final de unos cuatro millones de euros financiados por distintas Administraciones Públicas (47% Fondos Europeos, 25% MAGRAMA, 25% por la CARM y 3% usuarios), con unos costes de explotación anuales de unos cien mil euros para producir 1,5 hm³/año con destino a la Comunidad de Regantes de Miraflores (1.329 ha). La CCRR asume los costes de explotación anuales (calculados en 0,067 €/m³)⁹ y transporta y distribuye los caudales a sus socios. La actuación tiene como objetivo complementar los recursos subterráneos (3,9 hm³/año) y alcanzar un volumen total de unos cuatro mil m³/ha/año que se utilizan de forma localizada. De acuerdo a estos datos, el coste unitario de producción sería de unos 0,086 €/m³ con un coste de implantación (subvencionado) de 2,67 €/m³.

En el caso de riegos de campos de golf y jardines públicos, tenemos una actuación sobre la EDAR de Cerro del Águila (Málaga)¹⁰ que produce unos 5,36 hm³/año para su uso en los municipios de Fuengirola y Mijas. El terciario ha tenido un coste de inversión de unos seis millones de euros y la red de transporte y distribución de 6,7 millones de euros. El coste de implantación se estima en unos 2,37 €/m³ y el coste de explotación anual en unos 2,6 millones de euros. Los indicadores que se obtienen son del orden de 0,49 €/m³ como coste de mantenimiento y conservación anual y 0,17 €/m³ como repercusión de la inversión (CAE), lo que totaliza un coste de 0,66 €/m³ en la producción y posterior transporte y distribución del recurso.

Las actuaciones en esta materia cuyos efluentes tengan como destino el uso ambiental también presentan diferencias significativas en relación al destino y características de los efluentes de la fase de tratamiento secundario de las EDAR. A modo de ejemplo podemos analizar el caso de la EDAR de Sueca¹¹ (Valencia), con un doble uso (agrícola y ambiental) de sus efluentes y requisitos de calidad diferentes en cada caso. En este particular, el uso ambiental requiere de unas condiciones de calidad

8 Puede consultarse el proyecto y la inversión asumida por el MAGRAMA en el siguiente enlace: http://www.magrama.gob.es/es/agua/planes-y-estrategias/informes-de-viabilidad-de-obras-hidraulicas/943_CHS_APPROVECHAMIENTO_AARR_EDAR_JUMILLA_tcm7-164341.pdf.

9 En línea con los costes de producción estimados en otras fuentes (Simón Andreu, 2014) para la región de Murcia y el tipo de uso del recurso regenerado, estimado entre 0,055-0,08 €/m³.

10 Puede consultarse el proyecto en la página WEB del MAGRAMA en el siguiente enlace: http://www.magrama.gob.es/es/agua/planes-y-estrategias/informes-de-viabilidad-de-obras-hidraulicas/966_ACM_Reutilizacion_Cerro_del_Aguila_tcm7-163999.pdf.

11 Puede consultarse el proyecto en el siguiente enlace: http://www.magrama.gob.es/es/agua/planes-y-estrategias/informes-de-viabilidad-de-obras-hidraulicas/reutilizacion_aguas_residuales_en_albufera_sur_mma_interne_tcm7-27301.pdf.

del caudal regenerado muy superior al uso agrícola (debido a la afección a un espacio natural con una mayor figura de protección afectado por elevados niveles de eutrofización -La Albufera de Valencia-), por lo que es necesario un doble tratamiento (ultravioletas y filtros verdes) que suponen un mayor desembolso en la inversión. Las cifras de esta actuación en materia de uso

ambiental (puesta en marcha en 2014) suponen unos diecisiete millones de euros de inversión en los tratamientos de regeneración y transporte, además de un coste de explotación anual de 1,2 millones de euros aproximadamente. Para un volumen anual estimado de unos 4,23 hm³, los indicadores obtenidos presentan niveles de unos 4,04 €/m³ como coste de implantación (inversión) y un CAE unitario total de 0,59 €/m³, casi un 50% superior al coste unitario atribuido para el uso en riego agrícola (0,41 €/m³).

Como puede apreciarse surgen grandes dificultades para homogeneizar los valores y proporcionar cifras razonables sobre el coste de producir y distribuir esta tipología de recurso. No obstante, vamos a tratar de proporcionar ese dato genérico global acerca del coste financiero de producir y distribuir agua regenerada, teniendo presente que su tratamiento debe hacerse con las reservas oportunas al considerar un dato basado en intervalos. Habiendo analizado actuaciones que suponen la producción de más de ciento veinte hm³/año (representativos del 20% del volumen de agua regenerada en España) se pueden proporcionar unos rangos de inversión de implantación en producción y distribución de agua regenerada, niveles de los costes de explotación y el coste anual equivalente (CAE), tanto para la producción de este recurso como para su posterior transporte y distribución.

Las diferencias más significativas en la producción de este recurso proceden de los requisitos de calidad del agua regenerada para los usos asignados, en tanto que los costes del sistema de transporte y distribución son consecuencia de las redes e infraestructura necesarias para su suministro a los usuarios.

En términos medios, con una capacidad instalada actual de producción de unos seiscientos cincuenta hm³ anuales y una producción y distribución de unos quinientos cincuenta hm³ de media en los últimos años, podemos cuantificar la inversión realizada en unos cinco mil millones de euros (1.500 millones de euros en módulos de tratamiento terciario y producción de agua regenerada, y 3.000 millones de euros en los sistemas de transporte y redes de distribución). El CAE de esta inversión se cuantifica en casi trescientos veinte millones de euros, en tanto en cuanto que los costes de explotación no ligados a la inversión se estiman en unos doscientos ochenta y seis millones de euros anuales. Todo esto se traduce en un coste total anual de unos seiscientos seis millones de euros, lo que nos proporciona un indicador de 1,10 €/m³ (0,44 €/m³ de coste de producción y 0,66 €/m³ de coste de transporte y distribución).

Como se ha mencionado con anterioridad, estas cifras son estimaciones a partir del análisis de actuaciones que representan una quinta parte del volumen total del agua reutilizada en España. Cabe considerar que los proyectos y actuaciones que se han

llevado a cabo hasta el momento son aquellos que requerían de una mayor urgencia o eran de menor complejidad y bajo coste. La tónica general de los proyectos futuros presenta costes marginales crecientes y, por tanto, tenderán a incrementar los costes de este tipo de recursos.

PRECIOS DE LOS SERVICIOS DE AGUAS REUTILIZADAS

En el apartado precedente hemos analizado los costes de producción y distribución del agua regenerada para su posterior reutilización. Sin embargo, no hay que confundir estos costes con el precio final satisfecho por los usuarios. La utilización de estos recursos suele llevar aparejada una parte importante de subvenciones para promover el empleo de esta fuente y la sustitución de caudales de origen natural.

En general, existe una fuerte componente de subvención en los costes de inversión, que son asumidos en su totalidad (o casi) y en muchos casos por las Administraciones Públicas. Es práctica común diferenciar al tipo de usuario y aplicar políticas de precios diferentes en función de este. Los recursos cuyo destino sea la reutilización en actividades de riego de cultivos, los usuarios suelen sufragar una mínima parte de los costes de inversión y asumen la totalidad de los costes de explotación. Sin embargo, los usuarios industriales, urbanos y los campos de golf suelen satisfacer entre el 40% y el 100% de la inversión, además de la totalidad de los costes de explotación.

Siguiendo los ejemplos aportados con anterioridad, en el caso del aprovechamiento de las aguas regeneradas de la EDAR de Jumilla, dado que los usuarios asumen un 3% del total de la inversión, el pago que realizan en términos medios por cada metro cúbico que reutilizan en sus cultivos viene a situarse en unos

por ciento del coste total de generación del recurso, en línea con otras actuaciones similares.

En el caso especial de las Islas Canarias, el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria aplica una sola tarifa por el agua regenerada¹² de 0,41 €/m³ para todos los usos (generalmente riego agrícola y aplicación en campos de golf). Esta tarifa, aunque elevada en relación a otras aplicadas en diferentes lugares de España para la reutilización en regadío, supone una subvención de algo más del sesenta por ciento respecto al coste de producción, transporte y distribución calculado, como se mencionó en el apartado anterior debido a las características de la producción de estos servicios.

Las actuaciones cuyos recursos regenerados tengan aplicación en la reutilización para otros usos diferentes de los de regadío, no presentan tan generosos valores de subvención, aunque no están exentas de una rebaja en los precios respecto a los costes. Es el caso de las actuaciones con destino a usos urbanos (riego de parques y jardines o baldeos de calles) o usos en actividades de ocio (riego de campos de golf). En estas actuaciones, suele existir una parte de subvención en la inversión y no se han encontrado casos de subvenciones en los costes de explotación corrientes. En caso de existir financiación para la inversión a cargo de fondos europeos, no se traslada este componente de la financiación a los precios que abonan los usuarios del servicio (este componente de financiación suele rondar el 20-25% del total). Otra parte de subvención que se suele dar (de uso no exclusivo en este tipo de actuaciones) es la aplicación de dilatados períodos de amortización de las inversiones (alcanzando incluso los 30-40 años) que reduce la factura anual en concepto de amortización, y que tiene como consecuencia la rebaja en el precio del servicio realizado con estos recursos.

En el caso del riego de algunos campos de golf de la provincia de Málaga que utilizan recursos regenerados para el riego de sus instalaciones, los precios medios pagados por este servicio se han estimado en casi 0,63 €/m³, con una subvención de unos 0,034 €/m³ que apenas representa el 5% del coste total. Esta subvención es consecuencia de la no repercusión en los precios de

Tabla 4. Tarifas reutilización Canal Isabel II en la Comunidad de Madrid

	2008	2012	2016
Cuota servicio regeneración	5,1468 € × iR × m ³ /día	5,5532 € × iR × m ³ /día	5,7362 € × iR × m ³ /día
Cuota servicio transporte	5,2419 € × iT × m ³ /día	5,6559 € × iT × m ³ /día	5,8422 € × iT × m ³ /día
Consumo regeneración <25%	0,2711 €/m ³	0,2925 €/m ³	0,3021 €/m ³
25%<Consumo regeneración<75%	0,1979 €/m ³	0,2135 €/m ³	0,2206 €/m ³
Consumo regeneración >75%	0,1247 €/m ³	0,1345 €/m ³	0,1390 €/m ³
Consumo transporte <25%	0,0517 €/m ³	0,0557 €/m ³	0,0574 €/m ³
25%<Consumo transporte<75%	0,0378 €/m ³	0,0408 €/m ³	0,0422 €/m ³
Consumo transporte >75%	0,0237 €/m ³	0,0256 €/m ³	0,0265 €/m ³

Fuente: Elaboración propia a partir de los decretos de aprobación de tarifas de la Comunidad de Madrid (Años 2008, 2012 y 2016).

0,074 euros. Dicha magnitud podría situarse en línea del coste del recurso al que complementa, de origen subterráneo, que era una de las cláusulas de entendimiento de la Administración con los usuarios para la realización del proyecto.

Como puede apreciarse, las actuaciones ligadas a la reutilización en el sector de regadío presentan un fuerte componente de subvención ligado a la inversión. En el caso que nos ocupa, EDAR de Jumilla, esta subvención representa casi el setenta y uno

de la financiación que tiene su origen en fondos europeos que, en este caso, alcanza el 20% de la inversión total.

En el caso de la reutilización en servicios de bien público de carácter local, caso de riego de parques y jardines urbanos o baldeo de vías públicas, los titulares (ayuntamientos) siguen dos estrategias de aplicación de los costes soportados por la reu-

¹² 15 €/hora de agua (la hora de agua equivale a unos treinta y seis metros cúbicos).

tilización del agua. En determinados casos se aplican los cargos sobre los presupuestos municipales, sin componente de precio a los usuarios de los servicios del agua; mientras que en otras circunstancias se repercuten total o parcialmente sobre el coste de los servicios del agua que sufragan los usuarios. En este último caso estamos ante una subvención cruzada de los usuarios de los servicios del agua al conjunto de la población (sea o no sea usuaria del servicio).

En los usos ambientales, al tratarse de un bien público, no se aplican precios por estos servicios, siendo los costes asumidos por la Administración competente.

Los usos industriales suelen sufragar casi la totalidad del coste de las instalaciones y de los costes corrientes de explotación anuales. Las grandes actuaciones buscan en estos proyectos la garantía del suministro y condiciones de calidad para la explotación económica.

En el supuesto de sistemas integrados de redes de abastecimiento de aguas regeneradas para su reutilización en actividades industriales, ocio (campos de golf) y usos municipales (riego de zonas verdes y baldeos de vías públicas) como es el caso de la red del Canal de Isabel II en la Comunidad de Madrid, se aplican sistemas tarifarios que discriminan a los usuarios por el volumen de recursos consumidos y la capacidad contratada utilizada. Aquellos usuarios con un consumo bimestral superior a los 150.000 metros cúbicos, se les aplica una tarifa negociada y adaptada a la inversión y los costes incurridos (caso de la papelera Holmen anteriormente citado). Para volúmenes de reutilización inferiores a la cifra anterior se aplica una tarifa con dos componentes y cuatro conceptos. Un componente por el agua regenerada y otro componente por el transporte desde la planta de regeneración hasta el punto de suministro. En ambos componentes se aplica una parte fija como cuota de servicio y otra parte variable como cuota de consumo.

Las cuotas de servicio en ambos casos son personalizadas para cada usuario a través de los factores (el factor iR y el factor iT), que recogen un porcentaje de inversión que se imputa por la prestación de los servicios de regeneración y transporte respecto a la inversión total en cada uno de ellos, cuyo cálculo y análisis se realiza de forma individual para cada usuario, al que se multiplica por los metros cúbicos día contratados.

Tabla 5. Valor unitario aguas reutilizadas

Reutilización	Valores (€/m ³)		
	Bajo	Alto	Más probable
Uso urbano (Industria) ⁴	79,44	226,95	107,82
Uso urbano (Baldeos y zonas verdes) ¹	0,50	1,86	1,09
Uso ambiental ¹			
Uso ocio/turismo (Golf) ^{2,4}	1,30	15,93	9,87
Uso regadío ³	0,50	5,00	2,75

Fuente: Elaboración propia.

1 Cifras obtenidas de INE (2015).

2 Cifras obtenidas de Custodio, E. 2015, 146.

3 Cifras obtenidas de Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2007.

4 Cifras obtenidas de Melgarejo y Villar, 2010.

El importe satisfecho por la utilización de este recurso por parte de los usuarios es bastante competitivo. Esta tarifa lleva más de una década en vigor y se ha venido actualizando anualmente para ajustar los precios al coste de los servicios.

La tarifa del Canal de Isabel II está planteada para estabilizar la oferta y demanda de este tipo de recurso. En el supuesto de que el usuario utilice menos capacidad que la contratada el precio por el agua reutilizada puede llegar a más que duplicarse con respecto a la situación inicialmente planteada, ya que el objetivo es ajustar la producción de agua regenerada con el consumo de este recurso para evitar excesos de capacidad (y los costes fijos no recuperables asociados a ese exceso de capacidad). Una forma muy inteligente de conseguir el equilibrio financiero.

APROXIMACIÓN A LA VALORACIÓN DEL USO DE LAS AGUAS REUTILIZADAS

La reutilización de aguas regeneradas en las diferentes actividades presenta un incremento de valor económico considerable. La posibilidad de utilizar nuevos recursos permite incrementar la producción de bienes y servicios que, de otra manera, no hubiera sido posible sin aportes de nuevos recursos hídricos.

En términos globales, las aguas regeneradas que se producen en España y pueden ser susceptibles de reutilización en distintas actividades económicas representan aproximadamente un 2,5% del total de recursos hídricos disponibles empleados. Dado que muchas actividades (sobre todo el regadío) utilizan recursos de diversa procedencia (superficiales, subterráneos, regenerados o desalación) no es posible discriminar de forma precisa la participación en la producción de bienes y servicios de cada uno de ellos. En este caso, la aproximación al valor de las actividades soportadas con aguas regeneradas suponemos presenta los mismos indicadores de productividad que las que utilizan otro tipo de recursos.

A nivel territorial, son las comunidades autónomas del arco mediterráneo y el archipiélago balear las más beneficiadas por el incremento de recursos de esta naturaleza. La reutilización supone más del 13% del total de recursos hídricos empleados en la Región de Murcia en el conjunto del regadío, y más del 7% en la Comunidad Valenciana dentro del mismo sector.

En términos nacionales, el 71% del agua reutilizada se emplea en actividades de regadío (aproximadamente unos 390 hm³ anuales), en usos ambientales se emplean unos 46,5 hm³ al año (un 17% del total de las aguas reutilizadas), en usos urbanos para baldeos de vías públicas y riego de zonas verdes se destina el 4% del total (22 hm³ anuales), los usos industriales son poco representativos en alrededor del 1% del total (5,4 hm³ anuales) y los usos de ocio en riegos de campos de golf suponen unos 38,3 hm³ al año (7% del total).

Para poder asignar un valor económico al uso de este recurso, relacionaremos la productividad del agua reutilizada con la actividad económica a la que va destinada, salvo en el caso de los usos urbanos destinados a riego de zonas verdes y baldeos de vías públicas, y los usos ambientales (mantenimiento de caudales y

recargas de acuíferos) que se determinará el valor económico en términos de coste del recurso sustituido. El motivo fundamental es que ambos casos son servicios de bien público que no presentan un valor directo de mercado con el que podamos comparar, por lo que empleamos el precio del recurso para usos urbanos como medida del valor de sustitución. Todos estos valores se pueden obtener de diferentes fuentes en los últimos años, dentro de unos rangos de variación.

Aplicando estos valores a los volúmenes de agua reutilizada para cada uso de media en los últimos años, obtenemos una valoración económica del agua reutilizada en torno a 2.165 millones de euros anuales (cifra en un rango comprendido entre un mínimo de 737 millones de euros y un máximo de 4.014 millones de euros aproximadamente). Esta cifra nos proporciona un indicador medio de 3,95 €/m³ (entre 1,35 y 7,33 €/m³).

Si confrontamos esta cifra con el coste de producción que hemos obtenido en el apartado 3 (606 millones de euros anuales), vemos que el retorno de la inversión en este tipo de recursos es sobradamente positivo (en una relación de más de 1 a 3).

Existen otras valoraciones que podemos medir en términos económicos más allá del valor de la producción de bienes y servicios. Es el caso de la corrección de ciertas externalidades como la eliminación de vertidos de carga orgánica al medio natural. Al suponer un tratamiento mejorado respecto del requerido por la normativa para su vertido al medio natural (tratamiento secundario), se elimina cierta carga de contaminación que, de otro modo, acabaría en los cursos naturales.

Anualmente, unos cuatrocientos cincuenta hectómetros cúbicos de aguas depuradas no son vertidos al medio natural (con tratamiento secundario), disminuyendo el aporte de carga orgánica. Si estimamos que el proceso de tratamiento secundario elimina un 92% del nitrógeno y el fósforo, y el 95% de la DBO₅, por recurrir a solo tres indicadores de carga de las aguas residuales, podemos establecer el total de estos componentes que se elimina mediante el tratamiento terciario. El agua residual urbana presenta unos valores medios¹³ de estos componentes cifrados en 40 mg/l de nitrógeno total, 8 mg/l de fósforo total y unos 200 mg/l de DBO₅. El tratamiento secundario nos dejaría un efluente cuya composición todavía tendría ciertos niveles de estos parámetros (de media: 3,2 mg/l de nitrógeno, 0,6 mg/l de fósforo y 10 mg/l de DBO₅), que permitirían mejorar los niveles de fertilización en actividades de riego.

En términos absolutos, el tratamiento terciario y su posterior reutilización elimina vertidos totales al medio natural que podemos cifrar en unas 1.450 toneladas de nitrógeno, 290 toneladas de fósforo y 4.500 toneladas de DBO₅. En su mayor parte, dado que el 81% del volumen de agua reutilizada se aplica en riegos (cultivos, zonas verdes y campos de golf), se podría reducir la factura en aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosfatados, en algo más de 2,5 millones de €/año, si tenemos en cuenta los precios medios por tonelada de este tipo de abonos y de acuerdo a su concentración.

13 Metcalf & Eddy, Inc. 1995.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha querido destacar la importancia estratégica de la reutilización de aguas residuales regeneradas en su apartado económico. Esta importancia estratégica deriva de la condición de fuente de diversificación de recursos, que permite incrementar la capacidad productiva y su uso sin aumentar la presión sobre el medio natural. En términos relativos, la reutilización representa un 2,5% del volumen total de recursos hídricos aplicados, con unos quinientos cincuenta hectómetros cúbicos.

Junto a este factor cuantitativo, la reutilización añade una ventaja adicional al ser un recurso más "predecible" que los que tienen una procedencia natural. Los volúmenes de aguas residuales suelen ser estables, lo que produce efluentes constantes y de poca variación en volumen para su regeneración y posterior aplicación para la producción de bienes y servicios.

No obstante, la regeneración de aguas residuales tratadas tiene el inconveniente de incurrir en costes elevados, superiores a la media de los recursos de origen natural. Costes que, por otra parte, tampoco son excesivamente desproporcionados y que son perfectamente asumibles en las actividades a las que pueden ir destinados estos caudales, ya que estos inputs productivos generan un importante valor añadido.

Los precios que se aplican por parte de los operadores a los usuarios de este tipo de recursos son bastante ajustados y competitivos con otras fuentes (desalinización). Se sitúan por debajo del coste de producción, dado que existe un fuerte componente de subvención pública (sobre todo para los usos en actividades de regadío) en el coste de inversión y puesta en marcha de las infraestructuras (plantas de tratamiento y redes de transporte y distribución). En este sentido, los precios aplicados al uso de estos recursos permiten la cobertura de los costes corrientes de explotación y de una parte de los costes de inversión.

Algunos operadores han creado estructuras de tarifas que podríamos calificar de "inteligentes" e "incentivadoras" (es el caso del Canal de Isabel II) en el uso de estos recursos, primando la estabilidad y la utilización próxima a la plena capacidad productiva en el consumo que realizan los usuarios acogidos al suministro de esta fuente de recursos.

La reutilización permite mejorar la calidad ambiental, reduciendo el nivel de vertidos de carga contaminante al medio natural, a la par que proporciona la posibilidad de ahorrar costes de fertilización a los usuarios.

En términos cuantitativos, las actividades económicas que son sustentadas por la reutilización se pueden estimar en unos 2.165 millones de euros anuales, en un rango de valores que se sitúan entre 737 y 4.014 millones de euros. Esta cifra presenta un indicador medio de 3,95 €/m³, que podemos confrontar con el coste medio de producción, transporte y distribución de esta tipología de recurso (1,10 €/m³). Resultados que validan económicamente la estrategia de reutilización.

BIBLIOGRAFÍA

Bravo Guajardo, L. M. 2012: "Viabilidad Económica del uso de agua del Sistema de Regeneración y Reutilización Agua para el riego agrícola

- en el Parc Agrari del Baix Llobregat”, tesis Fin de Máster, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, en <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/18390>.
- Custodio, E. 2015: *Aspectos hidrológicos, ambientales, económicos, sociales y éticos del consumo de reservas de agua subterránea en España. Minería del agua subterránea en España*. Barcelona, AQUA-LOGY-CETAqua-UPC.
- Instituto Nacional de Estadística 2015: *Estadística sobre el suministro y saneamiento del agua*. Madrid.
- Melgarejo, J. y Villar, A. 2010: *Análisis comparativo del uso y gestión del agua en la provincia de Alicante y su entorno competitivo*. Alicante, COEPA.
- Metcalf & Eddy, Inc. 1995: *Ingeniería de aguas residuales*. Nueva York, Mc Graw Hill.
- Ministerio de Medio Ambiente, 2007: *El agua en la Economía Española: Situación y perspectivas*. Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009: *El Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Saneamiento y depuración 2007-2015. La puesta en marcha del Plan Nacional de Calidad de las Aguas 2007-2015: nuevos objetivos*. Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010: *Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Informe de sostenibilidad ambiental*. Madrid.
- Mujeriego, R. 2005: “La reutilización, la regulación y la desalación de agua”, en *Ingeniería y Territorio*, 72, 16-25.
- Simón Andreu, P. J. 2012: “Reutilización de aguas regeneradas en la Región de Murcia”. Ponencia al Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA, 2012). Madrid, 26-30 de noviembre 2012, en <http://www.iagua.es/noticias/reutilizacion/13/01/10/la-reutilizacion-de-aguas-regeneradas-en-la-region-de-murcia-25584>. PMID: 24952358