

ECONOMÍA CIRCULAR DEL AGUA, RELACIÓN CON LOS ODS, BARRERAS Y PRÁCTICAS PARA SU TRANSICIÓN

CIRCULAR WATER ECONOMY, RELATIONSHIP WITH THE SDGs, BARRIERS AND PRACTICES FOR ITS TRANSITION

§Ethnice Dehonor-Márquez^{id}, Noel Enrique Rodríguez-Maya^{id}, Eduardo López-Sandoval^{id}, Irna Zukeyt Garduño-Jaimes^{id}

Tecnológico. Nacional de México (TecNM)-Instituto Tecnológico de Zitácuaro (ITZ), División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI), Zitácuaro, México. §Autor de correspondencia: (ethnice.dm@zitacuaro.tecnm.mx).

RESUMEN

La creciente preocupación por la disponibilidad del agua a nivel local, regional y mundial para satisfacer las diversas necesidades humanas hace necesario el análisis e implementación de estrategias, así como la adopción de prácticas y la superación de barreras que garanticen el derecho a este recurso vital y su sostenibilidad en el tiempo para garantizar la permanencia de futuras generaciones. La economía circular hasta el momento es el único paradigma para la economía actual (extraer, procesar y desechar) tanto en manufactura como en consumo, que se continua actualmente. En muchos países como México aún se presentan diversas barreras en la transformación a procesos de economía circular y en el caso del agua, eje de las actividades humanas, no es la excepción. Este trabajo de investigación mixta, es el resultado de una revisión sistemática de literatura y de una encuesta a estudiantes de nivel superior. Pretende brindar un panorama actual e informativo a esta problemática, su relación con los objetivos de desarrollo sostenible, las barreras y las perspectivas a considerar desde el punto de vista de los autores para aportar al desarrollo sostenible, mediante acciones que permitan una mejor gestión del agua, así como terminar con costumbres que impactan negativamente al medioambiente mediante la adopción de prácticas que ayuden a minimizar la contaminación y la degradación del planeta.

Palabras clave: actividades antropogénicas, cambio climático, desarrollo sostenible, gestión del agua, impacto ambiental.

ABSTRACT

The growing concern about the availability of water at a local, regional and global level to satisfy diverse human needs makes it necessary to analyze and implement strategies, as well as the adoption of practices and overcoming barriers that guarantee the right to this vital resource and its sustainability over time to guarantee the permanence of future generations. The circular economy so far is the only paradigm for the current economy (extract, process and dispose) both in manufacturing and consumption, which continues today. In many countries like Mexico, there are still various barriers in the transformation to circular economy processes and in the case of water, the axis of human activities, it is no exception. This mixed research work is the result of a systematic review of literature and a survey of higher-level students. It aims to provide a current and informative overview of this problem, its relationship with the sustainable development objectives, the barriers and the perspectives to be considered from the point of view of the authors to contribute to sustainable development, through actions that allow better management of the water, as well as ending customs that negatively impact the environment by adopting practices that help minimize pollution and degradation of the planet.

Index words: anthropogenic activities, climate change, sustainable development, water management, environmental impact.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital para la supervivencia de todos los seres vivos que habitan el planeta. Sin embargo, la creciente demanda de agua dulce provocada por el crecimiento de la población humana, su contaminación, su desperdicio, su sobreexplotación, el cambio climático, la deforestación y el desarrollo industrial, han causado una crisis global del agua poniendo en riesgo la disponibilidad del recurso hídrico y por tanto la permanencia de las generaciones futuras. Así como la salud humana y el desequilibrio del planeta debido al inadecuado manejo de las aguas residuales, tanto municipales como industriales que agravan la contaminación de los cuerpos de agua en los que se descargan, rebasando la velocidad de depuración natural del recurso hídrico (Dan et al., 2022; Papadaki, 2021; Pietrzak et al., 2020). El problema que pone en riesgo la salud humana y de los diferentes ecosistemas, se ha agravado con el aumento en el consumo de medicamentos, de productos de limpieza, desinfectantes y personales, dando origen a los contaminantes emergentes, muchos de los cuales pueden ser tóxicos persistentes y no biodegradables, por lo que son complejos de tratar mediante los procesos tradicionales (Dan et al., 2023; Chen; Lin & Zhuang, 2022).

No obstante, el agua es esencial para todo tipo de actividad humana, es decir, el agua es el vector de movimiento principal en todos los ámbitos de la vida y en consecuencia los seres humanos son los responsables del contexto actual debido a las actividades que realizan desde la industrialización del planeta y el aumento en su demanda derivado del crecimiento de habitantes, actualmente alrededor de 8,000 millones, que requieren el recurso hídrico para satisfacer sus necesidades (Ajayi, 2023; INEGI, 2023; UN, 2023). Por tanto, la especie humana también es responsable de disminuir la velocidad de degradación del entorno

y de ser posible, revertir el deterioro que se ha ocasionado al planeta, primeramente concientizarse y participar mediante la creatividad, la innovación, la ciencia y la tecnología, pero principalmente la solidaridad y colaboración a desarrollar y mejorar estrategias rápidas que permitan convertirlas en mejores prácticas para el manejo del agua a través de las cuales se pueda alcanzar el objetivo, “el bienestar común” (Munaro & Tavares, 2023; Khajuria et al., 2022; Koop et al., 2022) y cuya guía nos da la agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), mediante los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

En concordancia con ello, este trabajo pretende brindar un panorama sobre la importancia de migrar hacia la economía circular del agua, así como identificar algunas barreras para su ejecución con la finalidad de superarlas y mostrar perspectivas para mejorar la gestión del agua, promover su cuidado y mejorar la eficiencia de su uso, para lograr una cultura de cuidado del agua, provocar el cambio en actitudes de las personas en general, hacia un mayor interés e involucramiento con el recurso hídrico y de forma general con los recursos naturales y el cuidado del medio ambiente.

DESARROLLO

El trabajo de investigación se fundamentó en la revisión de literatura arbitrada por pares, así como en una encuesta realizada a estudiantes de una institución de nivel superior (IES). Como primera etapa de la investigación, se realizó la búsqueda del material de trabajo del año 2020 al 2023, cuyo tema fue la reducción, el reúso, reciclaje y recuperación del agua, economía circular del agua, estrategias, objetivos de desarrollo sostenible, barreras y desarrollo sostenible; palabras clave con las cuales se realizó la búsqueda mediante bases de datos como Redalyc, Google académico y Science Direct. En la segunda etapa se llevó a cabo una selección del material encontrado. Mediante la relación de la información buscada con el objetivo plasmado en el documento. Como tercera fase se evaluó cada documento para incluirlo en la presente investigación. Como cuarta y última fase se realizó

una encuesta de preguntas cerradas a una población de 48 estudiantes del nivel superior del estado de Michoacán, específicamente del Instituto Tecnológico de Zitácuaro, en septiembre del 2023, donde la mayoría se encuentra entre los 18 a 23 años y una minoría por arriba de esa edad.

Agenda 2030 de la ONU y la gestión del agua

Para hacer frente a esta situación, la problemática se ha abordado con gran preocupación a nivel mundial a través de la agenda 2030 y sus *ODS* de la *ONU* se ha extendido con el tiempo a todos los países y sus esferas públicas (instituciones gubernamentales, educativas, científicas y tecnológicas), privadas (industria y sus derivadas de investigación y desarrollo) y de la sociedad civil, a través del desarrollo de planes o agendas estratégicas en alineación con ellos. Los diecisiete *ODS* asociados 169 metas de la *ONU*, están basados en cinco

pilares que son: las personas, el planeta, la prosperidad, la paz y la solidaridad (Khajuria et al., 2022; UN, 2022). Toda esta maquinaria está diseñada para soportar a los tres elementos principales del desarrollo: el social, el medioambiental y el económico (Figura 1).

El objeto de estudio, se aborda específicamente en el *ODS* número 6 “agua limpia y saneamiento” (garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos), aunque se sabe que los diecisiete *ODS* (Figura 2) se encuentran interrelacionados al igual que los elementos del desarrollo, por lo que un *ODS* repercute en muchos más y en el caso del agua es un factor decisivo para el resto de los *ODS* (Khajuria et al., 2022; ONU, 2015). Referente al *ODS* 6, este se encuentra íntimamente relacionado con los *ODS* 2, 9, 11, 12, 13, 14 y 15 y 17 no obstante, de manera menos íntima con el resto.



Figura 1. Pilares de los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 de la *ONU* (Khajuria et al., 2022).



Figura 2. Objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 de la *ONU* (ONU, 2015).

La economía circular

Las consecuencias del actual manejo inadecuado de los desechos ponen en riesgo la salud de todo tipo de seres vivos y ecosistemas, por mencionar deterioros de suelo, aire y de la vida marina derivado de la contaminación. La economía circular (*EC*), se ha propuesto como un enfoque que promueve la sostenibilidad basado inicialmente en tres principios imprescindibles para el manejo de residuos “3R”: uso eficiente (reducir), reusar y reciclar; y que ha evolucionado con el paso del tiempo hasta llegar a 10 principios imperativos “10R”: rechazar, repensar, reducir, reutilizar, reparar, reacondicionar, reprocesar, reusar, reciclar y recuperar (Chrispin, Mattsson, & Ulvenblad, 2023; Ho, Gajanayake, & Usha, 2023; Morsetto, 2023; Neves & Marques, 2022). Lo anterior, contrario al enfoque de economía lineal vigente hoy día en los procesos productivos y de consumo, basados en extraer, producir y tirar, contribuye así la *EC* al logro de los *ODS* de la agenda 2030 (Ching-Chi, 2023; Sanusi, Oke & Bello, 2023; Akter et al., 2022; Khajuria et al., 2022; Marjamaa & Mäkelä, 2022). Específicamente el recurso hídrico, se refiere a la economía circular del agua (Koseoglu-Imer et al., 2023; Meiryani et al., 2022; Brears, 2020). Si a la *EC* adicionamos un indicador del uso del agua, esto es, un indicador de la eficiencia de uso del recurso, como lo son para el caso del agua la medición de la huella hídrica (*HH*) derivada de la metodología de la Water Footprint Network (*WFN*) (Ruiz-Pérez, Alba-Rodríguez, & Marrero, 2022; Deepa, Anandhi, & Alhashim, 2021; Feng et al., 2021), o de la huella de agua (*HA*) (Pierrat et al., 2023; Nika et al., 2022) basada en la metodología de la norma ISO 14046, entre otros indicadores existentes (Li et al., 2022; Meiryani et al., 2022), se tendrá un manejo de los recursos hídricos que permita un futuro sostenible (Hoekstra, 2016).

La *HH* se enfoca en la gestión del recurso, excluye el impacto del uso del agua por las actividades humanas o antropogénicas y se divide en tres tipos de huella: la azul, verde (según las fuentes, para la primera proveniente de ríos lagos o

subterránea y la segunda proveniente de la lluvia) y gris (según los impactos en la calidad del agua, es decir el agua contaminada generada que requiere cierto volumen de agua limpia para diluir los contaminantes para poder devolverla al ambiente) (Li et al., 2022; Ruiz-Pérez et al., 2022; Deepa et al., 2021; Feng et al., 2021). Mientras que la *HA* a través del método del análisis del ciclo de vida (*ACV*), proporciona el impacto potencial al medio ambiente mediante diversas categorías del agua como son la eutrofización, la acidificación y la ecotoxicidad (Deepa et al., 2021; Feng et al., 2021; Pietrzak et al., 2020; Hoekstra, 2016).

Tanto la *HH* como la *HA* son medidas de utilización del agua que sirven como indicadores de desempeño y ayudan a mejorar la eficiencia de su uso. Dichas huellas, son las más abordadas y se han convertido en una herramienta importante para evaluar los impactos ambientales de las actividades humanas. Además de ser usadas para el desarrollo de estrategias en la gestión del agua (Yang, et al., 2023; Ruiz-Pérez et al., 2022; Deepa et al., 2021; Feng et al., 2021; Hoekstra, 2016), sin embargo, hace falta mayor difusión y aplicación de estas en todos los sectores sociales. Su relevancia radica en la premisa, "lo que no se define no se puede medir, lo que no se mide, no se puede mejorar, lo que no se mejora, se degrada siempre" acuñada por William Thomson Kelvin (Lord Kelvin), físico y matemático británico (1824 – 1907) (Fernández & Tamaro, 2004). La cuantificación del agua es una herramienta primordial para su manejo, ya que aporta información sobre el uso, distribución y agotamiento del recurso en un determinado lugar o empresa (Germann et al., 2023; Li et al., 2022).

Los indicadores *HH* y *HA*, de entre muchos otros han tomado importancia debido a la creciente preocupación por la disponibilidad del agua de forma mundial, aunado al impacto del cambio climático en los recursos hídricos, tiene aplicación en la gestión organizacional y en la toma de decisiones gubernamentales que involucran el manejo del agua, para garantizar el derecho al agua (Meiryani et al., 2022; Ruiz-Pérez et al., 2022; Deepa et al., 2021; Feng et al., 2021; ONU, 2015).

Además de otros beneficios, como ayudar al desarrollo social y económico, sin descuidar el medio ambiente, esto es, promover la producción de energías renovables, como lo son la energía hidroeléctrica y la energía solar térmica, involucran en este sentido el *ODS7* “energías renovables y no contaminantes” (Mannina, Gulhan, & Bing-Jie, 2022; Mohamed, 2022; UN, 2022).

Por lo anterior, es importante que todas las personas de la sociedad: consumidores, academia, ciencia, industrias, ciudadanía, gobiernos, etc., tengan un contexto de la problemática que implica la disponibilidad del agua y actúen para prevenir en el futuro cercano crisis relacionadas con el agua, pues sin agua simplemente no hay vida y su mal uso genera alteración de diversos factores, como el calentamiento global, alteración del ciclo del agua, pérdida de biodiversidad, sequías, alteración de la agricultura, cambio climático, fenómenos meteorológicos extremos, etc., los cuales se proveen sean cada vez más críticos, relacionándose estos riesgos con el *ODS13* “Acción por el clima” el cual busca adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos; así como con el *ODS14* “Vida submarina” cuyo fin es conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos (ONU, 2015). Es necesaria una colaboración y trabajo conjuntos para mejorar la gestión del agua, a través de la adopción de mejores prácticas y la re-adopción de prácticas ancestrales, sostenibles en su uso (Ching-Chi, 2023; Gashure & Wana 2023; Koseoglu-Imer et al., 2023; Zeballos-Velarde, Butron-Revilla & Manchego-Huaquipaco, 2023).

Se está en un punto de inflexión, donde es imprescindible visualizar el valor real del agua bien sea como portador, como fuente de energía o como proveedora de servicios, antes de tomar cualquier decisión, pero ante todo comprender como el agua es esencial y beneficia la vida de todo ser. Su disponibilidad es limitada y multifactorial, hoy día el crecimiento poblacional, el desarrollo industrial, el cambio climático, su costo, su uso desmesurado y la falta de conciencia en su manejo, son algunos de los factores que repercuten en dicha

disponibilidad y que han incrementado su contaminación y por ende el estrés hídrico. El establecimiento de barreras podrían llevar a cabo la transición de la economía lineal a la *EC* del agua, que deben ser visualizadas y abordadas para superarlas y lograr una gestión sostenible y efectiva del agua (Munaro & Tavares, 2023; Marjamaa & Mäkelä, 2022; Neves & Marques, 2022; Morris et al., 2021). Cabe mencionar que el abordaje de la problemática, se encuentra en la operación de la *EC* a nivel micro, está enfocada a productos, procesos, materiales, empaque, modelos de negocio, compañía o cadena de suministro, mientras que el nivel meso a la operación de la *EC* en simbiosis de parques, redes y núcleos industriales y el macro a ciudades, regiones o países (Chrispim et al., 2023).

Barreras actuales para llevar a cabo la economía circular del agua

Innumerables acuerdos y tratados se han llevado a cabo a nivel internacional para establecer estrategias y compromisos entre los países participantes con el afán de tomar acciones para corregir o subsanar en cierta medida la afectación que se ha ocasionado al planeta y sus diversos ecosistemas, al no saber convivir y respetar al resto de los habitantes de la Tierra. Y aun cuando la contribución no ha sido la misma de los países desarrollados, subdesarrollados y no desarrollados, las consecuencias las pagarán todos, sin importar clase social, raza, género, etc. Sin embargo, dichos tratados parecen involucrar solo a algunas elites, como los son gobiernos y científicos de organizaciones de renombre mundial, que son quienes proponen las acciones que llevará a cabo una nación y las metas que ésta debe alcanzar. No obstante, la mayoría de la población hoy día desconoce muchos de los tratados, conceptos involucrados y metas a alcanzar, así como la problemática, sus causas y las consecuencias de continuar con las mismas prácticas y tendencias (Marjamaa & Mäkelä, 2022); además de no ser parte de la solución al no ser partícipes y desconocer la problemática. Incluso se puede afirmar que la mayoría de los estudiantes universitarios de programas no relacionados con la economía desconocen el modelo económico alterno

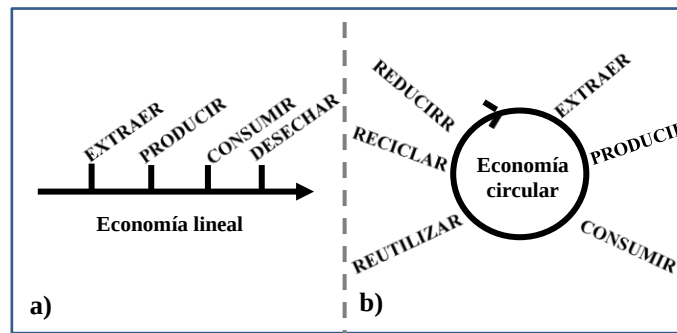


Figura 3. Modelos económicos: a) Lineal y b) circular. Fuente: Elaboración propia.

(economía circular) a la economía usada en la actualidad por el bloque capitalista (economía lineal) (Figura 3).

A pesar de sus múltiples beneficios, existen diversas barreras para llevar a cabo la transición hacia una *EC* del agua (políticas, económicas, sociales, tecnológicas, ambientales, culturales y legales) (Marjamaa & Mäkelä, 2022; Morris et al., 2021; Sharma et al., 2021). Estas son por mencionar: el egoísmo del ser humano, el desconocimiento y falta de participación, la falta de inversión en infraestructura, la falta de incentivos para el cuidado del agua, la falta de colaboración entre sectores, regiones y entre países, pero sobre todo la falta de conciencia e información sobre el cuidado del medio ambiente por parte de la ciudadanía (Munaro & Tavares, 2023; Neves & Marques, 2022; Tan, Tan, & Ramakrishna, 2022; Morris et al., 2021).

El egoísmo del ser humano es lo que ha llevado a estar en este punto de riesgo de la existencia del planeta y de innumerables especies tanto animales como vegetales, así como de diversos ecosistemas (biodiversidad), los cuales disminuyen cada año a mayor velocidad, como consecuencia de la superioridad, comodidad y teóricamente mejor calidad de vida de la raza humana, que en realidad se traduce en invasión de ecosistemas y por tanto eliminación de hábitats de otras especies y degradación de los recursos naturales como son suelo, agua y aire (Pierrat et al., 2023; Marjamaa & Mäkelä, 2022; Deepa et al., 2021), al pensar que el

dinero lo soluciona todo y que el planeta le pertenece al hombre, cuando en realidad, solo es parte de él y lo peor es que se continua con la inercia de no hacer nada, al pensar que lo que un individuo haga no repercute de forma significativa. Así mismo, el desconocimiento de cualquier tema, provoca la omisión de la acción y en este tema no es la excepción, no obstante, es necesario que las generaciones en las que recaerá la acción para la solución de las problemáticas actuales se involucren. Esta posición del ser humano impacta al *ODS 17* “Alianzas para lograr los objetivos” (revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible (ONU, 2015).

El desarrollo social y económico ha llevado a la generación de nuevos productos y sustancias químicas que han ocasionado mayor contaminación y generación de residuos a veces peligrosos. Como consecuencias del desarrollo de nuevos productos los cuales en su planificación no contemplaban un diseño ecológico y una evaluación del impacto ambiental que pueden generar durante su ciclo de vida. En investigaciones recientes a este estudio, se le conoce como análisis del ciclo de vida (*ACV*) que permite entre otras cosas medir la circularidad de los materiales y su impacto al ambiente (Pierrat et al., 2023; Brändström & Saidani, 2022; Sharma et al., 2021; Corominas et al., 2020; Hoekstra, 2016), el cual debiera llevarse a cabo al diseñar cualquier producto, servicio o proceso. Y aun cuando se han tenido beneficios como lo es por citar, avances médicos a través de la nanotecnología, valdría la pena colocar en una balanza ambos,

beneficios y perjuicios de ésta; pues si es más que claro que si no se ha podido solucionar la gestión de residuos a nivel macroscópico, mucho menos podrá hacerse a nivel microscópico, esto es, dimensiones que no se pueden ver a simple vista. Hoy día la perspectiva para superar esta barrera es optar por productos más naturales, esto es menos procesados (Pierrat et al., 2023; Marjamaa & Mäkelä, 2022). Se ha comprobado en diversos estudios, que la HH de productos naturales, es mucho menor comparada con aquellos procesados, así como por la adopción hacia un modo de alimentación más saludable, es decir, con mayor consumo de vegetales y sobre todo el consumo de productos de la región; y esto no solo aplica a alimentos, sino también al consumo local de cualquier tipo de producto o el reciclado residuos, disminuye con ello la HH del producto pues se ahorra el agua involucrada en el funcionamiento de la cadena de suministro o distribución (Brändström & Saidani, 2022; Jamwal, Agrawal, & Sharma., 2022; Joséphine, Andrée-Anne, & Samir., 2022). Lo anterior impacta directamente al ODS II “ciudades y comunidades sostenibles” (lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles), pero se encuentra relacionado íntimamente con el ODS 16 “paz, justicia e instituciones sólidas” (Promover sociedades justas, pacíficas e inclusivas), ocasiona que las comunidades en general sean más adaptables a prácticas que reduzcan los residuos, la contaminación, el uso de recursos naturales, en consecuencia disminuye los riesgos a desastres (ONU, 2015).

La falta de inversión en infraestructura es una de las barreras más importantes. Para cerrar el ciclo de vida del agua, se requiere una gran cantidad de infraestructura, como lo son plantas de tratamiento, redes de distribución eficientes, sistemas de recolección de agua de lluvia y aguas grises, así como sistemas de recuperación de agua modernos y que consideren soluciones basadas en la naturaleza (SBN) (Koop et al., 2022; Corominas et al., 2020). El ODS 9 “Industrias, innovación e infraestructura”, precisamente pretende satisfacer lo anterior, mediante la construcción de

infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación (ONU, 2015). La construcción de infraestructura requiere una alta inversión, una visión a largo plazo, además de un análisis ecológico, y muchas veces los gobiernos, empresas y organizaciones no están dispuestos a realizar esta inversión debido a la afectación de intereses económicos y los recursos destinados para ello. Sin embargo, de no realizar esta inversión las consecuencias serán una catástrofe para la disponibilidad del agua apta para consumo humano y para el planeta al no haber disponibilidad de ésta y aumentar la temperatura promedio por el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) (Hassan et al., 2022; Hoekstra, 2016) y con ello la modificación de las condiciones del ciclo de lluvia genera desastres naturales por el aumento de la cantidad de precipitación y a la vez el aumento de sequías, con ello provocaría una crisis alimentaria (Pierrat et al., 2023; Jerome et al., 2022; Bishop, Styles & Lens, 2021) que impacta en su interrelación con los ODS 2 “hambre cero” (poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y una mejor nutrición, así como promover la agricultura sostenible), ODS 9 “industria, innovación e infraestructura” (industria, innovación e infraestructura), ODS 11 “Ciudades y comunidades sostenibles” y 17 “Alianzas para lograr los objetivos” (ONU, 2015). La forma general de involucrarse como ciudadanos es proponer y establecer reglas que garanticen la sostenibilidad de proyectos en todos los ámbitos.

La falta de incentivos para la conservación y cuidado del agua es otra barrera importante (Tan et al., 2022). Muchos países como México, no poseen políticas de precios o tarifas de agua que reflejen el valor real del agua y promuevan como consecuencia su cuidado, tampoco posee cuotas para la descarga de aguas residuales en función del grado de contaminación que contengan, aunado a que la normatividad posee mucha holgura, por lo que hace falta trabajar en ello. Muchas veces el agua se utiliza de manera gratuita o con un precio muy bajo, lo que genera en los usuarios una falsa idea de la verdadera disponibilidad del agua, lo que incita a veces a

apropiarse de cuerpos de agua y ocasionan su desperdicio; además de los ecocidios de las fuentes de agua como los son los diversos ríos que ahora fungen como drenajes, muchos de ellos en canales cerrados lo que repercute directamente en el *ODS* 14 “Vida submarina” (conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos). Lo anterior agrava aún más los problemas de la contaminación y de salud pública al desbordarse estos en épocas de lluvias esto incide en el *ODS* 3 “Salud y bienestar” (garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades) y 15 “Vida de ecosistemas terrestres” (gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación terrestre y detener la pérdida de la biodiversidad) (ONU, 2015). Muchos de los países desarrollados que han logrado una gestión hídrica eficiente, han adoptado las *SBN* y empezado a desentubar sus ríos, tal es el caso de Japón, donde varios de sus ríos han sido transformados a canales abiertos nuevamente, beneficia a la naturaleza en el proceso de auto limpieza del agua (recorrido, oxigenación y descontaminación por energía solar) (Koseoglu-Imer et al., 2023; Deepa et al., 2021), de esta manera se convive de forma respetuosa con el ambiente, pues cabe recordar que en el pasado los ríos y mares fueron primordiales para el desarrollo comercial, pero además el agua era deidad o elemento pilar de vida, esto es, tenía una valoración suprema.

La falta de colaboración entre sociedad civil, sectores y entre países también es gran un desafío. La economía circular del agua requiere la cooperación y colaboración de los diferentes entes de la población, como la academia, la investigación, la sociedad, la agricultura, la industria, el suministro de agua y el gobierno, para llevar a cabo una gestión adecuada del agua como un trabajo y vigilancia interdisciplinar. E incluso requiere la colaboración entre países, como los que comparten los recursos hídricos de una cuenca y en muchos otros aspectos, como son replicar estrategias que han sido satisfactorias para un determinado país (Ching-Chi,

2023; Neves & Marques, 2022; Morris et al., 2021).

Sin embargo, el egoísmo humano y las formas típicas de trabajo, así como los intereses económicos y personales entorpecen esta colaboración incluso desde instituciones u organizaciones pequeñas. Impacta directamente en el *ODS* 17. En el caso de México, mediante los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES) y los Proyectos Nacionales de Investigación e Incidencia (PRONAI) a través del (CONAHCyT) Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología, así como mediante instituciones de educación pública, busca la colaboración multidisciplinar para alcanzar los *ODS* de la agenda 2030, sin embargo, la costumbre, la egolatría y el proteccionismo de los intereses personales dificultan dicha colaboración aunque es una oportunidad para que la sociedad exprese las necesidades, oportunidades y problemáticas que pueden abordarse de forma conjunta por parte de todos los actores (CONAHCyT, 2023). Así mismo, ha llegado el momento de pensar en proyectos que ofrezcan soluciones a las problemáticas básicas como lo es el cuidado del medio ambiente y realizar proyectos con enfoque del *ACV* y de la *EC* de productos o procesos, pues este ofrece la oportunidad de utilizar materiales de residuo del mismo proceso o de otros cercanos, así reduce la contaminación y sobreexplotación de recursos vírgenes (Aarikka-Stenroos, Kokko, & Pohls, 2023; Baldassarre et al., 2022; Neves & Marques, 2022; Tan et al., 2022; Morris et al., 2021).

Finalmente, la falta de conciencia sobre la importancia y valor del agua es el obstáculo más importante. Muchas personas y empresas no toman la importancia adecuada del agua, la necesidad de su conservación y uso eficiente. Lo anterior aunado al desconocimiento del contexto regional, nacional y mundial hace más grande la barrera. Se requiere de una mayor información y conciencia pública para impulsar la economía circular del agua y no hay mejor forma que propiciar la participación de la sociedad para crear un sentido de pertenencia

(Sharma et al., 2021). Así como modificar los programas de estudio de las instituciones de educación superior para además de formar profesionistas con un enfoque de cuidado ambiental también para resolver las problemáticas objeto de estudio del presente trabajo (Ching-Chi, 2023; Neves & Marques, 2022). Y en este punto, precisamente se fundamentó la encuesta realizada a estudiantes de nivel superior.

Por otro lado, la huella hídrica es un indicador potencial en el cuidado del agua, hace su consumo más tangible volumétricamente y como consecuencia relevante y de interés para la comprensión de la importancia del cuidado del agua. Las universidades y demás centros de educación tienen un papel clave en la adopción de prácticas sostenibles para la reducción del impacto ambiental a causa de las actividades cotidianas, además incorporar su impacto en el uso del agua. Por lo que el rol de los profesores es clave para lograr los *ODS* al bajar la información y sembrar la semilla de la transformación hacia la EC y el cuidado del medio ambiente pero también al formar recursos humanos expertos en estas metodologías (Chrispim et al., 2023).

Si bien las soluciones técnicas pueden estar disponibles para proporcionar los tipos de filtración, tratamiento y conectividad para el uso de aguas residuales, pueden surgir barreras en términos de costo, voluntad política, de aceptación social, daño ambiental (por ejemplo, si el proceso de tratamiento requiere el uso de productos químicos nocivos) y la falta de un marco legal.

Por lo tanto, proponer el uso circular del agua requiere un marco que vaya más allá de la dependencia de soluciones tecnológicas y, en cambio, considere una perspectiva holística que abarque la política y los factores socio ambientales que son críticos para la implementación y el despliegue exitosos de tales tecnologías y abordar la viabilidad económica de tales intervenciones (Morris et al., 2021).

Perspectivas para llevar a cabo la economía circular del agua

Algunas estrategias implementadas por diferentes países, especialmente los más desarrollados y que son susceptibles de imitar son:

Homogenización de un indicador del uso de agua y determinación de éste en el nivel micro, como pueden ser *HH* o *HA* (servicios, procesos, organizaciones y productos), para identificar las áreas críticas en las que se puede hacer una diferencia y establecer metas claras para reducirla tanto de forma personal como a nivel organización (Brändström & Saidani, 2022). Sería una buena estrategia si se implementara una ley para que todos los productos tuviesen en su empaque una etiqueta que contenga dicho indicador, similar al etiquetado de calorías en los alimentos procesados. De esta manera los consumidores tendrían un punto de referencia para su decisión de compra.

Implementación de tecnologías sostenibles: Las tecnologías sostenibles, como el tratamiento, la reutilización y la recolección de agua de lluvia; además de generación de energía verde, están ejecutándose cada vez más, pero hace falta mayor difusión e incentivos gubernamentales para acelerar el cambio (Dan et al., 2022; Mohamed, 2022).

La reutilización de aguas residuales tratadas es una buena práctica que contribuye a la circularidad del agua y puede ahorrar recursos hídricos valiosos. Sin embargo, el cambio de paradigma es inaceptable para la mayor parte de la ciudadanía, debido al desconocimiento de que es posible hacerlo sin correr riesgo de salud, obviamente con las consideraciones pertinentes (Koseoglu-Imer et al., 2023; Yang et al., 2023; Tan et al., 2022; Morris et al., 2021; ONU, 2015). La reutilización de las aguas residuales implica el uso de agua previamente utilizada en procesos industriales y de servicios urbanos, y que ha sido sometida a un tratamiento adecuado para su uso en el mismo fin. Mientras que el reciclaje es el uso para fines diferentes del procedente del agua tratada. Contribuye a la reducción de la demanda de agua potable, disminuir

la huella hídrica y limitar la contaminación de los recursos hídricos (Yang et al., 2023; Morris et al., 2021; Smol et al., 2020).

Campañas de concientización a todos los niveles de educación, en especial énfasis en la educación superior, así como la actualización y capacitación de los docentes de todas las áreas de enseñanza. Las instituciones de educación deben integrar a sus programas educativos campañas de concientización dirigidas a los estudiantes, el personal y la comunidad para fomentar prácticas de uso eficiente del agua, así como proyectos que permitan mostrar de forma tangible la minimización de la contaminación y maximización del recurso (Aarikka-Stenroos et al., 2023; Munaro & Tavares, 2023). De igual manera diseñar programas de enseñanza que permitan la integración de la sociedad.

La reforestación y el uso de plantas nativas y hortalizas, reduce la necesidad de riego y si este se hace en los horarios en los cuales se tiene la temperatura ambiental más baja, reduce la evaporación; por lo tanto, ayuda a reducir la cantidad de agua (Foraste, 2023). Además los árboles son reguladores naturales de la temperatura, conservan la humedad del suelo y son casa de diversas especies, también disminuyen la emisión de gases de efecto invernadero (*GEI*), evitan la erosión del suelo y por tanto la contaminación del agua (Yang et al., 2023; Ruiz-Pérez et al., 2022; Deepa et al., 2021).

La reducción del desperdicio de agua es uno de los puntos iniciales para minimizar el consumo del recurso hídrico, esto es, la detección y reparación de fugas y la implementación de inodoros y lavabos de bajo flujo (Aarikka-Stenroos et al., 2023; Munaro & Tavares, 2023; Baldassarre et al., 2022; Neves & Marques, 2022). Si el cambio de infraestructura no es posible, es hora de ser creativos para poder hacerlo.

Adaptación de las políticas de los tres órdenes de gobierno para fortalecer el abastecimiento del agua para todas las personas, pero sin afectar los

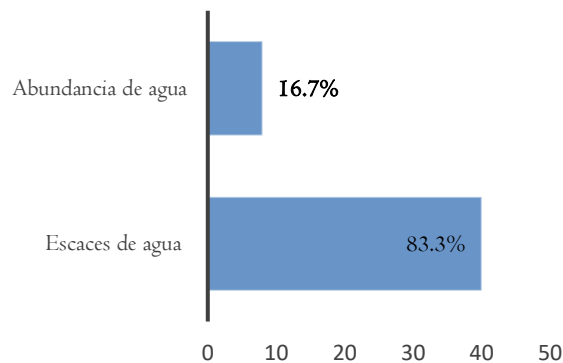
ecosistemas de las fuentes y sin sobre explotar estas, mediante estrategias de tratamiento de aguas residuales (ya que existen muchas plantas municipales sin funcionar y obsoletas) y recarga de acuíferos (con estudios adecuados para evitar riesgos), así como políticas públicas de salud, educación, participación del sector privado e ingresos que contribuyan al desarrollo sostenible y a garantizar la gobernanza del agua (Aarikka-Stenroos et al., 2023; Munaro & Tavares, 2023; Sanusi et al., 2023; Yang et al., 2023; Baldassarre et al., 2022; Neves & Marques, 2022; Tan et al., 2022).

Resultados de la encuesta

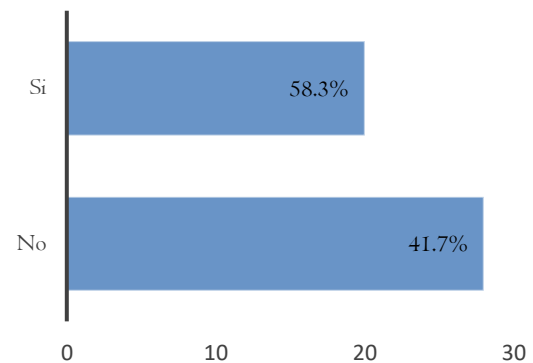
Se encontró en base a los resultados mostrados en los diferentes incisos de la Figura 4, que el desconocimiento sobre el contexto del agua y la economía circular en estudiantes de nivel superior es alto. Un 16.7 % considera que el agua se encuentra en abundancia, mientras que más de la mitad (58.3 %), no sabe de que trata la agenda 2030 de la ONU, y por supuesto desconoce sus pilares y los objetivos de desarrollo sostenible. En referencia específicamente del agua, el 60.4 % desconoce el *ODS* que le compete al agua y saneamiento, aun cuando son necesidades básicas del ser humano. Por otro lado, el 33.3% dice no contribuir al logro de los *ODS*. De aquella población que considera existen problemáticas con el agua, el mayor porcentaje corresponde a la escasez y al desperdicio (20.5 %), seguido de la contaminación (18.9 %), encontrándose después las fugas debidas a infraestructura (17.2 %), y posteriormente la sobreexplotación. Los porcentajes más bajos 5.7 % y 4.1 % corresponden a las sequías y el cambio climático respectivamente, como últimas problemáticas percibidas por los jóvenes, aun cuando son las consecuencias de todo lo anterior y cada vez más críticas. Sin embargo, al preguntar si realizan buenas prácticas de cuidado del agua, la mayoría confirma que toma duchas cortas (29.2 %) y que reutiliza dicha agua para el inodoro (28.1 %), así como el agua de la lavadora (22.5 %). Cabe destacar, que de acuerdo con el porcentaje 14.6 % y 11.2 % de los estudiantes

respectivamente minimiza el uso de los productos químicos en la cocina y el uso de productos personales. El 72.9 % y 81.3 % respectivamente no sabe donde reportar fugas y no hace uso de ecotecnologías. Así mismo el 60.4 % no se involucra en decisiones de la comunidad respecto al cuidado del agua, pero al 62.5 % les gustaría hacerlo. La Figura 4k, refleja que de los usos destinados al agua potable los mayores porcentajes

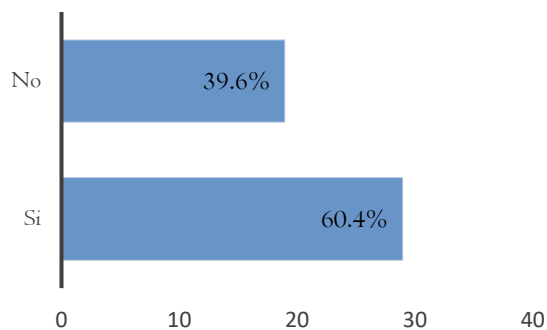
se destinan a la limpieza personal, lavado de trastes, uso en inodoro y lavado de alimentos 18.9, 13.8, 13 y 11 %, respectivamente; mientras que solo el 7.5 % la utiliza para beber, casi a la par del uso para limpieza del hogar y sitios de trabajo (7.9 %), al igual que para el lavado de autos (7.1 %). Y finalmente el 89.6 % de los estudiantes de nivel superior, desconoce de que habla la *EC*.



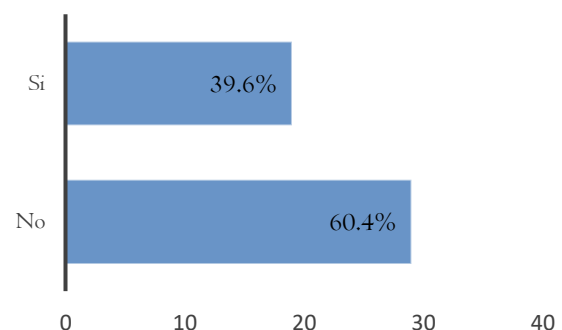
a) Elija el contexto nacional respecto al agua.



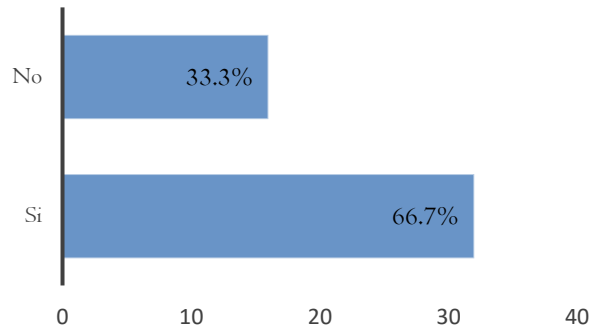
b) ¿Sabe de qué trata la agenda 2030 de la ONU?



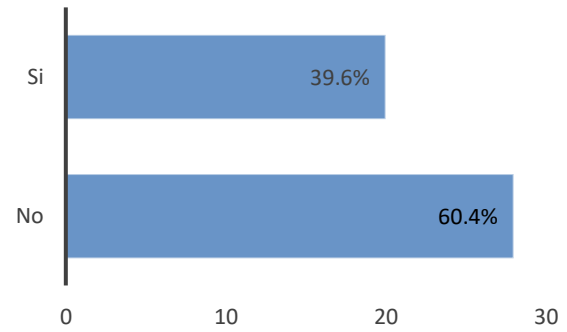
c) ¿Conoce cuál es el Objetivo de Desarrollo Sostenible que habla del agua?



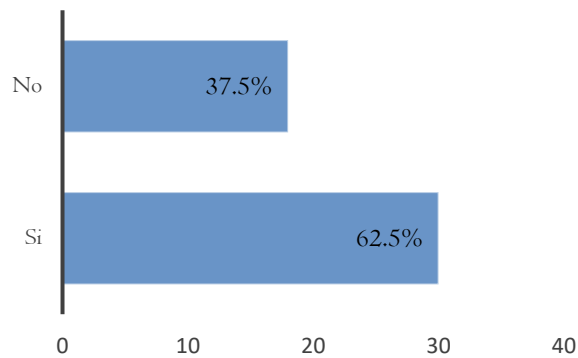
d) ¿Conoce los pilares en los que se fundamenta la agenda 2030 de la ONU?



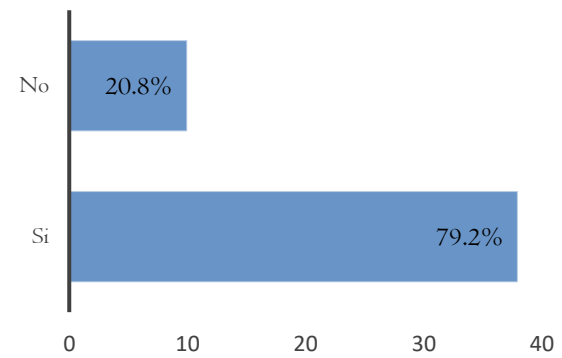
e) ¿Contribuye al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible?



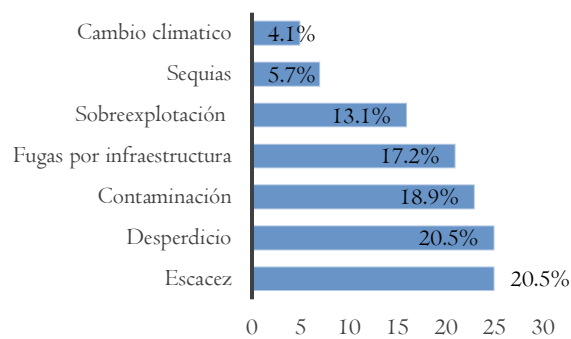
f) ¿Se involucra en la toma de decisiones de su comunidad?



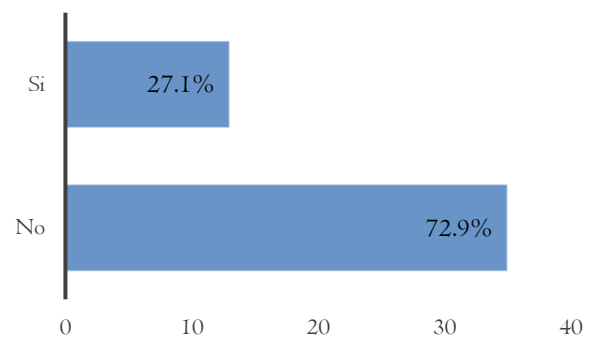
g) ¿Le gustaría formar parte de las decisiones de la ciudadanía de forma local y nacional?



h) ¿Considera que existen problemáticas respecto al agua, en su comunidad?



i) Seleccione las problemáticas recurrentes en su comunidad.



j) ¿Conoce la vía para reportar una fuga o avería de agua?

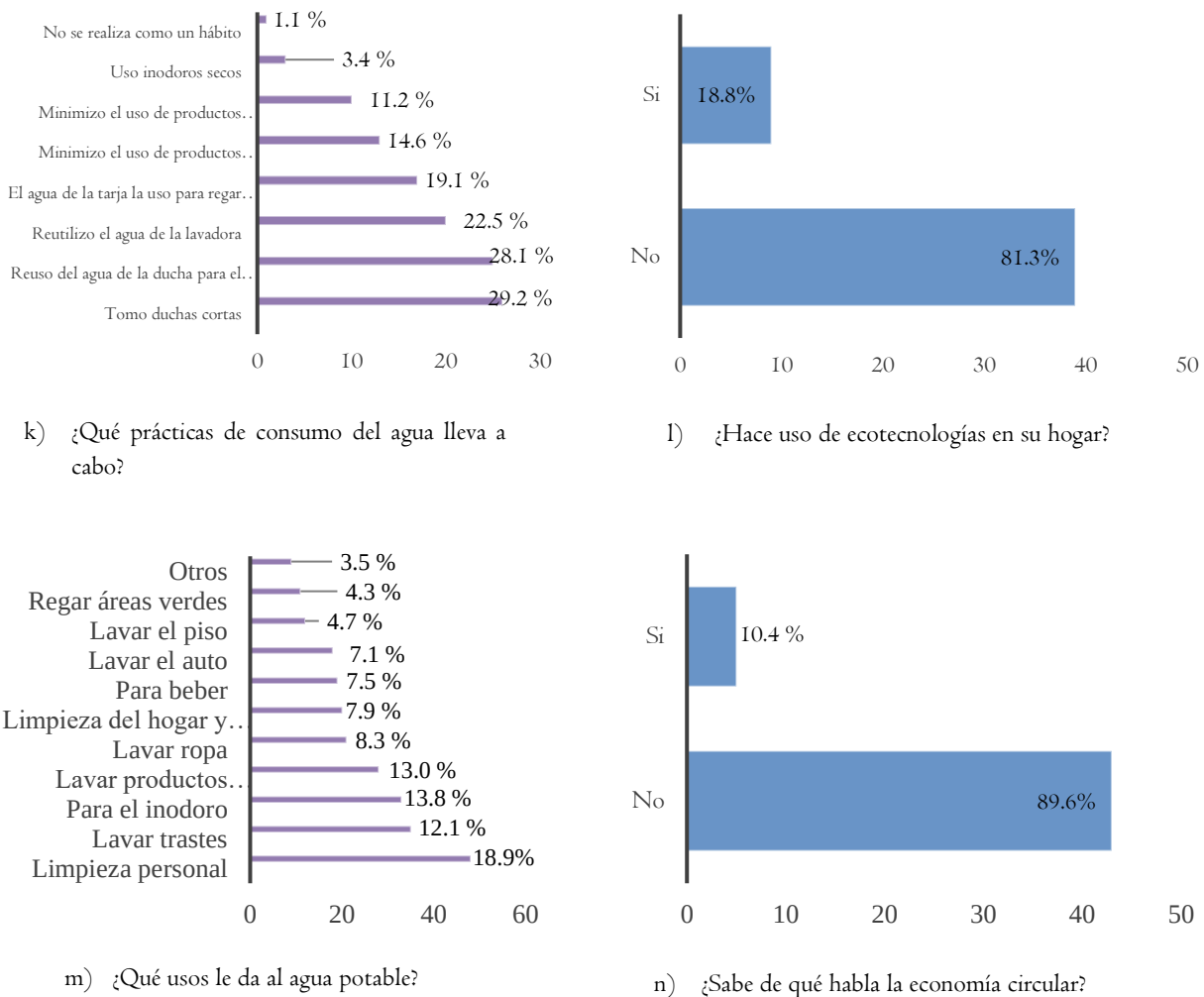


Figura 4. Resultados de la encuesta sobre conocimientos de los *ODS*, economía circular y la gestión del agua, aplicada a estudiantes del Instituto Tecnológico de Zitácuaro.

COMENTARIOS FINALES

El concepto de *EC* es relativamente nuevo y se encuentra en constante investigación y en vías de desarrollo, fundamenta las primeras bases empíricas para su implementación, aún existen innumerables barreras para su completa adopción, por lo que se deben registrar en trabajos de investigación los conceptos relacionados con la *EC* del agua, desarrollo sostenible y agenda 2030, así como las perspectivas que se tienen en base a otros trabajos de investigación permitirá acrecentar el conocimiento del área y avanzar en su desarrollo, así como permitir reflexionar e incursionar en las problemáticas actuales.

En la actualidad la *EC* es crucial, para la eficiente gestión de los recursos de todo tipo y esto aplica por supuesto a la gestión del agua, pretende maximizar la eficiencia en el uso de este recurso vital. La adopción de prácticas de *EC* (3r's), como la reutilización y reciclaje del recurso hídrico, reduce la generación de aguas residuales y la contaminación de cuerpos de agua por la descarga de éstas, lo que contribuye a la preservación de ecosistemas acuáticos y está íntimamente relacionado con el *ODS* 14 "vida submarina". Además, la *EC* del agua, puede reducir los costos de su tratamiento y suministro, mejorar la resiliencia y aumentar la adaptación al cambio

climático a través de la reutilización o reciclaje de las aguas residuales con tratamiento previo, y así estar en congruencia con los ODS 9 “Industrias, innovación e infraestructura”, 12 “Producción y consumo responsable” y 13 “Acción por el clima”. Así pues, la EC del agua se encuentra intrínsecamente ligada al ODS 6 “agua limpia y saneamiento”, ya que busca garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua, y el saneamiento para todos; pero, además está relacionada con el resto de los ODS de forma directa e indirecta.

Indicadores como la HH y la HA, cuantifican la afectación al medio ambiente y son herramientas valiosas para el cuidado del agua, pues hacen tangible la cantidad de agua de forma cuantitativa o cualitativa, respaldan la toma de conciencia, la planeación de estrategias y toma de acciones de manera comunitaria para maximizar el recurso agua. El uso del ACV en el diseño o rediseño de cualquier proceso, producto o servicio, ayuda a minimizar el impacto negativo en el medio ambiente, incluida el agua como producto o servicio. Estas herramientas permiten establecer lazos de confianza entre las empresas productoras y los consumidores, así como con las partes interesadas de cualquier organización. Así mismo, permiten a las organizaciones ser un referente para la adecuada gestión del recurso hídrico, de responsabilidad social y del compromiso con el medioambiente.

En este momento se está en un punto crucial, donde la participación ciudadana es vital. Los consumidores, tienen el poder de minimizar la contaminación y establecer las reglas para un desarrollo sostenible. La colaboración entre gobiernos, empresas y comunidades es crucial. La falta de conciencia sobre los beneficios y principios de la economía circular del agua son un obstáculo. Por lo que la educación y la sensibilización son clave para involucrar a la sociedad con prácticas más sostenibles. Los resultados de la encuesta realizada en el ITZ, muestran que existe desconocimiento, falta de participación y falta de acción en prácticas de EC del agua en estudiantes de nivel superior. No obstante, es una oportunidad de desarrollo

profesional, al incorporarse en los programas de estudio estas problemáticas y temas actuales, que permitan a los profesionistas ofrecer soluciones y así generar los empleos del futuro. La EC del agua no solo es una solución ambiental, sino también económica y social, por lo que se requiere un cambio de mentalidad y acción para lograr un desarrollo sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado para la realización del proyecto “Estrategias para el desarrollo sostenible del Instituto Tecnológico de Zitácuaro mediante la transición hacia una economía circular del agua”, en la convocatoria 2023: Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación. Al Instituto Tecnológico de Zitácuaro por la oportunidad de realización de estancias posdoctorales y al CONAHCyT por la beca otorgada para tal propósito.

REFERENCIAS

- Aarikka-Stenroos, L., Kokko, M. & Pohls, E.L. (2023). Catalyzing the circular economy of critical resources in a national system: Case study on drivers, barriers, and actors in nutrient recycling. *Journal of Cleaner Production*, 397, 136380.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136380>
- Ajayi, T.O. (2023). Biomimicry: the nexus for achieving sustainability in the people-process-planet relationship. *Heliyon*, 9(5), e16180.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16180>
- Akter, M.M.K., Haq, U.N., Islam, M.M., & Uddin, M.A. (2022). Textile-apparel manufacturing and material waste management in the circular economy: A conceptual model to achieve sustainable development goal (SDG) 12 for Bangladesh. *Cleaner Environmental Systems*, 4, 100070.
<https://doi.org/10.1016/j.cesys.2022.100070>

- Baldassarre, B., Maury T., Mathieux, F., Garbarino, E., Antonopoulos, I. & Sala, S. (2022). Drivers and Barriers to the Circular Economy Transition: The Case of Recycled Plastics in the Automotive Sector in the European Union. *Procedia CIRP*, 105, 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.007>
- Bishop, G., Styles, D., & Lens, P.N. L. (2021). Resources, Conservation & Recycling Environmental performance comparison of bioplastics and petrochemical plastics: A review of life cycle assessment (LCA) methodological decisions. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105451. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105451>
- Brändström, J. & Saidani, M. (2022). Comparison between circularity metrics and LCA: A case study on circular economy strategies. *Journal of Cleaner Production*, 371, 133537. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133537>
- Brears, R.C. (2020). *Austin Water Developing the Circular Water Economy*. In: Developing the Circular Water Economy. Palgrave Studies in Climate Resilient Societies. Palgrave Pivot, Cham. pp. 121–134. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32575-6_9
- Chen, Y., Lin, M. & Zhuang, D. (2022). Wastewater treatment and emerging contaminants: Bibliometric analysis. *Chemosphere*, 297, 133932. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133932>
- Ching-Chi, H. (2023). The role of the core competence and core resource features of a sharing economy on the achievement of SDGs 2030. *Journal of Innovation & Knowledge*, 8(1), 100283. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100283>
- Chrispim, M.C., Mattsson, M. & Ulvenblad, P. (2023). The underrepresented key elements of Circular Economy: A critical review of assessment tools and a guide for action. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 539–558. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.11.019>
- CONAHCyT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología). (2023). Programas Nacionales Estratégicos. Cd. De México, México. <https://conacyt.mx/pronaces/>
- Corominas, L., Byrne, D.M., Guest, J.S., Hospido, A., Roux, P., Shaw, A., & Short, M.D. (2020). The application of life cycle assessment (LCA) to wastewater treatment: A best practice guide and critical review. *Water Research*, 184, 116058. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116058>
- Dan, Z., Kehong, W., Guanxiong, Z., Shuangshuang, L., Fang, W., Yuanzhen, P., & Xingzhong, Y. (2022). Ecological engineering practice of cascade-pond system: water purification and biodiversity conservation. *Ecological Engineering*, 179, 106632. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106632>
- Deepa, R., Anandhi, A. & Alhashim, R. (2021). Volumetric and Impact-Oriented Water Footprint of Agricultural Crops: A Review. *Ecological Indicators*, 130, 108093. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108093>
- Feng, B., Zhuo, L., Xie, D., Mao, Y., Gao, J., Xie, P., & Wu, P. (2021). A quantitative review of water footprint accounting and simulation for crop production based on publications during 2002–2018. *Ecological Indicators*, 120, 106962. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106962>
- Fernández, T., & Tamaro, E. 2004. William Thomson [Lord Kelvin]. *En Biografías y Vidas en línea*. Barcelona, España. <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/k/kelvin.htm>
- Foraste, Á.G. (2023). Resources, Conservation & Recycling Advances Circular economy in Andalusia: a Review of Public and Non-Governmental Initiatives. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 17,

200133.
<https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200133>
- Gashure, S. & Wana, D. (2023). Sustainability of the long-term indigenous soil and water conservation practices in the UNESCO designated cultural landscapes of Konso, Ethiopia. *Current Research in Environmental Sustainability*, 5, 100221.
<https://doi.org/10.1016/j.crsust.2023.100221>
- Germann, V., Borgwardt, F., Fischer, J., Fuchs-Hanusch, D., Regelsberger, M., Schubert, Umann A., Langergraber G. (2023). Development and Evaluation of Options for Action to Progress on the SDG 6 Targets in Austria. *Journal of Environmental Management*, 325, 116487.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116487>
- Hassan, Y., Shankar, V., Usman, S., & Alhassan, A. (2022). Carbon footprint management: A review of construction industry. *Cleaner Engineering and Technology*, 9, 100531.
<https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100531>
- Ho, O.T.K., Gajanayake, A. & Usha, I.R. (2023). Transitioning to a state-wide circular economy: Major stakeholder interviews. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 19, 200163.
<https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200163>
- Hoekstra, A.Y. (2016). A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. *Ecological Indicators*, 66, 564–573.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.026>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2023). *Cd. de México*, México.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/salade prensa/aproposito/2023/EAP_DMPO23.pdf
- Jamwal, A., Agrawal, R., & Sharma, M. 2022. Deep learning for manufacturing sustainability: Models, applications in Industry 4.0 and implications. *International Journal of Information Management Data Insights*, 2(2), 100107.
<https://doi.org/10.1016/j.jjime.2022.100107>
- Jerome, A., Helander, H., Ljunggren, M., & Janssen, M. (2022). Mapping and testing circular economy product-level indicators: A critical review. *Resources, Conservation and Recycling*, 178, 106080.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106080>
- Joséphine, R., Andrée-Anne, L., & Samir, L. (2022). Lifecycle traceability towards sustainable and circular value chains: analysis framework and state of the art in the fashion industry. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 1705–1710.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.643>
- Khajuria A., Atienza V.A., Chavanich S., Henning W., Islam I., Kral U., Liu M., Liu X., Murthy I.K., Timothy O.T.D., Verma P., Xu G., Zeng X., Li J. (2022). Accelerating circular economy solutions to achieve the 2030 agenda for sustainable development goals. *Circular Economy*, 1(1), 100001.
<https://doi.org/10.1016/j.ccc.2022.100001>
- Koop, S.H.A., Grison, C., Eisenreich, S.J., Hofman, J., & van Leeuwen, K.J. (2022). Integrated water resources management in cities in the world: Global solutions. *Sustainable Cities and Society*, 86, 104137.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104137>
- Koseoglu-Imer, D.Y., Oral, H.V., Calheiros, C.S.C., Krzeminski, P., Güçlü, S., Pereira, S.A., Surmacz-Górska, J., Plaza, E., Samaras, P., Binder, P.M., van Hullebusch, E.D. & Devolli, A. (2023). Current challenges and future perspectives for the full circular economy of water in European countries. *Journal of Environmental Management*, 345, 118627.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118627>
- Li X., Zhu L., Dong Y., Chen B., Li Q., Wang X., Zhang Y., Wang L. (2022). Water footprint assessment of wool products with a low-water footprint baseline. *Sustainable Production and*

- Consumption*, 34, 310-317.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.09.023>
- Mannina, G., Gulhan, H. & Bing-Jie, N. (2022). Water reuse from wastewater treatment: The transition towards circular economy in the water sector. *Bioresource Technology*, 363, 127951.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127951>
- Marjamaa, M., & Mäkelä, M. (2022). Images of the future for a circular economy: The case of Finland. *Futures*, 141, 102985.
<https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.102985>
- Meiryani, Shi-Ming H., Soepriyanto, G., Audrelia, J., Fahlevi, M., Aljuaid, M., & Grabowska, S. (2022). An exploration of circular water management accountability: A case from Indonesia. *Helijon*, 8(9), e10556.
<https://doi.org/10.1016/j.helijon.2022.e10556>
- Mohamed, H.H. (2022). Green processes and sustainable materials for renewable energy production via water splitting. In, *Sustainable Materials and Green Processing for Energy Conversion*. Ed. Elsevier. pp. 169-212.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822838-8.00007-7>
- Morris, J.C., Georgiou, I., Guenther, E., & Caucci, S. (2021). Barriers in Implementation of Wastewater Reuse: Identifying the Way Forward in Closing the Loop. *Circular Economy and Sustainability*, 1(1), 413–433.
<https://doi.org/10.1007/s43615-021-00018-z>
- Morseletto, P. (2023). Sometimes linear, sometimes circular: States of the economy and transitions to the future. *Journal of Cleaner Production*, 390, 136138.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136138>
- Munaro, M. R., & Tavares, S. F. (2023). A review on barriers, drivers, and stakeholders towards the circular economy: The construction sector perspective. *Cleaner and Responsible Consumption*, 8, 100107.
<https://doi.org/10.1016/j.clrc.2023.100107>
- Neves, S.A., & Marques, A.C. (2022). Drivers and barriers in the transition from a linear economy to a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 341, 130865.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130865>
- Nika, C.E., Vasilaki, V., Renfrew, D., Danishvar, M., Echchelh, A., & Katsou, E. (2022). Assessing circularity of multi-sectoral systems under the Water-Energy-Food-Ecosystems (WEFE) nexus. *Water Research*, 221, 118842.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118842>
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible. s.c.*
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Papadaki, C. (2021). Sustainable use of mountain water resources. In *Environmental Water Requirements in Mountainous Areas*. Ed. Elsevier. pp. 281-292.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819342-6.00005-1>
- Pierrat, É., Laurent, A., Dorber, M., Rygaard, M., Verones, F., & Hauschild, M. (2023). Advancing water footprint assessments: Combining the impacts of water pollution and scarcity. *Science of the Total Environment*, 870, 161910.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161910>
- Pietrzak, D., Jarosław K., Ewa K., Grzegorz M. & Katarzyna W. (2020). Fate of selected neonicotinoid insecticides in soil–water systems: Current state of the art and knowledge gaps. *Chemosphere*, 255, 126981.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126981>
- Ruiz-Pérez, M.R., Alba-Rodríguez, M.D., & Marrero, M. (2022). Evaluation of water footprint of urban renewal projects. Case study in Seville, Andalusia. *Water Research*, 221, 118715.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118715>
- Sanusi, O.L., Oke, M.O., & Bello, M.A. (2023). Water entrepreneurship and financialization:

- Complexities for the attainment of SDG in sub-Saharan Africa. *Heliyon*, 9(11): e20859. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20859>
- Sharma, B.H., Vanapalli, K.R., Samal, B., Sankar, V.R., Cheela, Dubey, B.K. & Bhattacharya, J. (2021). Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. *Science of The Total Environment*, 800, 149605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149605>
- Smol, M., Adam, C., & Preisner, M. (2020). Circular economy model framework in the European water and wastewater sector. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22(3), 682–697. <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00960-z>
- Tan, J., Tan, F.J., & Ramakrishna, S. (2022). Transitioning to a Circular Economy: A Systematic Review of Its Drivers and Barriers. *Sustainability*, 14(3), 1–13. <https://doi.org/10.3390/su14031757>
- UN (Naciones Unidas). (2022). *La población mundial llega a los 8000 millones de habitantes*. <https://www.un.org/es/desa/la-poblaci%C3%B3n-mundial-llega-los-8000-millones-de-habitantes>
- Yang, Y., Wang, H., Li, Y., Zhang, L., & Zhao, Y. (2023). New green development indicator of water resources system based on an improved water resources ecological footprint and its application. *Ecological Indicators*, 148, 110115. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110115>
- Zeballos-Velarde, C., Butron-Revilla, C. & Manchego-Huaquipaco, Y.C. (2023). The role of ancestral practices as social capital to enhance community disaster resilience. The case of the Colca Valley, Peru. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 92, 103737. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103737>
- Zhang, Y., Zhang, X. & Wang, Z. 2023. Recent advances in the removal of emerging contaminants from water by novel molecularly imprinted materials in advanced oxidation processes—A review. *Science of The Total Environment*, 883, 163702. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163702>