

Impluvium

Publicación digital de la Red del Agua UNAM
Número 9, Octubre - Diciembre 2019



Economía circular en el sector hídrico

PRESENTACIÓN

DR. FERNANDO J. GONZÁLEZ VILLARREAL
M. EN C. JORGE ALBERTO ARRIAGA MEDINA

COORDINADOR TÉCNICO Y COORDINADOR EJECUTIVO DE LA RED DEL AGUA UNAM

Los sistemas de producción a nivel mundial están transitando de un sistema lineal de extracción-uso-desecho a un modelo de gestión basado en el concepto de economía circular. La propuesta central de este enfoque es optimizar los flujos de materiales, energía y residuos manteniendo su valor económico el mayor tiempo posible y, al mismo tiempo, disminuir la extracción de materias primas y reducir la producción de desechos.

Debido a su importancia para el desarrollo sostenible, el sector hídrico requiere incentivar el empleo de mejores prácticas bajo el enfoque de economía circular. La transición hacia una econo-

mía circular en el sector tiene un alto potencial para reducir el aumento de las disparidades entre una limitada disponibilidad y una creciente demanda de recursos hídricos.

Las oportunidades de implementar acciones bajo este enfoque son amplias y de muy diversa naturaleza. Las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden ser renovadas e integradas para convertirse en biorefinerías; el agua potable utilizada para la producción de alimentos puede ser intercambiada por agua tratada; los lodos generados por las aguas residuales pueden ser empleados como fertilizantes en la agricultura; la operación de pozos

y plantas de tratamiento puede emplear energías renovables; la captación de agua de lluvia puede ser promovida para disminuir las presiones sobre otras fuentes de abastecimiento; entre una larga lista más.

Transitar hacia una economía circular en el sector hídrico no es tarea sencilla, pues se requieren cambios profundos en el diseño de los productos, los modelos de negocios, la gestión de los desechos, la formulación de instrumentos económicos, hasta transformaciones en los patrones de consumo y la formulación de políticas públicas.

Considerando la importancia del tema, compartimos esta edición de Impluvium con la intención de incentivar un debate interdisciplinario que se traduzca en acciones concretas que puedan ser empleadas a diversas escalas. 💧



Impluvium

Impluvium es una publicación de la Red del Agua UNAM; puede ser reproducida con fines no lucrativos, siempre y cuando no se mutile, se cite la fuente completa y su dirección electrónica. Los artículos compartidos son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente la opinión de la Red del Agua UNAM o de sus miembros.

.....
Comité editorial:

Dr. Fernando J. González Villarreal
Coordinador Técnico Red del Agua UNAM

M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina
Coordinador Ejecutivo de la Red del Agua UNAM

Mtra. Malinali Domínguez Mares
Coordinadora de Asesores de la Dirección General del IMTA

Diseño gráfico y formación:
Lic. Joel Santamaría García

Lic. Marie Claire Mendoza Muciño

Publicación digital de la Red del Agua UNAM.
Número 9, Economía Circular en los Sector Hídrico,
Octubre - Diciembre 2019

www.agua.unam.mx/impluvium.html
.....

Impluvium es la publicación digital de divulgación de la Red del Agua UNAM, Año 6, No.9, Octubre – Diciembre 2019. Es una publicación trimestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, a través de la Red del Agua de la UNAM, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Instituto de Ingeniería, edificio 5, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Tel. (55)56233600 ext.8745, <http://www.agua.unam.mx/impluvium.html>, jarrigam@iingen.unam.mx. Editor responsable: Dr. Fernando J. González Villarreal. Reserva de Derechos al uso Exclusivo: en trámite., ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Red del Agua UNAM, Dr. Fernando J. González Villarreal, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Instituto de Ingeniería, edificio 5, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México fecha de la última modificación, febrero 2020.



CONTENIDO

Presentación2

DR. FERNANDO J. GONZÁLEZ VILLARREAL

M. EN C. JORGE ALBERTO ARRIAGA MEDINA

Aproximaciones al concepto de economía circular y su relación con los recursos hídricos.6

ANA GABRIELA PIEDRA MIRANDA

FERNANDA HOYANNA ROSALES RAMÍREZ

La economía circular en el sector hídrico: experiencias de éxito en las empresas. . . . 15

JORGE IVÁN JUÁREZ DEHESA

Captación de agua de lluvia para consumo doméstico: ¿Una opción para localidades sin suministro por red? 21

DRA. MONTSERRAT ILLIANA GÓMEZ-VÁLDEZ

M.C. ELÍ GAISKA SALOMÓN-GUZMÁN

DRA. JACINTA PALERM-VIQUEIRA

APROXIMACIONES AL CONCEPTO DE ECONOMÍA CIRCULAR Y SU RELACIÓN CON LOS RECURSOS HÍDRICOS.

ANA GABRIELA PIEDRA MIRANDA

MAESTRANTE EN CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD- POSGRADO EN
CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD-UNAM.

FERNANDA HOYANNA ROSALES RAMÍREZ

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA COMUNICACIÓN- FACULTAD DE
CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIALES-UNAM.



Introducción

En el presente artículo se hace una aproximación general al concepto de economía circular, desde sus primeras apariciones en la literatura académica hasta su evolución en cinco enfoques del pensamiento económico. La economía circular es una alternativa para la gestión de los recursos naturales ante las crisis ambientales y sociales derivadas del modelo de producción lineal. Sus principales fundamentos son la reducción de las externalidades de la producción de bienes y servicios, el mantenimiento de los recursos en uso por el mayor tiempo posible y la contribución a la regeneración del capital natu-

ral. Este concepto representa una oportunidad para superar los modelos de gestión del agua basados en el modelo de economía lineal y, con ello, promover la colaboración de diversos sectores para el manejo sostenible del recurso.

Economía circular

El concepto de economía circular se ha implementado en el ámbito empresarial y, más recientemente, en el desarrollo de políticas públicas. Su precursor en la literatura académica fue Kenneth Boulding, quien afirmó que el mantenimiento de la vida humana en la Tierra requiere de un modelo circular

de la economía. Con esta perspectiva, se entiende que la biosfera es un sistema cerrado, en tanto existe un límite en su capacidad de proveer y regenerar los recursos para satisfacer las necesidades humanas (Boulding et al. 1966).

Este concepto surge en contraposición al modelo de economía lineal de producción y consumo, en el que existe una elevada extracción de materias primas, uso intensivo de la energía y generación excesiva de residuos, que constituyen un riesgo para la salud humana y de los ecosistemas. Bajo esta perspectiva, se observa al planeta como un medio infinito de provisión de recursos y cada una de sus fases contribuye a la emisión de contaminantes. Las externalidades negativas de este modelo productivo han incidido en la degradación del planeta e han incrementado la desigualdad y vulnerabilidad de las poblaciones más marginadas.

En el informe *Los límites del crecimiento* se advierte por primera vez sobre las consecuencias de la huella ecológica asociada a los procesos económicos y sobre la capacidad de carga del planeta para regenerarse. No obstante, los autores afirman que es posible

cambiar esa tendencia al alcanzar el equilibrio de los procesos ecológicos con los económicos, sin afectar el principio de que cada persona tenga la oportunidad de satisfacer sus necesidades materiales y garantizar su bienestar individual (Meadows et al., 1972).

En la década de los setentas, el concepto de economía circular cobró relevancia entre los economistas ambientales, entre los que destacan Nicolas Georgescu-Roegan, Herman E. Daly, Crawford Stanley Holling, Christian Leipert, Howard T. Odum y José Manuel Naredo (Castiblanco, 2007). A través de sus planteamientos, estos teóricos promovieron la idea de que el flujo de residuos puede reintegrarse a través de ciclos cerrados de producción (closed-loops) para evitar mayor extracción y disminuir la cantidad de materiales desechados. Más tarde, a principios de los años noventa, David W. Pearce y Kerry Turner explicaron las interdependencias entre el sistema ecológico y el económico a partir de cuatro funciones del ambiente: amenidades, provisión de recursos, vertedero de residuos y emisiones y sistema de soporte de vida (1993). En

términos generales, la economía circular implica tres principios fundamentales (Figura 1):

Figura 1. Principios de la economía circular.



Fuente: Ellen MacArthur Foundation, 2018.

Actualmente, se han retomado las aportaciones de distintas escuelas de pensamiento de la economía ambiental para robustecer la capacidad explicativa del concepto, destacando los beneficios de su

implementación en diversos sectores, a partir de un uso eficiente de los residuos y la energía. Entre los planteamientos más importantes destacan la Ecología Industrial, el modelo *Cradle to Cradle (C2C)*, *Performance economy*, Biomimética y la Economía Azul. A continuación, se explican brevemente cada uno de ellos.

Enfoques

La **ecología industrial** se ha ocupado de estudiar el flujo de materia y energía -metabolismo industrial- en los procesos productivos para diseñar modelos industriales que funcionen de forma similar a los ecosistemas naturales, mediante el cierre de los ciclos metabólicos de producción. Las mejoras en los sistemas de producción surgen de la creación de redes entre industrias que permiten el intercambio de residuos y subproductos útiles para la producción de nuevos bienes (simbiosis industrial). La implementación de energías renovables en los procesos de transformación de los materiales es un elemento crucial. Como resultado, se espera la reducción de los impactos negativos sobre el ambiente y la salud

humana, así como la desmaterialización de la economía.¹ (Cervantes et al. 2009).

El **modelo Cradle to Cradle** propone una forma innovadora de producción de bienes, a través de procesos que garanticen la eco-efectividad, es decir, la obtención de mayores beneficios con menos inversión de materia y energía y, en consecuencia, propiciar la reducción de costos. Bajo esta perspectiva, se busca eliminar el concepto de residuo y sustituirlo por nutrientes (es decir, *inputs* para una nueva fase de producción). Suele utilizarse energía solar u otras fuentes renovables para la operación de esos procesos. La clave central de este modelo consiste en mejorar el diseño y calidad de los productos para que cada uno de sus componentes puedan ser reutilizados sin perder su valor.

Los subproductos recuperados pueden ser de tipo biológico o técnico. Los nutrientes de tipo biológico son productos que, tras cumplir su ciclo de vida, se reintegran a los sistemas naturales de forma segura. Los nutrientes técnicos son materiales artifi-

ciales o sintéticos que son reutilizados en la manufactura de otros productos, eliminando la necesidad de extraer nuevas materias primas de la biosfera (McDonough y Braungart, 2002).

Performance economy es un modelo de bucles cerrados de producción que prioriza el reúso, la reparación y la reconstrucción de los bienes. No solo busca reducir los volúmenes de materia extraída y residuos, sino impactar de forma positiva en la creación de empleos para garantizar la competitividad económica. Para lograrlo, se requiere rediseñar los modelos de negocios para reducir el consumo de materiales en su cadena productiva y transitar de economías de escala a economías de alcance. Los principales objetivos de esta propuesta son extender el ciclo de vida de los productos y avanzar hacia una economía basada en servicios (economía del rendimiento) (Stahel, 2010).

La **biomimétrica** es una disciplina que estudia el funcionamiento de la naturaleza para imitar algunos de sus procesos y así contribuir a la resolución de los problemas sociales y ambientales desde un enfoque innovador. De acuerdo con el Instituto

¹ Supone la reducción de la producción total, mediante la transición de una economía industrializada a una de servicios, en la cual el uso de los productos sea priorizado sobre su venta.

de Biomimétrica, el diseño regenerativo basado en la naturaleza (biomímesis), la circularidad y la sustentabilidad puede contribuir a la creación de productos, tecnologías, procesos y políticas basadas en soluciones eficientes, menos tóxicas y más resilientes (Benyus, 2002).

La **economía azul** es un modelo que propone el funcionamiento de las industrias para generar crecimiento económico, sin degradar el ambiente. Consta de 21 principios en los que considera a la naturaleza y a la sociedad como capital para lograr la producción de bienes y servicios competitivos, a partir de sistemas de provisión y distribución locales, en los que se reduzca la cantidad de materia y energía que fluye por el sistema. Esta perspectiva es promovida por *Zero Emmissions Research and Initiatives (ZERI)*, como una alternativa a la economía verde, que enfatiza la creación de tecnologías para solucionar los problemas ambientales, sin una visión sistémica que incida en el bienestar de las personas y de los ecosistemas (<https://www.theblueeconomy.org/principles.html>).

Economía circular y recursos hídricos

Una gestión lineal de los recursos hídricos contribuye al uso ineficiente y desperdicio del agua, incrementa el uso de materia y energía en las fases de provisión del agua entre los usuarios, aumenta la vulnerabilidad y desigualdad social ante la escasez e incide en la degradación de los ecosistemas acuáticos, entre muchos otros problemas. Los efectos del modelo lineal en los recursos hídricos hacen necesario generar alternativas tecnológicas y de gestión. El modelo circular en torno a los recursos hídricos se presenta como una solución que supone la aplicación de las herramientas socio-técnicas para la solución integral de dichos problemas.

La economía circular se plantea como un modelo alternativo de gestión del agua, no obstante, su implementación depende del soporte institucional, inversión financiera para la innovación tecnológica, cooperación entre actores y sectores clave, y profundas transformaciones socioculturales en torno a los recursos hídricos.

El agua es un recurso crítico que, si bien puede ser considerado como un bien renovable, es alta-

mente vulnerable a presiones provocadas por las sociedades. Con base en la perspectiva de economía circular, es necesario diseñar un sistema de gestión hídrico de bucle cerrado para satisfacer las necesidades humanas sin comprometer la resiliencia de los

ecosistemas relacionados con el agua. De acuerdo con Ellen MacArthur Foundation, los principios de la economía circular pueden implementarse en la gestión de los sistemas de agua (Figura 2).

Figura 2. Principios de la economía circular aplicados a los sistemas de gestión del agua.

Principio 1. Minimizar las externalidades negativas	Reducir la cantidad de energía, minerales y químicos en la operación de los sistemas de agua en relación con otros sistemas.
	Optimizar el uso consuntivo del agua dentro de las subcuencas en relación con otras subcuencas.
	Implementar medidas que arrojen el mismo resultado sin utilizar agua.
Principio 2. Mantener los recursos en uso	Mejorar el manejo de las reservas de distintos recursos (uso y reúso de agua, energía, minerales y químicos) dentro de los sistemas del agua.
	Disminuir el uso de energía y la extracción de recursos en los sistemas de agua y maximizar su reúso.
	Optimizar el valor generado en las interfaces entre los proveedores de servicios de agua y otros sistemas productivos.
Principio 3. Regenerar el capital natural	Maximizar los flujos ambientales al reducir los usos consuntivos y no consuntivos del agua.
	Preservar y mejorar el capital natural (restauración, prevención de la contaminación, calidad de los efluentes, entre otros).
	Asegurar la mínima perturbación a los sistemas naturales acuáticos.

Fuente: Ellen MacArthur Foundation, 2018.

Tabla 2. Aplicación de los enfoques de la economía circular en torno a los recursos hídricos. Elaboración propia.

Escuela	Aplicaciones	Casos de éxito
Ecología Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Intercambio de aguas residuales entre distintos sectores para uso industrial. • Da un nuevo uso a las aguas residuales • Creación de parques eco-industriales para favorecer las sinergias entre organizaciones. 	<p>Hai Hua Group (China) Gujarat Maritime Board (India)</p>
<i>Cradle to Cradle</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Reutilización de las aguas residuales y sus subproductos para la producción de bienes y servicios. • Prevención de la contaminación de los cuerpos de agua (fuentes receptoras de aguas residuales). 	<p>Las Vegas Rock (EUA) Ecover (Bélgica) Mosa (Países Bajos)</p>
<i>Performance Economy</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la huella hídrica de las industrias mediante el uso eficiente del agua y la energía. • El agua como recurso para generar bienes y energía. 	<p>Suez Group (Francia) HydroQuebec (Canadá) DuPont (EUA) Grundfos (Dinamarca)</p>
Biomimétrica	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologías y biotecnologías para el tratamiento del agua. • Producción de energía limpia. • Restauración y conservación de los ecosistemas acuáticos. 	<p>WhalePower corporation (Canadá) The Aquaporin Inside (Dinamarca) Applied Biomimetic (EUA)</p>
Economía Azul	<ul style="list-style-type: none"> • Innovación para reducir el consumo de agua en la producción de nuevos bienes. • Prevención de la degradación y restauración de los ecosistemas marinos, utilizando los residuos para la producción de nuevos bienes. • Generación de un desarrollo sustentable en torno a las regiones costeras. 	<p>Aquion energy (EUA) The Blue Circular Economy (Unión Europea) Adidas + Parley (Alemania-EUA) Qingdao Blue Silicon Valley (China)</p>

Considerando que el agua es un recurso indispensable para garantizar el bienestar de las poblaciones y los ecosistemas, y que su aprovechamiento es la base para promover el crecimiento económico, distintos actores han implementado el enfoque de la economía circular en el diseño de políticas públicas, innovaciones en los procesos productivos, bienes o servicios generados, nuevos modelos de negocio, certificaciones para el uso sostenible del agua, entre otras soluciones.

La Tabla 2 se presentan algunos ejemplos de las aplicaciones de cada enfoque y casos de éxito en su implementación.

Conclusión

El modelo de economía lineal no es compatible con la gestión sustentable de los recursos naturales, en especial, de los recursos hídricos. Los principios de la economía circular plantean una serie de transformaciones y mejoras para reducir las presiones sobre los recursos hídricos derivadas de la producción, consumo y desecho de bienes y servicios. Además, ofrece la oportunidad de mejorar los sistemas de gestión del agua y genera oportunidades de desarrollo que impactan de forma positiva en la sociedad y los ecosistemas. La implementación de estos principios demanda la colaboración entre productores y consumidores, así como de políticas públicas que garanticen un uso eficiente de los materiales y energía. 💧

Fuentes

- Beynus, JM. (2002). *Echoing Nature en Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. Perennial, New York. URL: <https://biomimicry.org/janine-benyus/first-chapter-biomimicry-innovation-inspired-nature/>
- The Blue Economy. *The Blue Economy Principles*. URL: <https://www.theblueeconomy.org/principles.html>
- Boulding, K. Barnett, H. Dubos, R. Duhl, L. Turvey, R. McKean, Kneese, R. Gaffney, M. White, G. Lowenthal, D. Long, N. Beuscher, J. (1966), *Environmental quality in a growing economy: Essays from the sixth RFF forum*, Baltimore, Hopkins, pp. 173.
- Castiblanco, C. (2007). *La economía ecológica: Una disciplina en busca de autor*. *Gestión y Ambiente*, vol. 10, núm. 3. Colombia. Universidad Nacional de Colombia. pp. 7-21.
- Cervantes Torre-Marín, G., Sosa Granados, R., Rodríguez Herrera, G. y Robles Martínez, F. (2009). *Ecología industrial y desarrollo sustentable*. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 13-1, pp. 63-70.
- McDonough, W. y Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: remaking the way we make things*. Nueva York. North Point. pp. 193.
- Meadows, DH. Meadows, DL. Randers, J. Behrens, W. (1972). *Los límites del crecimiento: Informe al club de Roma sobre el predicamento de la humanidad*. México. Fondo de Cultura Económica. pp. 256.
- Ellen MacArthur Foundation. (2018). *Water and Circular Economy*. [White paper]. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/ce100/Water-and-Circular-Economy-White-paper-WIP-2018-04-13.pdf>
- Stahel, W. (2010). *The Performance Economy*. Reino Unido. Palgrave-Macmillan. pp 349.
- Turner, R. K., Pearce, D. W. and Bateman, I. (1993) *Environmental economics: An elementary Introduction*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, pp. 328.

LA ECONOMÍA CIRCULAR EN EL SECTOR HÍDRICO: EXPERIENCIAS DE ÉXITO EN LAS EMPRESAS.

JORGE IVÁN JUÁREZ DEHESA
MAESTRO EN INGENIERÍA, FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM



Introducción

La economía circular es un paradigma que, en los últimos años, ha tomado importancia en la gestión de los recursos hídricos en un gran número de países, como China, Japón, Reino Unido, Países Bajos, Francia, entre otros. Igualmente, empresas como Apple, Unilever, Philips, Renault, por mencionar algunas, han decidido modificar la forma en la que producen ciertos bienes y servicios y en la que se maneja su vida útil (Jouni et al, 2017).

La economía circular supone usar, renovar y reutilizar un bien o servicio, además de utilizar sus sub-productos. En el caso del sector agua, este tipo de

modelos es rentable y puede ser un instrumento para poder alcanzar la seguridad hídrica. En este artículo se establece el concepto de economía circular y se exploran las formas de aplicación en el sector agua.

Desarrollo

La economía circular es un concepto que busca cambiar la forma en la que se producen y consumen los bienes y servicios que oferta y demanda la sociedad. El sistema económico dominante se caracteriza por la generación de productos con una vida útil corta, pero con un alto impacto ambiental, además de seguir un modelo de producción lineal.

Éste empieza con la entrada de materias primas que pueden ser finitas o pertenecer a un ciclo variable de regeneración. Los insumos son convertidos en un bien o en un servicio que es consumido por la población y que genera residuos o desechos, pocas veces sometidos a un tratamiento antes de su disposición final (Figura 1). Así, el modelo lineal considera que los insumos son infinitos y que los desechos no generan afectaciones de ningún tipo.

Figura 1. Modelo de producción lineal

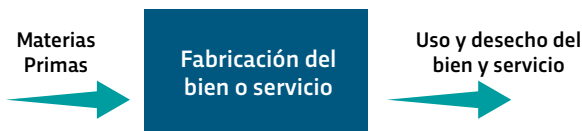


Figura 1 Sistema de Producción Lineal

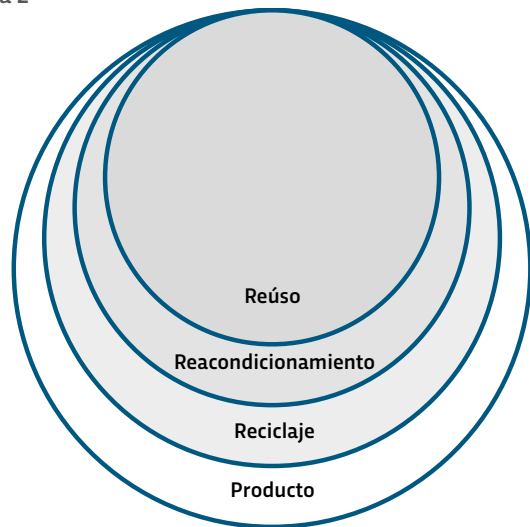
Un ejemplo emblemático del modelo de producción lineal son las bolsas de plástico, pues requieren de unos segundos para ser fabricadas, son utilizados por un par de minutos, pero tardan cientos de años en degradarse. Es evidente que el beneficio de la pro-

ducción y utilización de este bien no es comparable con los costos ecológicos de su disposición.

Para revertir los efectos del modelo lineal, diversas empresas y países han optado por transitar hacia una economía circular. Ésta propone un sistema cíclico multinivel basado en el uso, renovación y reúso del bien o servicio, alargando su vida útil y aminorando el impacto ambiental y económico derivado de su producción y disposición final. La Figura 2 muestra el modelo de producción compuesto por cuatro ciclos. El primero comienza con los insumos básicos o materias primas que pasan por un proceso para convertirlo en un bien o servicio. Éste es consumido y, en lugar de ser desechado, puede tener diversos destinos: 1) ser reciclado como materia prima para la producción de otro bien u otro servicio –segundo ciclo-; 2) ser reacondicionado para ser nuevamente utilizado –tercer ciclo-; o 3) ser utilizado en varias ocasiones sin perder sus propiedades –cuarto ciclo-. De acuerdo con la Comisión Europea (2014), la economía circular tiene el potencial de generar más de 600 mil millo-

nes de euros anuales tan solo en el sector manufacturero de la Unión Europea.

Figura 2



El modelo de economía circular es aplicable también en el sector hidráulico. Tradicionalmente, el sector hídrico se ha centrado en satisfacer las necesidades de una población creciente sin conside-

rar el costo ecológico derivado. Esta política no es sustentable y no garantiza la seguridad hídrica de las presentes y futuras generaciones.

El ciclo urbano del agua en la actualidad se caracteriza por extraer el agua de una fuente de abastecimiento, transportarla a lugares para su cloación y distribución a través de una compleja red de infraestructura que la reparte a los diferentes usuarios. El agua es utilizada y después dispuesta por medio de la red de alcantarillado hasta, finalmente, ser vertida en un río o en un lago que desembocara en el mar. A lo largo de toda la cadena de valor de provisión de servicios de agua potable y saneamiento pueden identificarse oportunidades para implementar estrategias basadas en el modelo de economía circular.

Algunos ejemplos de empresas que emplean el modelo de economía circular en el sector hídrico son:

1. **NECOVERY.** Considerando que en Europa Occidental se recupera, mediante digestión anaerobia, únicamente entre el 20 y 35 por ciento de la energía consumida en el proceso de tratamiento de aguas residuales, la empresa

NECOVERY implementó un nuevo proceso de tratamiento basado en la recuperación de nutrientes y energía mediante procesos de pre-concentración y absorción. Su tecnología permite obtener energía por el biogás generado en los procesos de oxidación de la materia orgánica presente en el agua residual, mientras que los biosólidos son empleados en la agricultura para sustituir a los fertilizantes y aumentar la productividad de los cultivos como resultado de la gran concentración de nutrientes.

2. **Eole Water's.** La empresa desarrolló un prototipo de turbina con potencial para abastecer de agua a las zonas desérticas o semidesérticas al extraer el agua del aire. El prototipo consta de una torre de 34 metros de altura con un rotor de 13 metros de diámetro cuyo potencial de generación de energía es de 30 kW a una velocidad de viento de 24 km/h. El aire aspirado por la turbina llega a un generador y un compresor en donde se condensa el agua contenida en la humedad del aire; el líquido

se almacena en un depósito situado en la base de la turbina. Esta tecnología ha demostrado una producción de hasta 1,000 litros por día (Leite E,2012).

3. **Renault.** En la planta automotriz de Flin, Francia, la empresa desarrolla un amplio número de iniciativas bajo el enfoque de economía circular. Son pioneros en la integración de materiales reciclados en sus vehículos nuevos, además de que extienden la vida útil de sus productos como el motor, transmisiones y otros componentes que son reacondicionados y vendidos como refacciones. Además, realiza acuerdos con los proveedores de materias primas para que reciclen los materiales de los automóviles que ya cumplieron con su vida útil. Las baterías de sus coches eléctricos tienen también una segunda vida. De acuerdo con la empresa francesa, estas acciones se ha alcanzado un reciclaje del 85 por ciento de las materias primas y se han reducido en un 80 por ciento el uso de energía y en un 90 por ciento el consumo de agua (RENAULT, s.f.).

4. **Audi México.** La empresa busca la maximización y conservación de los recursos naturales mediante la implementación del sistema de gestión ambiental ISO 14001:2015. Entre las estrategias de economía circular en el sector hídrico empleadas por la empresa automotriz se cuentan la construcción de 25,000 fosas ciegas para recarga del acuífero, en el poblado de San José Ozumba, el desarrollo de una laguna para la captación de agua de lluvia con una superficie de 7 hectáreas y con un volumen de almacenamiento de 175,000 metros cúbicos. Esta última acción permite satisfacer la demanda de 100,000 metros cúbicos de la central y sustituir la extracción del agua de los pozos. Finalmente, el agua utilizada en sus procesos industriales y sanitarios es tratada en una planta biológica que se encuentra en las mismas instalaciones, favoreciendo su reincorporación en los procesos productivos (Audi, s.f.).

Los ejemplos anteriores son muestra de que el modelo de economía circular tiene oportunidades

de crecimiento en el sector hídrico, sin embargo, se requiere de la participación coordinada de todos los actores interesados para aumentar sus beneficios. Resulta indispensable que los pocos planes y acuerdos alcanzados sean puestos en marcha, ello requerirá de reformular el sistema fiscal para premiar a los actores que asuman estrategias basadas en la economía circular y desincentivar el empleo del modelo lineal de producción.

Conclusiones

La economía circular es un enfoque que favorece el uso sostenible de los recursos naturales y que ha sido ampliamente incorporado por diversos actores como alternativa al modelo de producción y consumo lineal. El sector empresarial ha sido pionero en la incorporación de estas iniciativas pues les ha permitido maximizar sus beneficios económicos al mismo tiempo que se reduce su impacto en el ambiente y se mejora su imagen frente a los consumidores de sus bienes y servicios.

El potencial de la economía circular en el sector hidráulico es amplio, como lo demuestran los

ejemplos analizados. Pueden encontrarse acciones puntuales en cada una de las etapas de la cadena de producción, consumo y depósito de materiales y energía, sin embargo, la incorporación de estas tecnologías es limitado, ya que muchas de ellas se encuentran todavía en prototipo. Además, resulta necesario formular una política pública para hacer de la economía circular uno de los ejes del desarrollo sostenible. 💧

Bibliografía consultada

Audi, (s.f.). Sustentabilidad: Medio Ambiente. Mexico: Protección del Medio ambiente en toda la empresa. Recuperado de <http://www.audi.com.mx/mx/web/es/audi-en-mexico/sustentabilidad/medio-ambiente.html>

Comisión Europea (2015). Closing the loop—An EU Action Plan for the Circular Economy, Communication From the Commission to the European Parliament. The Council. The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions

Renault (s.f). Commitments: Environment. Francia: Through its environmental policy, Groupe Renault acts to preserve biodiversity. Recuperado de https://group.renault.com/wp-content/uploads/2018/08/biodiversity-policy-groupe-renault_en.pdf

Korhonen, Honkasalo y Seppälä (2017). Circular Economy: The Concept and its Limitations, *Ecological Economics*. pp 37-46

Leite, E. (2012). Crean una turbina de energía eólica que convierte el aire en agua. *Tendencia21*. Recuperado de https://www.tendencias21.net/Crean-una-turbina-de-energia-eolica-que-convierte-el-aire-en-agua_a11297.html

NECOVERY, (s.f.). Las EDAR del futuro: de centros de alto consumo energético a centros de recuperación de recursos. Recuperado de <http://www.life-necoverly.eu/?lang=es>

Silva y Luiz (2019). La reutilización del agua en el ámbito de la economía circular y sostenibilidad, *revista chilena de derecho y ciencias políticas*, Vol. 10. N° 2, pp. 155-172

CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA CONSUMO DOMÉSTICO: ¿UNA OPCIÓN PARA LOCALIDADES SIN SUMINISTRO POR RED?

DRA. MONTSERRAT ILIANA GÓMEZ-VALDEZ,
ilianagomezv@gmail.com
M.C. ELÍ GAISKA SALOMÓN-GUZMÁN,
salomon.eli@colpos.mx
DRA. JACINTA PALERM-VIQUEIRA,
COLEGIO DE POSTGRADUADOS,
jacinta.palerm@gmail.com

Resumen

Las políticas públicas contemporáneas en México sugieren que la captación de agua de lluvia sobre el techo de las viviendas puede solucionar el problema de escasez de agua para uso doméstico.

En este trabajo se presenta evidencia basada en la implementación de cuatro metodologías para medir la efectividad de satisfacer la demanda de una familia bajo los siguientes supuestos: cinco habitantes, consumo diario de 50 litros *per cápita*, 50 m² de superficie de captación y precipitación media anual

de 618.5 mm. Se comparan también las ventajas de contar con cisternas de almacenamiento secundario abastecidas por camiones cisterna ante el tandeo de agua.

Palabras clave: captación de agua de lluvia, consumo doméstico de agua de lluvia, camiones cisterna.

Introducción

La captación de agua de lluvia es una de las metodologías más consolidadas dentro de la economía circular, ya que puede ser empleada como fuente de abastecimiento para las ciudades, a pesar de ser un tema polémico. En el imaginario colectivo "...a



todo mundo le suena bien [la captación de agua de lluvia], y es que hay en todo esto una especie de ilusión óptica... cuando llueve mucho pues es un montón de agua y se inunda por aquí y por allá, y eso genera la sensación de que hay muchísima agua que se podría aprovechar” (Capella-Vizcaíno, 2012). No obstante, se requieren análisis más precisos sobre sus beneficios a diferentes escalas.

La captación de agua de lluvia cumple una función sustantiva para las familias cuando se enfatiza en el almacenamiento secundario y se depende de agua de pipa. En estos casos, la cisterna, aljibe o algún otro tipo de almacenamiento de por lo menos unos 5,000 o 10,000 litros, permite la compra de agua en mayoreo, evitando la compra a menudeo, la cual resulta hasta 300% más costosa (Gómez-Valdez & Palerm-Viqueira, 2017). Dicho diferencial permitiría, en un año, pagar la inversión en el almacenamiento secundario.

Con base en los precios obtenidos para el oriente del Valle de Texcoco (Gómez-Valdez & Palerm-Viqueira, 2017), con consumos de 50 litros *per cápita* y para una familia de 5 integrantes, el

diferencial entre agua a mayoreo (\$0.04 pesos por litro) y agua a menudeo (\$0.13 pesos por litro) asciende, en un año, a \$8,212.5 pesos. Esta cantidad es suficiente para comprar una cisterna plástica de 5,000 litros.

El ahorro por la compra de agua de pipa es también una posibilidad, aunque con alcances limitados. El uso de agua captada en el techo evita comprar, en el mejor de los casos, hasta 24,740 litros que, en precios del oriente del Valle de Texcoco, son \$989.6 pesos a mayoreo y \$3,216.2 a menudeo. El precio del agua, además de variar significativamente por su venta al menudeo y mayoreo, depende de la distancia que debe recorrer la pipa desde la fuente hasta el consumidor (Gómez-Valdez & Palerm-Viqueira, 2017).

La captación de agua de lluvia en el techo de las viviendas es promovida como fuente complementaria de abasto para el uso doméstico en la Ciudad de México por organizaciones sociales (Isla Urbana, 2019) y el propio gobierno (El Economista, 2019). De hecho, el gobierno capitalino planea invertir 200

millones de pesos en la instalación de este tipo de tecnologías (Gobierno de la Ciudad de México, 2019).

De acuerdo con algunos medios digitales, los sistemas de captación instalados en la capital abastecen a una familia de cinco miembros entre 5 y 12 meses (El Economista, 2019; 20 minutos, 2019; SDP noticias, 2018; Newsweek México, 2018; Noticieros Televisa, 2018). Sin embargo, esta información contrasta con los resultados obtenidos por Gómez-Valdez & Palerm-Viqueira (2017), quienes analizaron los volúmenes de captación en techos de 50 m² para familias de 5 miembros. Considerando un consumo de 50 litros *per cápita*, aproximadamente, el volumen captado es capaz de suministrar entre 50 y 100 días, dependiendo las variaciones en el cálculo, con la precipitación típica del Valle de México.

Otra opción de captación de agua de lluvia es la de gran escala. Esta estrategia se emplea en lugares de muy baja precipitación para llenar los llamados jagüeyes o aljibes, cuyo uso está en declive como consecuencia del uso de agua de pozo. Ejemplos de este tipo se encuentran en Rajastán, India (Agarwal

& Narain, 1997; Agarwal, Narain, & Khurana, 1999) y en Murcia, España (Albaladejo-García & Gómez Espín, 2015; Férrez-Martínez, 2011).

Es importante destacar que el agua obtenida mediante la captación de agua de lluvia en techo funciona para uso inmediato y su disponibilidad suele ser menor a la demanda, por lo que la presión sobre el abasto continúa presentándose en la época de estiaje, de junio a septiembre.

Consideraciones importantes en la captación de agua de lluvia

Consumo *per cápita*

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2010), son necesarios entre 50 y 100 litros de agua por persona al día para garantizar que se satisfacen las necesidades básicas y que no surjan amenazas para la salud (Gleick, 1996). Este rango se define como *acceso intermedio al agua* y considera la higiene básica, la satisfacción de necesidades de consumo, el baño y la lavandería en el sitio (Howard & Bartram, 2003). Las cantidades defini-

das han sido reconocidos por la Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal (2017). A pesar de la existencia de este rango, es necesario destacar que el consumo doméstico de agua es muy variable, pues considera desde cantidades mínimas para la supervivencia hasta consumos suntuarios.

Los datos de consumo real obtenidos por Gómez-Valdez y Palerm-Viqueira (2017) para la región del valle de México, así como las propuestas de la OMS de rango de acceso aceptable son la base de los cálculos presentados en este documento, que suponen un consumo de agua austero de 50 litros *per cápita*.

Tamaño del techo de la vivienda empleado para captar agua de lluvia

Otro de los factores que afecta directamente el volumen a captar es el tamaño o dimensiones del techo de la vivienda, ya que, a mayor superficie, mayor volumen potencial de captación de agua de lluvia.

Algunos autores (Anaya-Garduño, 2010 & Isla Urbana, 2019) contemplan datos de superficies que exceden las dimensiones de los techos de las casas

unifamiliares para ajustarlo al consumo deseado de agua, sin embargo, la modificación de la superficie del techo no es sencilla y puede llevar a un aumento considerable en la oferta potencial.

Según datos de la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI, 2017) y del Registro Único de Vivienda (RUV), las dimensiones de los techos de casas unifamiliares suelen contar, en promedio, con 50 m², que es la superficie media de construcción para una vivienda denominada como popular (Rodríguez-Zamora & Morales-Ramírez, 2018).

Dato de precipitación pluvial

El uso de la precipitación normal mensual como dato para el cálculo de captación de agua de lluvia suele ser el factor más importante a tomar en cuenta, porque de éste depende la cantidad potencial de agua de lluvia a captar.

La precipitación, medida en milímetros (mm), varía a lo largo del año y de un año a otro, por lo que se emplea el dato denominado *precipitación normal mensual*, es decir, el promedio de observaciones de una serie de años anteriores. Este dato supone

que todos los días del mes existirá idéntica precipitación, lo que podría suponer errores de cálculo y de gestión del recurso en temporadas de estiaje.

Coefficiente de escurrimiento

Es la relación entre la escorrentía y la precipitación sobre un periodo de tiempo. Estos coeficientes se aplican comúnmente a precipitación y escorrentía de una tormenta, pero también pueden utilizarse para información de precipitación y caudales mensuales o anuales (Chow, Maidment & Mays, 1988). En síntesis, se trata de la porción de lluvia que puede llegar a escurrir, o que puede ser captada, con respecto al total de la lluvia. Por ejemplo, si llueven 100 mm en un día sobre un techo de lámina corrugada, es posible captar sólo 80 mm, es decir, que el coeficiente de escurrimiento corresponde a 0.80, lo que implica una merma del 20%.

El coeficiente de escurrimiento se relaciona de manera directa con el tipo de material sobre el que se quiera realizar la captación de agua de lluvia. La Secretaría de Economía (2013) ha definido los coeficientes de escurrimiento para diversos tipos de materiales (Tabla 1).

ficientes de escurrimiento para diversos tipos de materiales (Tabla 1).

Coefficiente de escurrimiento por tipo de material.

Material o tipo de construcción	Kc
Cubiertas metálicas o plásticas	0.95
Techos impermeabilizados o cubiertos con materiales duros	0.90
Concreto hidráulico	0.90
Calles asfaltadas	0.85
Lámina corrugada	0.80
Adoquinado o empedrado con cemento	0.75
Terrazas	0.60
Adoquín sin juntear	0.60
Terracerías	0.40

Fuente: Secretaría de Economía, 2013

Los cálculos de este documento emplean el coeficiente de escurrimiento de lámina corrugada (0.80).

Metodología

En este documento se entiende por captación de agua de lluvia todo tipo de esfuerzo técnico, simple o complejo, para conducir y almacenar el agua de lluvia, de tal manera que pueda ser utilizada. Cada tipo de superficie receptora presenta una capacidad de infiltración y de retención del agua. Cualquier técnica utilizada para aumentar la cantidad de agua conducida y retenida puede ser considerada como captación de agua de lluvia, independientemente del uso que se le otorgue.

La investigación asume que la captación consiste en el techo de la vivienda.

Es prudente mencionar que las metodologías para el cálculo de la captación de agua de lluvia, en cuestión de volumen a almacenar, parten de la premisa de que 1 mm de lluvia sobre 1m² de techo de vivienda produce 1 litro de agua. De ahí que, dependiendo la metodología empleada, merma la capacidad de captación mediante la aplicación de un coeficiente de escurrimiento o un *coeficiente de aprovechamiento/captación*, usualmente de 0.85, o del producto de ambos.

Metodologías para calcular la cantidad de agua pluvial potencial de captación

Metodología de la Organización Panamericana de la Salud (OPS)

En la guía para el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia, la OPS (2004) indica que es necesario determinar la precipitación promedio mensual a partir de los datos promedio mensuales de precipitación de los últimos 10 o 15 años. Se obtiene el valor promedio mensual del total de años evaluados aplicando la Ecuación (1).

$$Pp_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} p_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

n: número de años evaluados.

pi: valor de precipitación mensual del mes “i” (mm).

Ppi: precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados (mm/mes).

Esta metodología es empleada también por el *Programa Nacional para Captación de Agua de Llu-*

via y Ecotecnias en Zonas Rurales (PROCAPTAR) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2006 y 2017). Este valor puede ser expresado en mm/mes, litros/m²/mes, capaz de ser recolectado en la superficie horizontal del techo.

Metodología del Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI-CP)
El CIDECALLI (Anaya-Garduño, 2010, p. 9), emplea las siguientes Ecuaciones (2 y 3) para determinar el volumen potencial de captación de agua de lluvia.

$$PN = P * \eta \text{ captación} \quad (2)$$

$$\eta \text{ captación} = Ce * Fapro \quad (3)$$

Donde:

PN: precipitación neta (mm).

P: precipitación (mm).

Fapro: factor de aprovechamiento del agua de lluvia (0.85).

Ce: coeficiente de escurrimiento.

Cuando las precipitaciones medias mensuales son menores de 40 o 50 mm y de baja intensidad (mm/hr), se recomienda no considerarlas, sobre todo si se presentan durante las épocas secas, ya que la cantidad y calidad del agua de lluvia no será almacenada.

Fórmula empleada por Palacio (2010)

El volumen potencial de agua de lluvia a captar se obtiene al multiplicar la precipitación promedio, el coeficiente de escorrentía y el área a captar. Adicionalmente se estima un porcentaje del 20% anual en pérdidas debidas a la evaporación, y a la misma captación y recolección del agua (Abdulla & Al-Shareef, 2006) por lo tanto, la oferta total se obtiene a partir de las siguientes Ecuaciones (4 y 5).

$$Ai = \frac{Pp_i * Ce * Ac}{1000} \quad (4)$$

$$A'i = Ai - \left(Ai * \frac{0.2}{12} \right) \quad (5)$$

Donde:

Ppi: Precipitación promedio (mm).

Ce: Coeficiente de escurrimiento (adimensional).

Ac: Área de captación (m²).

Ai: Volumen parcial de captación de agua de lluvia (m³).

A'i: Volumen total de captación de agua de lluvia (m³).

0.2: Pérdidas por evaporación, captación y recolección (adimensional).

12: Número de meses del año.

Metodología empleada por Isla Urbana

El cálculo de oferta de agua de lluvia básico consiste en multiplicar la precipitación media de la temporada de lluvias de la zona –junio a septiembre–, por el área de captación y por un factor de aprovechamiento de 0.85 (Isla Urbana, 2016). Véase ecuación (6).

$$O_{\text{agua}} = Ppi * Ac * Fa \quad (6)$$

Donde:

O_{agua}: Oferta de agua mensual de los meses de lluvia (junio-septiembre)

Pp_i: Precipitación media mensual (mm).

Ac: Área de captación (m²).

Fa: Factor de aprovechamiento 0.85 (adimensional).

Caso práctico

Para conocer los resultados de cada método y realizar un comparativo entre ellos, se utilizaron los datos del Valle de Texcoco con la normal climatológica reportada para la estación 15170 Chapingo (DGE), ubicada en el municipio de Texcoco, en el Estado de México en las coordenadas 19°29'04.9" de latitud norte y 98°53'11.04" de longitud oeste para el periodo 1951-2010 (Servicio Meteorológico Nacional, 2016).

Se considera que la precipitación en otras regiones del Valle de México es aproximadamente la misma. Los datos de precipitación media mensual se presentan en la Tabla 2.

Precipitación media mensual de 1951 a 2010.

Mes	Pp. Normal 1951-2010 (mm)
Enero	12.1
Febrero	7.7
Marzo	14.5
Abril	30.3
Mayo	54.2
Junio	104.8
Julio	125.5
Agosto	114.1
Septiembre	91.5
Octubre	46.2
Noviembre	11.9
Diciembre	5.7
Total	618.5

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

Con los datos del Tabla 2, se realizó la presentación de la distribución de las lluvias para el periodo de la normal climatológica que comprende el periodo 1951-2010, Véase Figura 1.

Representación de la distribución de la precipitación anual.



Fuente: Elaboración propia con datos del SMN.

La Figura 1, indica que, a partir del mes de junio y hasta el mes de septiembre, se concentra el 70% de lluvia del año.

Resultados

Para cada metodología de cálculo se emplearon las siguientes variables:

- Precipitación media mensual.
- Número de usuarios (5 usuarios).
- Litros de agua *per cápita* (50 litros).
- Superficie de captación (50 m²).
- Coeficiente de escorrentía (0.80).

- Factor o coeficiente de aprovechamiento (0.85).

Si bien las distintas metodologías son relativamente sencillas de ejecutar, debe tenerse en cuenta algunas consideraciones particulares. Por ejemplo, la precipitación media es considerada por algunas metodologías para todo el año (OPS y Palacio), mientras que otras emplean únicamente la temporada de lluvias (Isla Urbana); además, el CIDECALLI-CP condiciona los resultados al uso de la selección de precipitaciones medias mensuales mayores a 40 mm. En este sentido, resulta conveniente optar por la metodología que permita excluir errores de sobredimensión.

A continuación, se presentan los resultados de aplicación de las distintas metodologías. Véase Tabla 3.

Volumen de captación de agua de lluvia en 50 m².

Mes	Precipitación (mm)	OPS	Palacio	Isla Urbana	CIDECALLI-CP
Enero	12.1	484.0	475.9	-	-
Febrero	7.7	308.0	302.9	-	-
Marzo	14.5	580.0	570.3	-	-
Abril	30.3	1,212.0	1,191.8	-	-
Mayo	54.2	2,168.0	2,131.9	-	1,842.8
Junio	104.8	4,192.0	4,122.1	4,454.0	3,563.2
Julio	125.5	5,020.0	4,936.3	5,333.8	4,267.0
Agosto	114.1	4,564.0	4,487.9	4,849.3	3,879.4
Septiembre	91.5	3,660.0	3,599.0	3,888.8	3,111.0
Octubre	46.2	1,848.0	1,817.2	-	1,570.8
Noviembre	11.9	476.0	468.1	-	-
Diciembre	5.7	228.0	224.2	-	-
Total	618.5	24,740.0	24,327.7	18,525.8	18,234.2

Fuente: Elaboración propia con datos del SMN.

La Tabla 4 muestra diferencias en la disponibilidad de consumo de agua por persona al emplear las distintas metodologías. Estos resultados se basan en el supuesto de que toda el agua de lluvia de un año se acumula y se utiliza en el siguiente año.

Por otra parte, la Tabla 5 presenta la disminución de la capacidad de abasto como consecuencia del aumento del consumo de 50 a 100 litros diarios *per cápita*.

Litros diarios por persona a nivel mensual con las distintas metodologías empleadas.

METODOLOGÍA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OPS	3.12	2.20	3.74	8.08	13.99	27.95	32.39	29.45	24.40	11.92	3.17	1.47
CIDECALLI-CP	0.00	0.00	0.00	0.00	9.51	19.00	22.02	20.02	16.59	8.11	0.00	0.00
PALACIO	3.07	2.16	3.68	7.95	13.75	27.48	31.85	28.95	23.99	11.72	3.12	1.45
ISLA URBANA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.69	34.41	31.29	25.93	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia con datos del SMN.

Oferta vs demanda para un consumo *per cápita* de 50 y 100 litros.

METODOLOGÍA	OFERTA	50 l/día/persona			100 l/día/persona		
		DEMANDA	% ABASTO	DÍAS ABASTO	DEMANDA	% ABASTO	DÍAS ABASTO
CIDECALLI-CP	18,234.2	91,250.0	16%	58.4	182,500.0	8%	29.2
ISLA URBANA	18,525.8	91,250.0	20%	74.1	182,500.0	10%	37.1
PALACIO	24,327.7	91,250.0	27%	97.3	182,500.0	13%	48.7
OPS	24,740.0	91,250.0	27%	99.0	182,500.0	14%	49.5

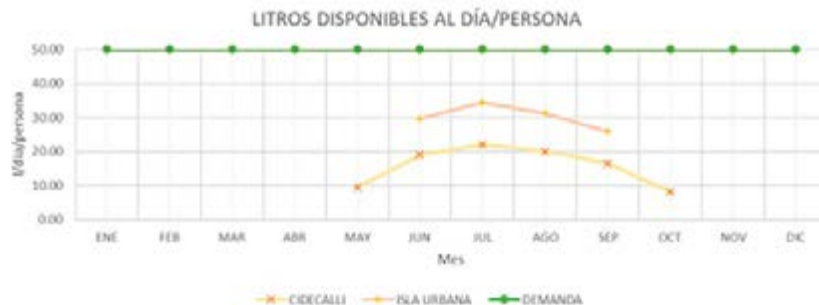
Fuente: Elaboración propia con datos del SMN.

Análisis

Los resultados se ordenaron en dos grupos. Por un lado, las metodologías de Isla Urbana y del CIDECALLI-CP (Véase Figura 2), que asumen la captación pluvial en los meses de junio-septiembre y mayo a octubre, respectivamente; y por el otro, las de OPS y de Palacio (Véase Figura 3), que sugieren captación de agua de lluvia durante todo el año.

Se observa que la metodología del CIDECALLI-CP afecta sus resultados por el coeficiente de escurrimiento, así como por un factor de aprovechamiento de 0.85. Por su parte, Isla Urbana solo realiza la afección por coeficiente de aprovechamiento, también de 0.85.

Litros diarios por persona a nivel mensual contra la demanda (metodologías Isla Urbana/CIDECALLI-CP).



Fuente: Elaboración propia con datos del SMN.

Litros diarios por persona a nivel mensual contra la demanda (metodologías OPS/Palacio).



Fuente: Elaboración propia con datos del SMN.

Los resultados obtenidos por las metodologías empleadas por la OPS y por Palacio presentan resultados similares. En ambos casos utilizan la precipitación anual como dato principal de cálculo y, por ende, la captación de agua de lluvia durante todo el año. La diferencia entre ambas radica en que la metodología empleada por la OPS realiza una merma de la precipitación únicamente por el coeficiente de escurrimiento, mientras que Palacio añade pérdidas por evaporación, captación y recolección.

Con un consumo de 50 litros *per cápita* en una familia de 5 integrantes, la familia consume 91,250 litros por año. El Cuadro 9 compara la oferta por captación de agua de lluvia con la demanda por familia.

Por otra parte, la Figura 4 presenta los escenarios anuales de consumo *per cápita* asumiendo 50 l/día/persona, mientras que la Figura 5 supone un consumo de 100 l/día/persona.

Las cuatro metodologías empleadas para la determinación del volumen potencial de captación de agua de lluvia (Véase Figura 4) presentan resultados diferentes entre sí, excepto la metodología empleada por la OPS y Palacio, ya que ambas obtie-

nen un valor cercano al 27% de abastecimiento de la demanda anual. La metodología de Isla Urbana arroja un abastecimiento del 20%, en tanto que la metodología del CIDECALLI-CP alcanza únicamente un 16%.

Se aprecia que los volúmenes de abastecimiento ofertados por las distintas metodologías disminuyen de manera proporcional al aumentar el consumo *per cápita* de 50 a 100 litros por persona por día. La disponibilidad de agua de lluvia captada en 50 m² varía entre los 58 días, empleando metodología del CIDECALLI-CP, y 99 días, empleando la metodología de la Organización Panamericana de la Salud.

Conclusiones

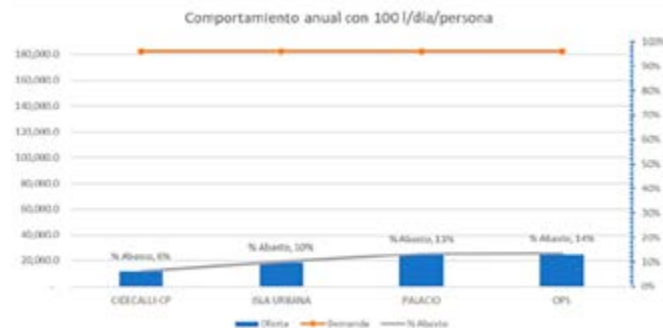
La captación de agua de lluvia en el Valle de Texcoco, en espacios de 50 m², para abastecer con 50 litros por día a una persona, tiene posibilidad de cubrir el consumo por entre 58 y 99 días. La variación resulta de la inclusión o no de las lluvias esporádicas fuera de la temporada de lluvias y del coeficiente de escurrimiento. Considerando que la precipitación varía día a día, no es posible depen-

Comportamiento anual de la oferta vs demanda con 50 litros al día por persona.



Fuente: Elaboración propia con datos del SMN.

Comportamiento anual de la oferta vs demanda con 100 litros al día por persona.



Fuente: Elaboración propia con datos del SMN.

der del sistema de captación de agua de lluvia como única fuente de abasto.

La instalación de cisternas permite a la familia contar con un reservorio para sortear el tandeo de agua de red, acceder al precio por mayoreo del servicio de agua de pipa y sortear los dos o tres meses de estiaje. El análisis realizado demuestra que el manejo de los datos puede resultar en un sobredimensionamiento de la captación de agua de lluvia

en la solución del abasto doméstico de agua. Si bien se ha demostrado el volumen de agua de lluvia captado no puede satisfacer las demandas más allá de entre 58 y 99 días, los sistemas de captación de agua de lluvia podrían contribuir a disminuir la presión sobre otros cuerpos de agua, especialmente el agua subterránea. Como tema para la implementación de políticas públicas relacionadas con la economía circular, el aprovechamiento del agua de lluvia

requiere estudios de caso que evidencien la posibilidad de presentar beneficios al corto y mediano plazo en cuanto al volumen de agua a disponer, así como bajo qué condiciones éstos beneficios se pueden alcanzar. 💧

Referencias

- 20 minutos. (2019, marzo 13). Inicia registro de solicitudes para programa de cosecha de agua. *20 minutos*. Periódico digital. Recuperado marzo 3, 2019, a partir de <https://www.20minutos.com.mx/noticia/491685/0/inicia-registro-de-solicitudes-para-programa-de-cosecha-de-agua/>
- Abdulla, F. A., & Al-Shareef, A. W. (2006). Assessment of rainwater roof harvesting systems for household water supply in Jordan. (P. Hlavinek, T. Kukharchyk, J. Marsalek, & I. Mahrikova, Eds.) *Springer, Dordrecht*, NATO Security through Science Series, (Integrated Urban Water Resources Management).
- Agarwal, A., & Narain, S. (Eds.). (1997). *Dying Wisdom. Rise, fall and potential of India's traditional water harvesting systems* (1ra ed.). New Delhi, India: Centre for Science and Environment.
- Agarwal, A., Narain, S., & Khurana, I. (Eds.). (1999). *Making Water Everybody's Business. Practice and policy of water harvesting* (1ra ed.). New Delhi, India: Centre for Science and Environment.
- Albaladejo-García, J. A., & Gómez Espín, J. M. (2015). Aprovechamientos tradicionales de agua en los relieves septentrionales de las sierras de Carrascoy y del Puerto (término municipal de Murcia). *Norba. Revista de Geografía*, 12(Aprovechamientos tradicionales), 73–96.
- Anaya-Garduño, M. (2010). AUMENTO DE LA OFERTA HÍDRICA. *CAPITULO II CAPTACION O COSECHA DE AGUA DE LLUVIA DISEÑO DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA* (1a ed., p. 179). República Dominicana: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI).
- Capella-Vizcaíno, A. (2012). Principales retos del sistema de aguas de la Ciudad de México. *El gran reto del agua en la ciudad de México. Pasado, presente y perspectivas de solución para una de las ciudades más complejas del mundo*. (1a ed., p. 192). México: Sistema de Aguas de la Ciudad de México. Recuperado a partir de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2013/02/El-gran-reto-del-agua-en-la-Ciudad-de-Mexico.pdf>

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Hidrología aplicada* (1a ed.). Colombia: McGraw-Hill.

Comisión de Derechos Humanos en el Distrito Federal (CDHDF). (2017). *Reporte en el marco del encuentro con el Relator Especial sobre el Derecho Humano al Agua potable y saneamiento Ciudad de México, 4 de mayo de 2017* (1a ed.). Ciudad de México. Recuperado marzo 12, 2019, a partir de <https://cdhdf.org.mx>

Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI). (2017). *Código de Edificación de Vivienda* (3a ed.). México: Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). Recuperado marzo 18, 2019, a partir de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/320345/CEV_2017__FINAL_.pdf

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2016). Lineamientos técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Recuperado a partir de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152777/LINEAMIENTOS_TRATAMIENTO_AGUAS_NIVEL_VIVIENDA.pdf

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2017, enero 31). Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotec-

nias en Zonas Rurales (PROCAPTAR). Recuperado enero 31, 2019, a partir de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-nacional-para-captacion-de-agua-de-lluvia-y-ecotecnias-en-zonas-rurales-procaptar>

El Economista. (2019, enero 18). Gobierno de la CDMX presenta programa para captar agua pluvial en viviendas. *El Economista*. Periódico digital, . Recuperado marzo 3, 2019, a partir de <https://www.eleconomista.com.mx/politica/Gobierno-de-la-CDMX-presenta-programa-para-captar-agua-pluvial-en-viviendas--20190118-0051.html>

Férez-Martínez, M. (2011). *El acopio del agua de lluvia en la cuenca del Mar Menor (región Murcia)*. Universidad de Murcia, Murcia, España.

Gleick, P. H. (1996). Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs. *Water International*, 21(2), 83–92.

Gobierno de la Ciudad de México. (2019). *Captación de Agua de Lluvia en Viviendas de la Ciudad de México*. PDF, . Recuperado marzo 12, 2019, a partir de <https://www.cdmx.gob.mx/storage/app/media/uploaded-files/presentacion-programa-captacion-agua-lluvia-viviendas.pdf>

Gómez-Valdez, Monserrat Iliana, & Palerm-Viqueira, J. (2017). Consumo austero de agua en colonias peri-urbanas abastecidas por pipas en el valle de Texcoco (México). *Agua y Territorio*, 9, 118–125.

Gómez-Valdez, Montserrat Iliana, & Palerm-Viqueira, J. (2014, octubre). Agua va: Abastecimiento de agua potable en México por medio de pipas. *III Congreso Internacional de Investigación Social 2014 y IV Reunión Nacional de Estudios sobre Poblaciones Indígenas*. Ponencia, .

Howard, G., & Bartram, J. (2003). *Domestic Water Quantity, Service Level and Health* (1a ed.). Geneva, Switzerland: World Health Organization. Recuperado marzo 13, 2019, a partir de https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf

Isla Urbana. (2016). Sistema de captación de lluvia PUMA UNAM. Recuperado a partir de www.islaurbana.org

Isla Urbana. (2019). Isla Urbana. *Isla Urbana*. Empresa, . Recuperado marzo 3, 2019, a partir de <http://islaurbana.mx>

Newsweek México. (2018, octubre 14). Cosechar agua de lluvia: Solución para la escasez. *Newsweek México*. Periódico digi-

tal, . Recuperado marzo 3, 2019, a partir de <https://newsweekspanol.com/2018/10/cosechar-agua-lluvia-escasez/>

Noticieros Televisa. (2018, octubre 24). Captar agua de lluvia, esperanza en medio de la escasez en CDMX. *Televisa.News*. Periódico digital, . Recuperado marzo 3, 2019, a partir de <https://noticieros.televisa.com/historia/captar-agua-lluvia-esperanza-escasez-cdmx/>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2010). *El derecho humano al agua y al saneamiento*. Nota para los medios (1a ed.). Recuperado marzo 12, 2019, a partir de http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_spa.pdf

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2004). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia* (1a ed.). Lima, Perú: Organización Mundial de la Salud (OMS). Recuperado a partir de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/cd47/lluvia.pdf>

Palacio-Castañeda, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. *Gestión y Ambiente*, 13, 25–40.

Rodríguez-Zamora, C., & Morales-Ramírez, A. (2018). La Duración en el Mercado de Vivienda Nueva en México. *Banco de México, 2018–08*(Working Papers), 36.

SDP noticias. (2018, noviembre 2). Proponen cosecha de lluvia para resolver escasez de agua e inundaciones en CDMX. *SDP noticias*. Periódico digital, . Recuperado marzo 3, 2019, a partir de <https://www.sdpnoticias.com/local/ciudad-de-mexico/2018/11/02/proponen-cosecha-de-lluvia-para-resolver-escasez-de-agua-e-inundaciones-en-cdmx>

Secretaría de Economía. (2013). Edificación sustentable - criterios y requerimientos ambientales mínimos. Apéndice Informativo 9. Metodología para el cálculo del agua de lluvia susceptible de ser captada en la edificación (p. 158). Recuperado a partir de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3156.pdf>

Servicio Meteorológico Nacional. (2016). Normales climatológicas por estado. Institucional-CONAGUA, . Recuperado enero 12, 2016, a partir de <http://smn.cna.gob.mx/es/component/content/article?id=42>



Impluvium

Participa en el próximo número dedicado al tema:

Crisis climática y recursos hídricos

Tienes hasta el 8 de Marzo del 2020 para enviar tu colaboración.

Consulta los detalles en:
www.agua.unam.mx/impluvium.html

Lineaminetos

1. La contribución debe ser un texto de corte académico, por lo que no debe personalizarse.
2. Los trabajos deben contener: título, nombre del autor o autores y su institución de adscripción, resumen (de hasta 150 palabras), introducción, desarrollo, conclusiones y bibliografía consultada.
3. Las contribuciones deberán entregarse en formato de procesador de textos Microsoft Word, con letra Arial de 12 puntos e interlineado doble.
4. Los textos no deberán exceder 1,700 palabras, incluyendo la bibliografía.
5. Las imágenes que deseen utilizarse en el texto se entregarán en archivo independiente en formato jpg a 150 dpi. En el documento de Word se referirán de la siguiente manera: Véase Figura 1.
6. Se utilizará el sistema de citas y referencias bibliográficas Harvard-APA. Este estilo presenta las citas dentro del texto del trabajo, utilizando el apellido del autor, la fecha de publicación y la página, por lo que no se requieren notas al pie de página. Ejemplo: (González Villarreal, 2013, p. 25).
7. Al final del trabajo la bibliografía se agrupará en el apartado "Bibliografía" y se colocará de la siguiente manera: autor, año de publicación (entre paréntesis), título, editorial y lugar de publicación. Ejemplo: González Villarreal, F. y Arriaga Medina, J. (2015). Expresiones de la inseguridad hídrica. Revista Ciudades, No. 105, Puebla, México.
8. Los editores realizarán una corrección de estilo y consultarán con los autores cualquier modificación sobre el contenido de la contribución.
9. El artículo debe enviarse al correo electrónico contacto@agua.unam.mx con el asunto Artículo Impluvium en el apartado "Bibliografía" y se colocará de la siguiente manera: autor, título, editorial, lugar de publicación y año de publicación.
10. Los editores realizarán una corrección de estilo y consultarán con los autores cualquier modificación sobre el contenido de la contribución.



Impluvium

Publicación digital de la Red del Agua UNAM

Número 9, Octubre - Diciembre 2019

www.agua.unam.mx