

Estudio cuantitativo de la aplicabilidad de la economía circular en el marco de la gestión del recurso hídrico

Adriana María Rueda Sierra²

DOI: <https://doi.org/10.33132/27114260.1981>

Resumen

Para la gestión de los recursos hídricos la adopción de un enfoque de economía circular permite a las partes interesadas y los sectores mundiales del agua lograr suministros seguros, sostenibles y de calidad para el futuro, siempre y cuando se trabaje con sus tres principios, y que además permita considerar los aspectos físicos, técnicos, ambientales y económicos.

Se realizó un estudio cuantitativo de artículos científicos asociados a la economía circular del recurso hídrico con el fin de identificar las tendencias de investigación en esta área, como también establecer los parámetros de sostenibilidad y gobernanza de este recurso. En la gestión de este recurso no se tuvieron en cuenta ciertos procesos de carácter social, económico, ambiental, entre otros, que inciden en el tema de la gobernanza del agua.

En el desarrollo del trabajo se empleó la base de datos Scopus (Elsevier, 2021) y el programa de minería de texto VantagePoint (Search Technology, versión académica 12.0). Se identificaron 425 registros, durante el periodo 2010-2021, en el cual se observa una tendencia creciente del 83,09%. El interés de los investigadores se centra en aplicaciones en ciencias ambientales e ingenierías. En cuanto a los países, se destacan España e Italia con el mayor número de publicaciones. Dado el creciente interés y la importancia en el tema, es necesario establecer qué modelos se deben adoptar para optimizar el uso de los recursos hídricos, contribuyendo a la protección de este suministro natural, clave para la prolongación de la vida.

Palabras clave: calidad de agua, desarrollo sostenible, economía circular, eficiencia de recursos, gestión integral del recurso hídrico.

Introducción

El agua es uno de los recursos más valiosos y vitales en el medio ambiente, este sigue un modelo circular natural que regula el flujo de agua y asegura su calidad. Sin embargo, según lo planteado por Stuchtey (2015), los sistemas gestionados por el ser humano siguen un modelo lineal de crecimiento económico, en el que se degrada cualitativamente el agua después de su uso, lo que la vuelve inadecuada para un uso posterior por parte de los seres humanos y de los ecosistemas.

Las etapas de un sistema lineal han llegado a sus límites, pues se ha demostrado el agotamiento de una serie de re-

ursos naturales y de los combustibles fósiles. Por lo anterior, es importante comprender la economía circular como la intersección de los aspectos ambientales y económicos que permite al sector global, en cuanto a los recursos hídricos, obtener suministros de agua sostenibles y de calidad para el futuro (Moreno, 2019); a su vez, propone un nuevo modelo de sociedad que utiliza y optimiza los inventarios y los flujos de materiales, energía y residuos, y cuyo objetivo principal es la eficiencia del uso de los recursos.

Según Morsetto (2020), la economía circular es un sistema cuyo enfoque está en el uso eficiente de los recursos mediante la minimización de residuos,



Figura 1. Esquema de economía circular
Fuente: Congreso Nacional del Medio Ambiente (2016).

la retención de valor a largo plazo, la reducción de los recursos primarios y los lazos cerrados de productos, partes de productos y materiales dentro de los límites de protección ambiental y beneficios socioeconómicos, junto con el potencial de conducir al desarrollo sostenible, como se observa en la figura 1.

Nota: la figura representa la finalidad de la economía circular que es mantener y recircular los recursos en el sistema el mayor tiempo posible, generando menos residuos, además de permitir restituir el capital natural y fomentar su regeneración.

Un nuevo modelo circular contribuye a la seguridad del suministro y a la reindustrialización en que los “residuos”

de unos se convierten en recursos para otros (Prieto-Sandoval *et al.*, 2018). De esta manera, se reduce la huella ambiental de la producción y el consumo, y se logra más seguridad en el suministro de materias primas.

Hoy en día, Colombia enfrenta una crisis de la seguridad del agua, entendiéndose por tal

la disponibilidad de una cantidad y calidad aceptable de agua para la salud, la vida, los ecosistemas y la producción, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua para las personas, el medio ambiente y la economía. (Grey y Sadoff, 2007)

Entre los temas que afectan la seguridad hídrica es importante destacar el

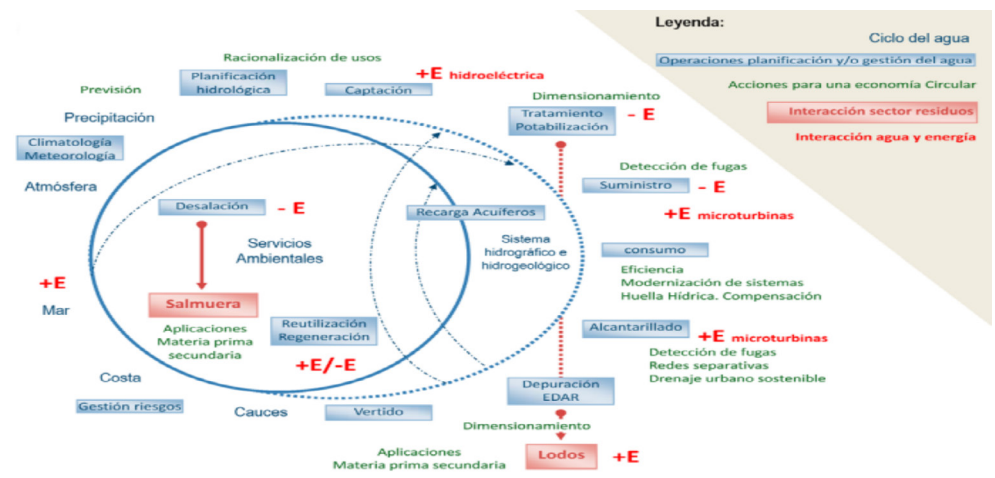


Figura 2. Ciclo del agua en la economía circular
Fuente: Fundación Conama (2019).

aumento de las demandas de productos básicos asociados a cambios en los patrones de consumo (a mayor cantidad de habitantes, mayor gasto energético, mayor generación de residuos, contaminación, etc.); los fallos de abastecimiento (mayor cantidad de habitantes se requiere una mayor infraestructura adecuada a ese crecimiento); los riesgos por eventos hidrológicos extremos (debido a la ausencia de protocolos de contingencia adecuados).

El sector hídrico desempeña un papel protagónico en la evolución de un sistema lineal a uno circular, dado el hecho que gestiona un recurso vital, generalmente escaso, que requiere de un manejo eficiente por el carácter circular del propio ciclo del agua, y por su importante relación en determinados ámbitos con la energía y el sector de residuos (Sgroi *et al.*, 2018).

Así lo ha demostrado la Fundación Ellen MacArthur (Ellen MacArthur Foundation *et al.*, 2015) al combinar en un mismo esquema los dos grandes ciclos que representan tanto la esfera tecnológica o material como la natural o biológica, como se ve en la figura 2, que no se tiene un único cierre circular al final de la vida útil del producto o servicio, sino que se cuenta con el ciclo del agua y los flujos energéticos.

Nota: la figura representa cómo el ciclo natural del agua es irrumpido en el momento en que se realiza una captación de agua, por lo cual este inicia otro ciclo paralelo en el que, además de ser captado, podrá ser potabilizado, distribuido, consumido y vertido.

Según Voulvoulis (2018), la economía circular a favor del agua generaría una oferta de productos y tecnologías innovadoras, así como la adopción de modelos de colaboración efectivos para la integración de la reutilización del agua, en la que se establecen normas, criterios y estándares relacionados con el control y la calidad, llegando a atender la consecuente emergencia de “agua nueva”. Después del uso del agua, se lleva a cabo un nuevo tratamiento, en el que las unidades de tratamiento complementarias se organizan en procesos cíclicos, capaces de impulsar la reutilización del agua o el nuevo mercado del agua, para combatir su escasez (Cansi y Cruz, 2020). De esta manera, la introducción de agua reutilizada en el modelo actual de consumo permite transformar la gestión de los recursos hídricos de un modelo lineal a un modelo circular.

El Banco Mundial (2020) realizó entre el 2019 y el 2020 el informe “Agua residual, de residuo a recurso”, en el que

aborda los principales desafíos, oportunidades y casos de estudios en América Latina sobre la economía circular. El estudio resalta el valor de las aguas residuales como fuente de energía y nutrientes, así como una fuente adicional de agua, teniendo en cuenta que muchos países de la región se enfrentarán a crisis de escasez económica de agua en el mediano plazo. Lo anterior implica que, a pesar de la gran disponibilidad del recurso hídrico actualmente, la infraestructura no será suficiente para satisfacer la creciente demanda (Banco Mundial, 2019).

Nota: la figura muestra parte de la recuperación de recursos de las aguas residuales en forma de energía, agua, biosólidos y otros recursos como nutrientes.

Uno de los principales problemas que se pueden abordar desde la economía circular en el manejo de los recursos hídricos está asociada a las condiciones de calidad, gobernanza, disponibilidad del recurso y sus diferentes tipos de usos.

Los reportes presentados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) ofrecen información oportuna para la toma de decisiones y el fortalecimiento de la política pública sobre la circularidad de la economía del país, para establecer objetivos y metas que son medidos con el fin de evaluar el desempeño, el cumplimiento y la transición hacia este modelo. Los indicadores de la economía circular han sido categorizados en cuatro componentes que dan cuenta de las fases del proceso.

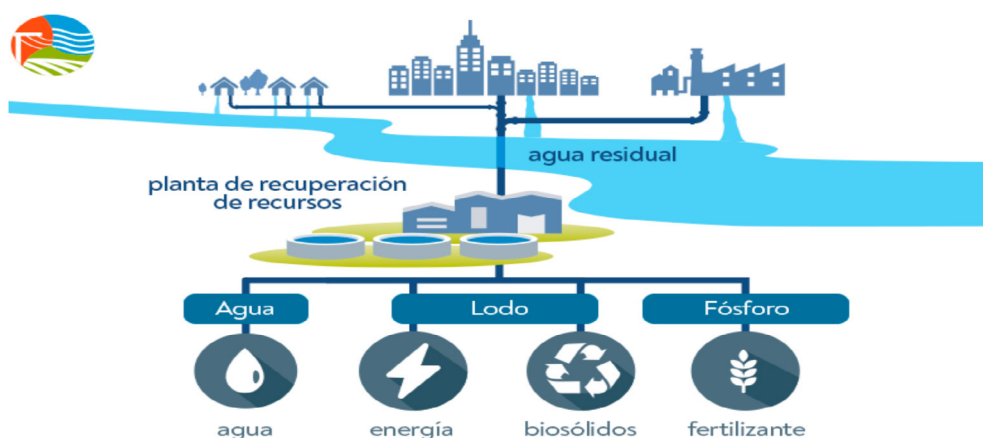


Figura 3. Recuperación de recursos de las aguas residuales
Fuente: Fundación Banco Mundial (2019).

Por su parte, el Documento Conpes 4004 “Economía circular en la gestión de los servicios de agua potable y manejo de aguas residuales” pone en consideración la política de economía circular en la gestión de los servicios de agua potable y aguas residuales, como política nacional de interés social, económico, sanitario y ambiental. Cabe resaltar que esta política se encuentra alineada con la visión del país respecto al aprovechamiento de sus recursos y la economía circular, y con los compromisos internacionales adquiridos para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Conpes 4004, 2020). Lo anterior en concordancia con el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2018-2022 “Pacto por Colombia, pacto por la equidad”, que establece estrategias con el fin de mejorar las condiciones de acceso al agua potable y al saneamiento básico en zonas urbanas y rurales, así como para la prestación eficiente, sostenible e incluyente de estos servicios con un enfoque de economía circular (DNP, 2018).

Para la solución integral de dichos problemas es necesario generar alternativas tecnológicas y de gestión, cuyo objetivo sea cerrar los bucles de recursos y extender su vida útil mediante un uso, reutilización y remanufactura más prolongados (Busch *et al.*, 2017). Desde

la perspectiva de la economía circular, la reutilización del agua es una opción ganadora, el ciclo completo de gestión de aguas residuales es un componente crítico desde la fuente hasta la distribución, recolección (alcantarillado y sistemas de saneamiento *in situ*) y tratamiento, hasta la eliminación y la reutilización, incluida la recuperación de agua, nutrientes y energía (Rodríguez *et al.*, 2009).

Teniendo en cuenta lo expuesto, se puede concluir que la economía circular vinculada al sector del agua y saneamiento ha suscitado un alto interés de investigación bajo el enfoque de la sostenibilidad, pues su incorporación en la política sectorial busca el aprovechamiento de forma óptima de los recursos (agua, energía y nutrientes), para reducir el impacto en el medio ambiente. Los procesos relacionados con el manejo del componente socioeconómico y la gestión del agua inciden de manera relevante en la aplicabilidad de mecanismos de participación y de gobernanza de este recurso, lo que genera oportunidades de negocio que brindan sostenibilidad financiera a los servicios.

Metodología

Se realizó un análisis cuantitativo de artículos científicos indexados en la

base de datos de Scopus (Elsevier, 2021), con el objetivo de identificar las líneas temáticas de investigación de los autores. Se estructuró la siguiente ecuación de búsqueda: (TITLE-ABS-KEY (“Circular Economy”) AND TITLE-ABS-KEY (“Wastewater Treatment*” OR “Water Treatment*” OR “Water Reuse” OR “Waste Water Recycling” OR “Water Quality” OR “Water Resource*”)) AND PUBYEAR > 2009 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , “ar”)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , “ENVI”)). Se empleó el programa especializado para minería de texto VantagePoint (Search Technology, versión académica 12.0).

Análisis y discusión de resultados

De acuerdo con la ecuación de búsqueda presentada, se identificaron 425 artículos indexados en Scopus, que se relacionan con “economía circular”, “tratamiento del agua residual”, “recursos hídricos” y “calidad del agua”, los cuales referencian estudios en diferentes campos del conocimiento como, por ejemplo, las ciencias ambientales son las que presentan mayor actividad con un 43 %, en tanto que el área de energía y de ingeniería muestran un interés muy similar de aproximadamente 12 % cada una (figura 4).

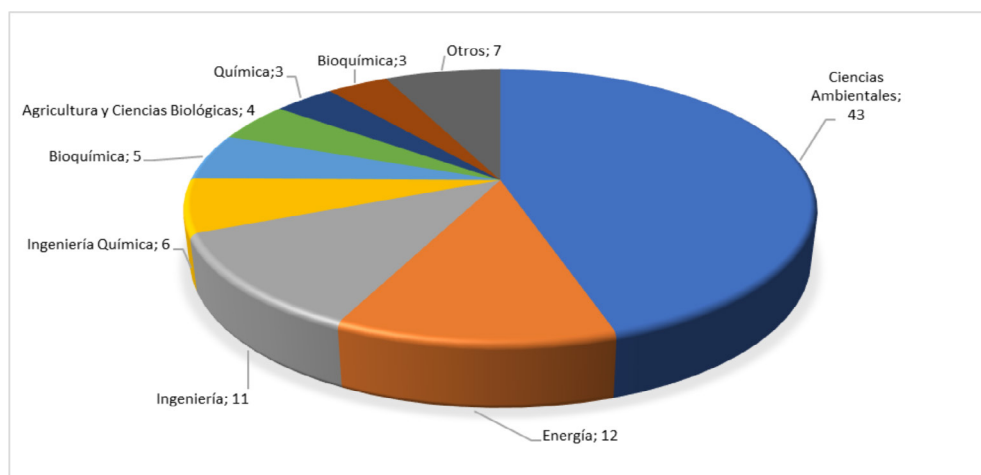


Figura 4. Distribución de artículos por áreas de conocimiento relacionados con la aplicación de la economía circular del recurso hídrico

Fuente: Unidad de Bibliometría del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI), Biblioteca Universidad Santo Tomás, seccional Bucaramanga. cálculos basados en información de la base de datos Elsevier (Scopus, 2021), procesados con VantagePoint (Search Technology, versión académica 12.0).

En la figura 5 se presenta la dinámica científica (número de artículos por año) durante el periodo 2010-2021. Se observa una tendencia creciente a partir del 2015, el año de mayor actividad es el 2021 con 149 documentos indexados.

Utilizando la ley de Solla Price (ec. 1) (De Solla Price, 1963), se calculó la tasa de crecimiento anual de los trabajos relacionados con esta temática publicados a partir del 2010 hasta el 2021. De acuerdo con la ecuación 1, este índice fue de un 83,09% con una correlación de los datos de $R^2 = 0,9974$.

$$\text{Ec. 1: } R = 100(e^b - 1)$$

La producción y el desempeño científico de un país, institución o centro de investigación están directamente rela-

cionada con el número de documentos publicados por año (figura 6). En cuanto a la distribución por países a nivel internacional se destaca España con 74 publicaciones relacionadas con la economía circular del sector hídrico. Por otro lado, China e Italia presentan 56 documentos indexados en la base de datos, de acuerdo con la ecuación de búsqueda empleada. En Latinoamérica, el país que sobresale es Brasil con 21 publicaciones, por su parte, estos trabajos se relacionan con mezclas de lodos de plantas de tratamiento de aguas para la recuperación de energía (Carneiro *et al.*, 2020), en estos trabajos se diseñaron indicadores de economía circular como instrumentos para la evaluación de la sostenibilidad y eficiencia en aguas residuales.

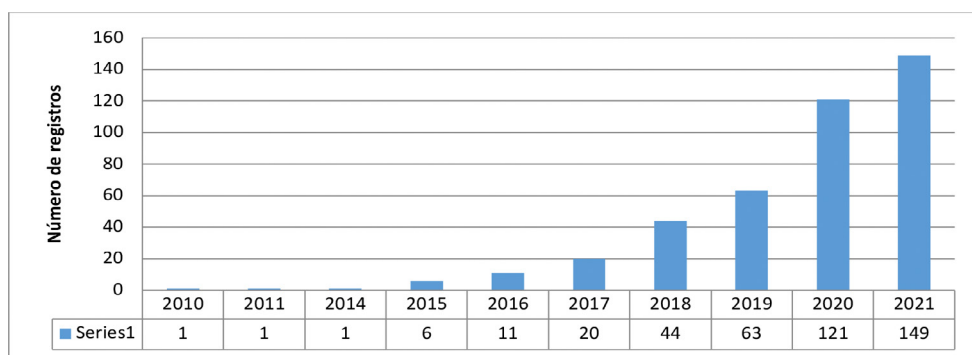


Figura 5. Distribución de artículos por año relacionados con economía circular del recurso hídrico

Fuente: Unidad de Bibliometría del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI), Biblioteca Universidad Santo Tomás, seccional Bucaramanga. cálculos basados en información de la base de datos Elsevier (Scopus, 2021), procesados con VantagePoint (Search Technology, versión académica 12.0).

El análisis de coocurrencia de las palabras clave permitió determinar la preferencia en la temática de interés, en este caso, la economía circular en el sector hídrico. Se empleó el programa gratuito Vosviewer (2021, Center for Science and Technology Studies, Leiden University, The Netherlands, versión 1.6.15), para visualizar cada una de las relaciones que presentan las palabras clave (figura 7). Un clúster de palabras muestra un trabajo interdisciplinario y dentro de las temáticas estudiadas se encuentran, por ejemplo, de-

sarrollo y evaluación de tratamientos de aguas residuales (235 registros), dentro de los cuales se destaca la osmosis inversa, métodos de biorremediación para la recuperación de aguas contaminadas con metales pesados, pesticidas, agroquímicos, entre otros. Hay 222 documentos asociados al concepto de *economía circular*, especialmente, con la recuperación de recursos como la energía, nutrientes, entre otros, y un último grupo (52 documentos) está dirigido a la gestión de las ciencias ambientales y desarrollo sostenible

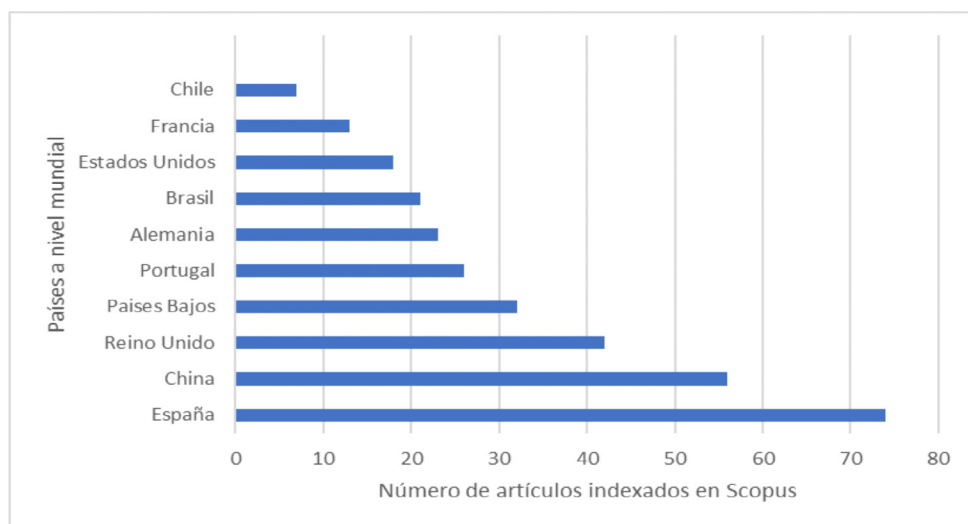


Figura 6. Distribución de la producción científica por países entre el 2010 y el 2021 relacionados con economía circular del recurso hídrico

Fuente: Unidad de Bibliometría del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI), Biblioteca Universidad Santo Tomás, seccional Bucaramanga. cálculos basados en información de la base de datos Elsevier (Scopus, 2021), procesados con VantagePoint (Search Technology, versión académica 12.0).

camente de las ciudades, depende también de políticas nacionales, la participación del sector privado y un ecosistema de innovación favorable.

Referencias

- Banco Mundial. (2019, 19 de marzo). Agua residual: de residuo a recurso. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/publication/wastewater-initiative#infograficos>
- Busch, J., Dawson, D. y Roelich, K. (2017). Closing the low-carbon material loop using a dynamic whole system approach. *Journal of Cleaner Production*, 149, 751-761. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.166>
- Cansi, F. y Cruz, M. (2020). “Agua nueva”: notas sobre sostenibilidad de la economía circular. *Sostenibilidad: Económica, Social y Ambiental*, 2, 49-65. <https://doi.org/10.14198/Sostenibilidad2020.2.04>
- Carneiro, M., Bilotta, P., Malucelli, L. C., Och, S. H. y Da Silva Carvalho Filho, M. A. (2020). Sludge and scum blends from water and sewage treatment plants for energy recovering toward a circular economy perspective. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(9), 3847-3856. <https://doi.org/10.1007/S13762-020-02727-8/FIGURES/3>
- Congreso Nacional del Medio Ambiente. (2016). Contratación y compra pública sostenible e innovadora. http://www.conama.org/conama/download/files/conama2016/GTs%202016/6_final.pf
- Demailly, D. y Novel, A.-S. (2014). The sharing economy: Make it sustainable. Report prepared for IDDRI. <https://tinyurl.com/q8jd77e>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2020). Conpes 4004 “Economía circular en la gestión de los servicios de agua potable y manejo de aguas residuales”. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%c3%b3micos/4004.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2018). Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, pacto por la equidad”. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/PND-Pacto-por-Colombia-pacto-por-la-equidad-2018-2022.pdf>
- Ellen MacArthur Foundation, SUN y McKinsey Center for Business and Environment. (2015). Growth Within: A circular economy vision for a competitive Europe. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publication/EllenMacArthur-Foundation_Growth-Within_July15.pdf
- Grey, D. y Sadoff, C. W. (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9. <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021, 20 de enero). Gobernanza del agua. <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1957-gobernanza-del-agua>
- Moreno, M. J. (2019). Libro Congreso Nacional del Agua Orihuela. *Innovación y Sostenibilidad*. Universitat d’Alacant. <https://doi.org/10.14198/Congreso-Nacional-del-Agua-Orihuela-2019>. ISBN: 978-84-1302-034-1
- Morseletto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources Conservation & Recycling*, 153, 104553. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553>

- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C. y Ormazábal, M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 179, 605-615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>
- Rizos, V., Tuokko, K. y Behrens, A. (2017). The circular economy: A review of definitions, processes and impacts. *CEPS Research Report* 2017/08. <http://aei.pitt.edu/id/eprint/85892>
- Rodríguez, C., Van Buynder, P., Lugg, R., Blair, P., Devine, B., Cook, A. y Weinstein, P. (2009). Indirect potable reuse: a sustainable water supply alternative. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6(3), 1174-1209. <https://doi.org/10.3390/ijerph6031174>
- Sgroi, M., Vagliasindi, F. y Roccaro, P. (2018). Feasibility, sustainability and circular economy concepts in water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 20-25. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.004>
- Stuchtey, M. (2015). Rethinking the water cycle. Sustainability & Resource Productivity. McKinsey and Company. <https://www.mckinsey.com.br/media/McKinsey/BusinessFunctions/Sustainability/OurInsights/Rethinkingthewatercycle/Rethinkingthewatercycle.pdf>
- Voulvoulis, N. (2018). Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 32-45. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.005>