

La economía circular como herramienta para mitigar los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos: el caso de España

Circular economy as a tool to mitigate the effects of climate change on water resources: the case of Spain



Pilar Gracia-de-Rentería, Amelia Pérez-Zabaleta
y Gregorio Escalera-Izquierdo
Universidad Nacional de Educación a Distancia
(España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9310>

1. INTRODUCCIÓN

Atravesamos un momento de cambio global en nuestro modelo económico, obligado por la insostenibilidad del mismo. El modelo tradicional de producción y consumo lineal (producir-consumir-desechar), sumado al crecimiento poblacional y económico, y a los efectos del cambio climático, han elevado la presión sobre los recursos naturales hasta límites críticos. Ante esta situación, es fundamental un cambio de paradigma hacia un modelo de economía circular, en el que el valor de los recursos y los productos se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible.

En el caso del agua, este modelo de economía circular implica a numerosos agentes y fases del ciclo del agua: la planificación hidrológica, la mejora de la eficiencia en el ciclo urbano del agua, la valorización de lodos y otros subproductos [1], el consumo responsable de este recurso, etc. Pero, sin duda, la reutilización de agua es el aspecto clave de esta economía circular, al permitir que los recursos hídricos sean empleados más de una vez antes de ser devueltos al medio natural [2], pero que requiere de un enfoque holístico que tenga en cuenta todos sus aspectos políticos, tecnológicos, medioambientales y socioeconómicos [3].

Los modelos de economía circular en el sector del agua resultan especialmente necesarios en países como España, donde los problemas de escasez y calidad de agua, las sequías y los efectos del cambio climático son problemas de primer orden. Una situación de la que España, como

otros muchos países, es consciente, como prueban los numerosos ejemplos de reutilización de agua que encontramos en nuestro país [4-5]. De hecho, España es uno de los países europeos a la cabeza en reutilización de agua, regenerando en 2016 el 10,4% de las aguas residuales tratadas para su posterior reutilización en diversos usos, como la agricultura (61%), los usos urbanos (fundamentalmente, para el riego de zonas verdes) (19%), la industria (5%) y otros usos [6]; un dato muy positivo comparado con el 2,4% de reutilización media en Europa [2]. Además, la evolución de la reutilización de agua en España ha sido muy positiva, pasando de 733.894 m³ diarios en el año 2000 a 1.350.536 m³ diarios en 2016 [6]. No obstante, este esfuerzo ha sido muy dispar entre Comunidades Autónomas (CCAA), siendo la Comunidad Valenciana (59%), Murcia (50%) y Baleares (45%) donde se reutiliza un mayor porcentaje; regiones con una fuerte escasez de agua.

Precisamente, en esas zonas con mayor escasez de agua, la reutilización permite garantizar su suministro, realizar una asignación más eficiente del recurso, reservando las aguas potabilizadas para aquellos usos que requieren una elevada calidad, y puede tener el potencial para reducir la presión sobre los recursos hídricos tradicionales (aguas superficiales y subterráneas) si los volúmenes de agua de estas fuentes son sustituidos por agua reutilizada.

Comprobamos que la literatura ha empleado distintos enfoques para abordar esta cuestión: algunos trabajos han analizado, para un reducido número de empresas industriales, si existe una relación de sustituibilidad entre el agua reutilizada por las propias empresas y el agua que estas obtienen de las redes de suministro público [7-11]; otros han analizado los potenciales efectos de la economía circular a través del estudio

de una EDAR [4-5]; y otros han evaluados distintos esquemas de reutilización y alternativas de suministro [3].

Sin embargo, no hemos encontrado ningún estudio que trate de comprobar, de forma agregada para el conjunto de un país, si los volúmenes de agua reutilizados en las EDAR son utilizados por los usuarios como una fuente de recursos sustitutiva de los recursos hídricos tradicionales (ya sea agua de red o agua autosuministrada, pudiendo ser ambas de origen superficial o subterráneo), o si los perciben como una fuente extra de recursos que pueden emplear adicionalmente para generar nuevos usos o demandas.

El objetivo de este estudio es analizar la relación entre el agua reutilizada en las EDAR y posteriormente empleada en los usos agrarios, industriales y municipales, y el volumen de agua captado por cada uno de estos usuarios; así como determinar qué otros factores influyen en dicha captación. Para ello, utilizamos un panel de 10 CCAA españolas para los años 2000-2016, y estimamos la demanda de agua captada de cada tipo de usuario (agrario, industrial y municipal) en función del volumen de agua reutilizada empleada y de otras variables económicas (producción, precio del agua, etc.).

La finalidad es comprobar si un mayor volumen de agua reutilizada y empleada en cada uno de estos usos permite reducir o no el volumen de agua captada de otras fuentes tradicionales. En caso afirmativo, se corroboraría que la economía circular, a través de la reutilización de agua, es una herramienta eficaz para reducir la presión sobre los recursos hídricos y contribuir así a paliar los efectos del cambio climático sobre este escaso recurso.

A continuación, la Sección 2 describe los datos y el modelo empleado, la Sección 3 detalla los resultados obtenidos, y la Sección 4 presenta las principales conclusiones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. DATOS

Los datos empleados en este estudio provienen de diversas estadísticas oficiales

del Instituto Nacional de Estadística (INE). En concreto, disponemos de información por CCAA para los años 2000-2016 de las variables detalladas en la Tabla 1, junto con su fuente de información. No obstante, para algunas de estas variables, no se dispone de información para todas las CCAA. Por ello, ha sido necesario limitar el análisis a las siguientes 10 CCAA: Andalucía, Aragón, Castilla y León, Castilla la Mancha, Cataluña, Comunidad Valenciana, Extremadura, Murcia, Navarra, y la Rioja. Con ello, disponemos de un panel de datos con un total de 170 observaciones (cada observación es el dato de una Comunidad Autónoma –CA– en un año).

La Tabla 1 muestra también el valor medio de estas variables por CA, es decir, el valor de cada variable para la CA promedio de nuestra muestra. Comprobamos que el 87% del volumen de agua total captada se destina a los usos agrarios, el 12% a los industriales y el 1% a los municipales. Asimismo, la captación de agua realizada por cada uno de estos tres tipos de usuarios se ha reducido sustancialmente durante el periodo 2000-2016 (un 17%, 11% y 33%, respectivamente).

En cuanto al volumen de agua reutilizada, el 60% se destina a los usos agrarios, seguido de los municipales (29%) e industriales (11%). No obstante, el volumen de agua reutilizada para usos industriales es el que ha experimentado un mayor crecimiento (684%), muy superior al habido en los usos agrarios (248%) y

se ha utilizado la tarifa del agua como instrumento para incentivar un menor uso de agua, de acuerdo al principio de recuperación de costes de la Directiva Marco del Agua.

Los datos del PIB muestran el importante peso del sector industrial (5 veces mayor que el agrario) y que, a diferencia del sector agrario, el PIB industrial se ha incrementado un 18% en estos años. Finalmente, comprobamos que el PIB de las administraciones públicas (AAPP) y la población promedio de los municipios españoles también ha aumentado en este periodo (un 21% y un 18%, respectivamente).

2.2. MODELO

El modelo utilizado en este estudio se basa en analizar los determinantes del volumen de agua captada por cada uno de los tres tipos de usuarios considerados, con el fin de comprobar si el uso de un mayor o menor volumen de agua reutilizada tiene un impacto sobre la captación de agua de las fuentes tradicionales; así como comprobar qué otros factores influyen dicha captación de agua.

Para ello, partimos del modelo económico empleado habitualmente para estimar la demanda de agua de las actividades productivas, el cual se basa en la teoría microeconómica, en el que el nivel de producción depende del uso de los distintos factores productivos (entre ellos, el agua). A partir de esta función de producción, el teorema de la dualidad

minimizadoras de costes. El resultado es una función en la que la cantidad demandada de cada input depende de su propio precio, del precio de los demás inputs y del volumen de producción [15]. Además, el supuesto de separabilidad entre factores productivos [16] permite especificar funciones de demanda más simplificadas, en las que la demanda de cada factor (en este caso, el agua) depende de su propio precio y del nivel de producción. Esta metodología ha sido muy empleada en la literatura previa [7-11] y es la que aplicamos en este estudio, incorporando adicionalmente el volumen de agua reutilizada como una variable que puede influir en la menor captación de recursos hídricos tradicionales.

Aplicando este modelo a nuestro caso de estudio, la función de demanda de agua se especifica a través de una función doble-logarítmica, tal y como se muestra en las ecuaciones (1)-(3). Las tres ecuaciones se estiman como un panel de datos donde cada observación hace referencia al valor de las variables para para cada CA (i) en cada año (t). Las unidades de medida de las variables son las que se detallan en la Tabla 1, α es el término independiente, β son los coeficientes que miden el impacto porcentual sobre el volumen de agua captada ante una variación porcentual de cada una de las variables exógenas (es decir, las elasticidades), y μ es el término de error, que distribuye como una normal.

Así, en el caso de los usos agrarios tenemos:

$$\ln CAPTACIÓN\ AGRARIA_{it} = \alpha + \beta_1 \ln PIB\ AGRARIO_{it} + \beta_2 \ln REUTILIZACIÓN\ AGRARIA_{it} + u_{it} \tag{1}$$

municipales (50%). También ha crecido notablemente el precio del agua urbana (un 173%), lo que muestra que en España

permite derivar una función de costes, y el lema de Shephard permite deducir las funciones de demanda de inputs

donde el volumen total de agua captada por el sector agrario depende del PIB de ese sector y del volumen de agua

	Fuente	Promedio por CA para el conjunto del periodo	2000	2016
Captación agua agraria (Hm³)	[12]	1.880,50 (1.206,78)	2.188,32 (1.523,23)	1.809,64 (1.205,27)
Captación agua industrial (Hm³) (incluye agua de red y auto-suministro)	[6]	260,52 (221,10)	279,38 (256,89)	249,09 (212,00)
Captación agua municipal (Hm³)		23,16 (19,99)	29,00 (26,18)	19,39 (14,45)
Reutilización agua agraria (Hm³)		20,99 (55,29)	7,49 (17,31)	26,10 (61,03)
Reutilización agua industrial (Hm³)		3,98 (13,91)	2,10 (4,18)	16,49 (45,98)
Reutilización agua municipal (Hm³)		10,07 (17,70)	8,48 (16,73)	12,76 (15,62)
Precio medio agua urbana (€)		0,70 (0,33)	0,37 (0,15)	1,00 (0,41)
PIB agrario (millones de €)	[13]	2.296,77 (1.962,85)	2.526,36 (2.049,73)	2.524,34 (2.477,40)
PIB industrial (millones de €)		11.220,74 (10.941,41)	10.033,99 (11.144,02)	11.833,21 (11.913,19)
PIB AAPP (millones de € por municipio)		1.545,82 (924,27)	1.303,33 (966,37)	1.571,02 (732,11)
Población (habitantes por municipio)	[14]	6.883,45 (8.647,53)	6.147,88 (7.797,89)	7.256,13 (9.794,24)

Tabla 1: Estadística descriptiva. Promedio por CA. Entre paréntesis se muestra la desviación estándar. Las magnitudes económicas están expresadas en términos reales a precios de 2016, aplicando el deflactor del PIB nacional [13]

reutilizada empleada para usos agrarios. En este caso, no se ha incluido el precio del agua agraria como variable explicativa debido a la reducida magnitud de dicho precio (que se estima en unos 0,03 €/m³) y a que no se dispone de estadísticas oficiales por CCAA.

En el caso de los usos industriales tenemos:

	Captación agua agraria	Captación agua industrial	Captación agua municipal
Reutilización	0,0092551 (0,57)	-0,0076725 (0,71)	-0,0913419 (0,00)
Precio agua urbana	-	-0,3206212 (0,00)	-0,4273173 (0,00)
PIB	0,600535 (0,00)	1,099472 (0,01)	-0,2797764 (0,14)
Población	-	-	1,467113 (0,08)

Tabla 2: Resultados de la estimación del modelo. Entre paréntesis se muestra el p-valor

$$\begin{aligned} \ln \text{CAPTACIÓN INDUSTRIAL}_{it} &= \alpha + \beta_1 \ln \text{PIB INDUSTRIAL}_{it} \\ &+ \beta_2 \ln \text{REUTILIZACIÓN INDUSTRIAL}_{it} + \beta_3 \ln \text{PRECIO AGUA}_{it-1} + u_{it} \end{aligned} \tag{2}$$

donde el volumen de agua captada por el sector industrial depende del PIB de dicho sector, del volumen de agua reutilizada empleada en la industria y del precio del agua urbana, que ha sido retardado un periodo para evitar posibles problemas de endogeneidad, tal y como es habitual en esta literatura [17-18].

Finalmente, en el caso de los usos municipales, la función de demanda es ligeramente diferente al no tratarse de una actividad productiva:

efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos. Esto implica que los volúmenes de agua reutilizados pueden estar empleándose para satisfacer nuevos usos y demandas, en lugar de utilizarse como un sustitutivo de las fuentes de agua tradicionales; un resultado que también se ha venido observando al estudiar los planes de modernización del regadío, donde la elevada rentabilidad que los agricultores pueden obtener al ampliar la superficie cultivada hace que

un volumen de agua que, además, representa una proporción muy reducida sobre el total de agua reutilizada (11%).

Por el contrario, en los usos municipales, un aumento del 1% del volumen de agua reutilizada destinada a estos usos sí reduce la captación de agua municipal en un 0,09%. Un efecto reducido, pero estadísticamente significativo, lo que indica que, en este caso, la reutilización de agua sí consigue reducir la presión sobre los recursos hídricos tradicionales y que

$$\begin{aligned} \ln \text{CAPTACIÓN MUNICIPAL}_{it} &= \alpha + \beta_1 \ln \text{PIB AAPP}_{it} + \beta_2 \text{POBLACIÓN}_{it} \\ &+ \beta_3 \ln \text{REUTILIZACIÓN MUNICIPAL}_{it} + \beta_4 \ln \text{PRECIO AGUA}_{it-1} + u_{it} \end{aligned} \tag{3}$$

donde el volumen de agua captada para usos municipales depende del tamaño medio de dichos municipios (aproximado a través del PIB de las AAPP y de la población), del volumen de agua reutilizada empleada para dichos usos y del precio del agua urbana (retardado un periodo).

los ahorros de agua logrados gracias a la modernización se destinen al riego de una mayor superficie de cultivo.

En los usos industriales, un incremento del PIB industrial del 1% conlleva un aumento de la captación de agua en este sector del 1,1%, siendo por tanto, este incremento más que proporcional. En cuanto al efecto de la tarifa, un aumento del precio del agua urbana del 1% lleva a los usuarios industriales a reducir el volumen de agua captado en un 0,32%. Este resultado es coherente con los obtenidos previamente por la literatura [19] y demuestra que las políticas de precios incentivan a los usuarios a disminuir su uso de agua, contribuyendo así a la sostenibilidad de este recurso. Por el contrario, igual que en los usos agrarios, la disponibilidad de un mayor volumen de agua reutilizada en el sector industrial no tiene un efecto significativo sobre el volumen de agua captada. Este resultado puede parecer contradictorio con los obtenidos por la literatura previa [7-11]. Sin embargo, los estudios previos mencionados abordan el agua reutilizada por la propia empresa, y en este estudio se analiza el agua reutilizada en las EDAR y posteriormente empleada en la industria;

contribuye, por tanto, a la sostenibilidad del agua. Este resultado es coherente con el elevado volumen que representa el agua reutilizada para usos municipales con respecto al volumen total de agua captada (43,5%, frente al 1,5% y 1,1% en los usos industriales y agrarios) y el agua reutilizada para usos municipales con respecto al total reutilizado (34% de media, pero llegando incluso al 100% en algunas CCAA).

El volumen de agua captado para usos municipales también depende negativamente del precio del recurso, ya que un aumento del precio del agua urbana (es decir, de su coste) del 1% reduce esa captación en un 0,43%. Además, el tamaño de los municipios (medido a través de su población) y la captación de agua que estos hacen están positivamente relacionados (elasticidad de 1,47), mientras que el PIB de actividades municipales no condiciona el volumen de agua empleado para estos usos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la estimación de las ecuaciones (1-3), aplicando un modelo de panel con efectos fijos, se muestran en la Tabla 2.

En los usos agrarios, comprobamos que un incremento del 1% del PIB agrario aumenta la captación de agua en este sector en un 0,60% y que este efecto es estadísticamente significativo. Por el contrario, el coeficiente de la variable de reutilización de agua no resulta significativo, indicando que un mayor volumen de agua reutilizada empleada en los usos agrarios no tiene efecto sobre la cantidad de agua captada por este sector. Por tanto, en este caso, la reutilización parece no ser un instrumento eficaz para reducir la presión sobre las masas de agua y contribuir así a paliar los

4. CONCLUSIONES

El objetivo de este artículo es analizar la efectividad de la reutilización de agua, como estrategia de economía circular,

para reducir la presión sobre los recursos hídricos tradicionales y contribuir así a paliar los efectos del cambio climático sobre este escaso recurso. Las principales conclusiones que se han obtenido son las siguientes:

1. La reutilización tiene el potencial para contribuir a la sostenibilidad del agua, tal y como demuestra el hecho de que, en los usos municipales, un mayor volumen de agua reutilizada implica una menor captación de agua de otras fuentes. Sin embargo, el hecho de que el volumen de agua reutilizada que es empleada en los otros usos (agrario e industrial) represente solo una pequeña proporción del total de agua que es captada por estos sectores, hace que estos usuarios vean los volúmenes de agua reutilizados como un aporte extra de este recurso que pueden emplear adicionalmente para satisfacer nuevas demandas; lo que implica que la reutilización pierda su eficacia como instrumento para reducir la presión sobre el recurso. Esto subraya la necesidad de incrementar los volúmenes de agua que son reutilizados en España, especialmente los destinados a los usos agrarios e industriales. Algo que, sin duda, España tiene capacidad para llevar a cabo, dadas las infraestructuras y tecnologías de las que dispone. Y para ello, nuestro país debe seguir trabajando en la Estrategia Española de Economía Circular presentada en 2018, en línea con el Plan de Acción para la Economía Circular de la Comisión Europea. Esto permitiría incrementar la proporción que representa la reutilización sobre el total de agua captada, incrementando así su eficacia como instrumento para lograr una mayor sostenibilidad del agua y ayudar a combatir los efectos del cambio climático sobre este recurso.
2. Los resultados obtenidos también muestran que un incremento del precio del agua urbana incentiva a los usuarios industriales y municipales a realizar un uso más eficiente de este recurso, lo que confirma la necesidad de continuar implementando estas políticas de precios, tal y como establece la Directiva Marco del Agua. No obstante, la efectividad de las políticas de precio se traduce en un consumo de agua cada vez

menor por parte de los usuarios, lo que implica que estos tendrán un margen cada vez menor para reducir su consumo y las políticas de precio tendrán un impacto cada vez menor. De ahí, la necesidad de implementar políticas del agua integrales que aborden tanto una visión de oferta como de demanda, y de establecer estrategias que complementen las políticas de precios, como es el caso de la economía circular.

3. Comprobamos también que un mayor nivel de producción y una mayor población incrementan el volumen de agua captado, lo que evidencia una relación directa entre crecimiento y uso de agua. En un escenario en el que, a los efectos del cambio climático, se añaden los efectos sobre los recursos hídricos derivados de una mayor población y producción, es necesario poner en marcha todas aquellas medidas que puedan contribuir a una mayor sostenibilidad de este recurso, como fomentar la inversión en tecnologías menos consumidoras de agua, o potenciar el uso de otras fuentes alternativas de agua. Y en este sentido, la economía circular puede ser una herramienta eficaz para poner freno y revertir esta tendencia de creciente presión sobre los recursos hídricos y ayudar así a paliar los efectos del cambio climático sobre este recurso.

REFERENCIAS

- [1] Argudo-García J, Molina-Moreno V, Leyva-Díaz J. "Valorization of sludge from drinking water treatment plants. A commitment to circular economy and sustainability". DYNA. 2017. Vol. 92 -1, P. 71-75. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8024>.
- [2] COTEC. Situación y evolución de la economía circular en España. Madrid: Fundación COTEC para la Innovación, 2017. ISBN: 978-84-92933-35-8.
- [3] Sgroi M, Vagliasindi F, Roccaro P. "Feasibility, sustainability and circular economy concepts in water reuse". Current Opinion in Environmental Science & Health. 2018. Vol. 2, P. 20-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.004>.
- [4] Molinos-Senante M, Hernández-Sánchez F, Sala-Garrido R. "Cost-benefit analysis of water-reuse projects for environmental purposes: A case study for Spanish wastewater treatment plants". Journal of Environmental Management. 2011. Vol. 92-12, P. 3091-3097. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.07.023>.
- [5] Stefiyova M, Koop S, Ehlman R. "Governing non-potable water-reuse to alleviate water stress: The case of Sabadell, Spain". Water. 2018. Vol. 10-6, 739. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10060739>.
- [6] Instituto Nacional de Estadística (INE). Estadística sobre el suministro y saneamiento del agua. 2018. Disponible en: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176834&menu=ultiDatos&tidp=1254735976602.
- [7] Dupont DP, Renzetti S. "The role of water in manufacturing". Environmental and Resource Economics. 2001. Vol. 18-4, P. 411-432. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1011117319932>.
- [8] Féres J, Reynaud A, Thomas A. "Water reuse in Brazilian manufacturing firms". Applied Economics. 2012. Vol. 44-11, P. 1417-1427. DOI: <https://doi.org/10.1080/00036846.2010.543070>.
- [9] Bruneau J, Renzetti S, Villeneuve M. "Manufacturing firms' demand for water recirculation". Canadian Journal of Agricultural Economics. 2010. Vol. 58-4, P. 515-530. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7976.2010.01196.x>.
- [10] Bruneau J, Renzetti S. "A panel study of water recirculation in manufacturing plants". Canadian Water Resources Journal. 2014. Vol. 39-4, P. 384-394. DOI: <https://doi.org/10.1080/07011784.2014.965034>.
- [11] Becker RA. "Water use and conservation in manufacturing: Evidence from U.S. microdata". Water Resources Management. 2016. Vol. 30. P. 4185-4200. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1414-7>.
- [12] Instituto Nacional de Estadística (INE). Encuesta sobre el uso del agua en el sector agrario. 2018. Disponible en: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176839&menu=ultiDatos&tidp=1254735976602.
- [13] Instituto Nacional de Estadística (INE). Contabilidad Regional de España. 2018. Disponible en: http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736167628&menu=ultiDatos&tidp=1254735576581.
- [14] Instituto Nacional de Estadística (INE). Cifras de Población. 2018. Disponible en: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176951&menu=ultiDatos&tidp=1254735572981.
- [15] Varian HR. Intermediate Microeconomics. A Modern Approach. Nueva York: WW Norton & Company, 2014. ISBN 978-0-393-93424-3.
- [16] Chambers R. Applied Production Analysis: A Dual Approach. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. ISBN 521-30699-X.
- [17] Dachraoui K, Harchaoui TM. "Water use, shadow prices and the Canadian business sector productivity performance". Economic Analysis Research Paper Series 11F0027 n026, Ottawa: Statistics Canada. 2004. ISBN: 0-662-38753-8.
- [18] Angulo AM, Atwi M, Barberán R et al. "Economic analysis of the water demand in the hotels and restaurants sector: Shadow prices and elasticities". Water Resources Research. 2014. Vol. 50-8, P. 6577-6591. DOI: <https://doi.org/10.1002/2013WR014085>.
- [19] Worthington A. "Commercial and industrial water demand estimation: Theoretical and methodological guidelines for applied economics research". Estudios de Economía Aplicada. 2010. Vol. 28-2, P. 237-258. ISSN: 1697-5731.